

The Faculty of Physics and Technology
of Oles Honchar Dnipro National University: Dnipro, UA
in collaboration with

Ministry of Education and Science of Ukraine: Kyiv, UA
A. M. Makarov National Youth Aerospace Education Center: Dnipro, UA
Frantsevich Ukrainian Materials Research Society
of Frantsevich Institute for Problems in Materials Science: Kyiv, UA
L. N. Gumilyov Eurasian National University: Nur-Sultan, KZ
Institute for Q-shu Pioneers of Space, Inc. (iQPS): Fukuoka, JP
Laboratório de Sistemas Aeroespaciais (LaSA) of Universidade de Brasília: Brasília, BR

CHALLENGES AND ISSUES OF MODERN SCIENCE



Vol. 2

Dnipro, Ukraine

2024

*Recommended by the Academic Council of the Faculty of Physics and Technology of
DNU (minutes No. 13 dated June 18, 2024).*

Challenges and issues of modern science, 2 (2024)

“Challenges and Issues of Modern Science” comprise scientific research on relevant topics related to the latest advancements in various fields of science. Emphasis is placed on the development of aerospace technology, thermodynamics and energy, mechanical engineering, materials science and technologies, automation, electronics and telecommunications, information technology, project management, ecology, industrial and environmental safety.

It can be useful for professionals in the respective fields, scientists, educators, and students. The presented material will help readers expand their knowledge of diverse approaches to solving current scientific and practical issues.

The papers are published in the author's edition.

Виклики та проблеми сучасної науки, 2 (2024)

«Виклики та проблеми сучасної науки» представляє наукові праці з актуальних тем, що пов’язані з найновішими досягненнями в різних галузях науки. Акцентується увага на розвитку аерокосмічної техніки, термодинаміки та енергетики, машинобудування, матеріалознавства та технологій, автоматизації, електроніки та телекомунікацій, інформаційних технологій, управління проектами, екології, промислової та екологічної безпеки.

Може бути корисним для фахівців у відповідних галузях, науковців, викладачів та студентів. Поданий матеріал допоможе читачам розширити знання про різноманітні підходи до розв’язання актуальних науково-практичних задач.

Матеріали публікуються в авторській редакції.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КАПІЛЯРНИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУЦІЛЬНОСТІ ПАЛИВА КОСМІЧНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Сергій Давидов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4142-7217>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олег Колесніченко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6115-1481>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Анастасія Давидова

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1064-1628>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Розвиток ракетно-космічної галузі пов'язаний зі створенням нових космічних апаратів (КА) багатоцільового призначення. Основною умовою їх тривалого функціонування у космічному просторі є можливість багаторазового включення маршевих двигунів протягом декількох років.

Паливна система КА повинна забезпечувати потрапляння палива з баків у камеру згоряння двигунів в заданий момент часу без газових включень і в необхідній кількості в умовах практичної невагомості. Протягом інерційного руху КА компоненти палива перемішуються з газом наддуву в порожніні бака. Для гарантованої відсутності газових пузирів в потоці палива, що рухається по магістралі, яка з'єднує бак з ракетним двигуном, необхідне використовувати спеціальні системи забезпечення суцільності палива (СЗСП).

На теперішній час розроблені і успішно використовуються різноманітні СЗСП [1]. Найбільшу універсальність, і, як наслідок, дуже широке розповсюдження в конструкціях сучасних КА мають СЗСП капілярного типу. Функціонування цих систем ґрунтуються на використанні сил міжмолекулярної взаємодії, які в умовах невагомості є домінуючими [2]. Слід зазначити, що існує велика кількість різноманітних конструкцій капілярних СЗСП в залежності від призначення КА.

Окремо слід виділити СЗСП сітчастого типу, основним робочим елементом яких є ткана металева сітка з чарунками мікронних розмірів [3]. Сітчасті СЗСП мають цілу низку переваг у порівнянні з іншими СЗСП. Перш за все, сітчасті СЗСП ефективно працюють з будь-якими компонентами ракетних палив, включаючи кріогенні. Термін

їх роботи вимірюється десятками років, а кількість повторних включень двигунів КА практично не обмежена. Сітчасті СЗСП можна пристосовувати для паливних баків будь-якої форми і габаритів.

Але ці системи мають і ряд суттєвих недоліків, які обмежують можливості їх використання. Основним проектним параметром, який характеризує працездатність сітчастої СЗСП, є статична утримуюча здібність (СУЗ) її сітчастих елементів (СЕ) [1]. Це максимальне значення капілярного перепаду тиску Дркар, який може бути досягнутий на СЕ. У випадку перевищення діючого перепаду тиску Δp_{kan} виникає прорив газової фази в магістраль подачі палива і, відповідно, зрив запуску двигунів КА. Значення Дркар розраховується за формулою Лапласа [4]:

$$\Delta p_{kan} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_c},$$

де σ - коефіцієнт поверхневого натягу, кг/с²;

θ - контактний кут змочування матеріалу СЕ паливом, град;

r_c - ефективний радіус кривизни поверхні розділу «рідина-газ» в чарунках СЕ, м.

Як безпосередньо випливає з формули Лапласа, рівень працездатності сітчастої СЗСП залежить від розміру чарунок СЕ. Для покращення проектних параметрів СЗСП необхідно зменшувати розміри чарунок СЕ, що, в свою чергу викликає зростання її СУЗ. Але технологія виготовлення СЕ, які є тканими металевими сітками, не дозволяє зменшити розмір чарунок нижче 30 мікрон для сіток полотняного типу плетіння і нижче 6-7 мікрон для сіток фільтрового типу плетіння [1]. Крім того, сітки фільтрового типу плетіння мають дуже великий коефіцієнт гідравлічного опору і підвищенну схильність до забруднення [3].

Технологія виготовлення СЕ ткацьким методом не дозволяє досягнути однакового розміру чарунок. Їх розміри розподіляються в межах певного проміжку, який визначається за відповідними стандартами на їх виготовлення. У свою чергу, рівень СУЗ сітчастої СЗСП Дркар визначається максимальним розміром чарунок СЕ. Негативно впливає на технічні характеристики сітчастої СЗСП дуже незначна жорсткість СЕ. Цей фактор вимагає використовувати спеціальні підсилюючі засоби для підвищення жорсткості СЕ [5], що суттєво ускладнює конструкцію СЗСП.

Слід відзначити, що утримуюча здібність сітчастих СЗСП дуже залежить від температури компонентів палива, оскільки від температури залежить значення коефіцієнта поверхневого натягу палива σ в формулі Лапласа. Це впливає на рівень працездатності СЗСП,

особливо якщо паливо є кріогенна рідина. Використання сітчастих СЗСП в баках з кріогенними компонентами викликає часткове висичання СЕ при зростанні температури в баку вище критичного значення. Така ситуація є аварійною, оскільки сітчасти СЗСП припиняє своє функціонування в якості розділювача фаз [6].

Технологія виробництва ракетно-космічної техніки постійно удосконалюється. Виникають нові можливості по підвищенню технічних характеристик її окремих конструктивних елементів. Розглянемо як саме можуть впливати нові технології на характеристики СЕ капілярних СЗСП.

Протягом останніх декількох років для виготовлення окремих конструктивних елементів ракетно-космічних виробів широко використовуються адитивні технології. Створення СЕ за допомогою цих технологій дозволяє усунути ряд негативних властивостей, які притаманні тканим сіткам. Перш за все, за допомогою 3-D печаті можна забезпечити створення СЕ з однаковим розміром чарунок і апріорно заданою геометрією каналу. Забезпечується будь-яка довжина каналу чарунок і, відповідно, жорсткість СЕ. Мінімально можливий розмір чарунок такого СЕ залежить від технічного рівня досконалості 3-D принтера. Це реальні переваги, які має перехід на новий технологічний процес створення сітчастих СЗСП. Яким чином в цьому випадку змінюються гідравлічний опір СЕ, а також функціонування сітчастої СЗСП в баках з кріогенними компонентами потребує окремих досліджень.

Фактично при переході на адитивні технології замість тканих сіток в якості СЕ використовують перфоровані металеві пластини. Такі альтернативні розділювачі фаз існують в якості елементів конструкції СЗСП достатньо давно [7]. Але мінімальний розмір чарунок таких СЗСП був дуже великий, оскільки перфорація робочих пластин виконувалась механічним методом і створення СЕ з розміром чарунок в декілька мікрон практично неможлива. Використання при створенні чарунок лазерної технології дозволяє суттєво зменшити розміри чарунок, але загальна кількість таких чарунок на СЕ дуже великою. Це, в свою чергу, робить вартість такої СЗСП неприпустимо великою. Необхідно відзначити, що вартість виготовлення перфорованих пластин за лазерною технологією безпосередньо залежить від швидкості створення отворів в пластині. Тому, за умови суттєвого прискорення цього технологічного процесу цій шлях створення сітчастих СЗСП має гарні перспективи.

Таким чином, використання нових технологій при створенні капілярних СЗСП сітчастого типу дозволяє суттєво покращити їх технічні параметри. Але, для проведення кількісної оцінки зміни технічних

параметрів СЗСП при переході на нові технології необхідно провести відповідні експериментальні дослідження.

Посилання

1. Чуприна, А. А., Давидов, С. О., & Кривенко, А. А. (2024, February). Установка для експериментального дослідження взаємодії газових пузирів з сітчастим роздільником в потоці рідини. In *The 7th International scientific and practical conference “Professional development: theoretical basis and innovative technologies”* (February 20-23, 2024) Paris, France. International Science Group. 2024. 427 p. (p. 411).
2. Давыдов, С. А., & Горелова, К. В. (2012). История совершенствования конструкций и перспективы использования средства обеспечения сплошности топлива на основе капиллярных сил.
3. Polyakov, M. V., Davudov, S. A., Davudova, A. V., & Heti, K. V. (2018). Design parameters of mesh phase delimiters for ensuring repeated starting of spacecraft in the conditions of heightless.
4. Оно С, К. С. (1963). Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях.
5. Давыдов, С. (2006). Изменение работоспособности сетчатых средств обеспечения сплошности топлива при увеличении коэффициента упругости. *Вісник Дніпропетровського університету. Ракетно-космічна техніка*, (10), Стаття 9.
6. Давидов, С. ., Журавель, П. ., Кривенко, А. ., & Левченко, В. . (2022). Вплив температури на працездатність паливної системи космічних літальних апаратів. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*, 30(1), 3-13. <https://doi.org/10.15421/472201>
7. Tegart, J., & Wright, N. (1983). Double perforated plate as a capillary barrier. In *19th Joint Propulsion Conference* (p. 1379).

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПРОБЛЕМА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТОРУ

Анжеліка Давидова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8120-7235>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Данило Рак

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7397-1699>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Розвиток космічних технологій у минулому столітті привів до нового етапу в освоєнні космосу. Запуски супутників, космічних станцій, а також планування майбутніх міжпланетних місій стали реальністю. Однак разом із зростанням активності у космосі, збільшується кількість сміття, яке залишається на орбіті Землі. Ця проблема, відома як забруднення навколоzemного космічного простору, стає все більш актуальною і потенційно небезпечною. Особливе занепокоєння викликає так само і тривалість перебування залишків сміття на космічній орбіті. Методи боротьби із ними існують, але вони малоефективні та потребують постійного вдосконалення.

Динаміка зростання кількості супутників, розмахів космічних місій та постійність космічних запусків створює ризик подальшого загострення ситуації забруднення космосу. Важливо зрозуміти причини цієї проблеми, її наслідки та шляхи подолання.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Основною метою даної роботи є аналіз сучасного стану забруднення навколоzemного космічного простору, визначення його впливу на космічні місії, супутникові системи та середовище, а також розробка ефективних стратегій для вирішення цієї проблеми.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- зібрати та проаналізувати наявні дані щодо кількості та розподілу космічного сміття;
- вивчити наслідки забруднення навколоzemного космічного простору для космічних місій, супутниковых систем та земної екосистеми;
- розробити рекомендації щодо подальших кроків у зменшенні

кількості космічного сміття та збереженні космічного середовища.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для досягнення поставлених завдань були використані різноманітні джерела інформації, включаючи дані космічних агентств, результати наукових пошуків у галузі космічної технології та екології та різноманітні статті на цю тему.

Проведені наукові дослідження та спостереження дають все більш інформації про екологічний стан космічного простору. Використані джерела дозволили отримати об'єктивну картину сучасного стану рівня забруднення космосу.

Важливою складовою роботи була статистична обробка отриманих даних та їх інтерпретація з метою виявлення тенденцій та ключових факторів, що впливають на забруднення космічного простору.

РЕЗУЛЬТАТИ

На початку розвитку ракетно-космічної техніки наслідки запусків ракет-носіїв у космічний простір не враховувались, оскільки кількість таких запусків протягом року становила одиниці. Але з той пори минуло більш шести десятиріччя. Щороку десятки країн та комерційних організацій розміщують корисний вантаж у навколоземному просторі. Верхні ступені ракет-носіїв, які виконують доставку корисного вантажу на робочу орбіту залишаються там дуже тривалий час.

Станом на 2012 рік на навколоземній орбіті оберталося близько 19 000 об'єктів [1]. За наведеними даними, на 2021 рік, навколо Землі оберталося 130 млн. невеликих об'єктів розміром до 1 см, які перетворилися на сміття [2]. Рисунок ілюструє темпи забруднення навколоземного космічного простору протягом останніх 65 років.

На березень 2023 року, мережа американського космічного спостереження вже відслідковувала понад 23 000 об'єктів космічного сміття, які перевищують розмір м'яча для софтболу на орбіті Землі. З них 3000 – це відпрацьовані супутники. Проте більшість фрагментів на орбіти занадто малі для сталого спостереження за ними. За останніми дослідженнями фахівців на орбіті Землі також перебуває понад 100 трильйонів невідслідковуваних частинок космічного сміття. Більшість з них має розмір менше 1 сантиметра, і через відсутність опору атмосфери рухаються зі швидкістю понад 25200 км/год, що вдесятеро перевищує середню швидкість кулі на Землі [3].

За даними вчених, маса сміття (на 2017 рік вона становить близько 7,2 тисячі тон) на орбіті продовжує зростати - за останні три роки

вона зростала щороку приблизно на 100 тон, або приблизно на 2%.

Проведений аналіз показав, що навколоzemний космічний простір насичений великою кількістю різноманітних об'єктів, які представляють різний ступінь загрози для космічних місій та супутниковых систем. Великі об'єкти, такі як непрацюючі супутники та відокремлені ракетні ступені, можуть становити пряму загрозу для майбутніх місій. Крім того, існує велика кількість дрібних фрагментів, які є важливим фактором ризику для космічних апаратів.



Рисунок 1 – Темпи зростання рівня забруднення космічного простору

Детальний аналіз показав, що проблема забруднення космічного простору має потенційно серйозні наслідки як для космічних місій, так і для земної екосистеми. Необхідно прийняти негайні заходи для зменшення ризиків та підвищення безпеки космічних місій.

Одним з таких заходів, внесення деяких змін у конструкції існуючих ракет-носіїв та розробка нових виробів ракетно-космічної техніки, експлуатація яких передбачає наявність спеціальної системи уводу відпрацьованих ракетних блоків з навколоzemної орбіти у щільні шари атмосфери або у дальній космос [8]. Крім того, необхідно повинна бути наявність у складі будь-якого супутника системи його усунення з робочої орбіти після завершення терміну його активного функціонування.

Висновки

Забруднення навколоzemного космічного простору становить серйозну загрозу як для космічних місій, так і для земних екосистем. Для ефективного вирішення цієї проблеми необхідно прийняти комплексний підхід, включаючи розробку та впровадження міжнародних

стандартів управління космічним сміттям, стимулювання інновацій у сфері космічної технології, а також активне залучення міжнародної спільноти до спільних зусиль у цьому напрямку.

ПОСИЛАННЯ

1. Проблема засміченості навколоzemного космічного простору - Проблема космічного сміття на сьогодні. (б. д.). Wayback Machine. <https://web.archive.org/web/20230313221051/https://sites.google.com/site/kosmichnesmittyaproblem/problema-zasmicenosti-navkolozemnogokosmichnegoprostoru>
2. Шовкун, І. (2021, 21 грудня). Навколо Землі обертаються мільйони об'єктів, які перетворилися на космічне сміття. РБК-Україна. [https://web.archive.org/web/20211224181354/https://www.rbc.ua/News/zemli-vrashchayutsya-milliony-obektov-kotorye-1640086204.html](https://web.archive.org/web/20211224181354/https://www.rbc.ua/news/zemli-vrashchayutsya-milliony-obektov-kotorye-1640086204.html)
3. Орбіта Землі перетворилася на космічне сміттєзвалище: Чим це загрожує людству. (б. д.). 24 Канал. https://24tv.ua/tech/shho-take-kosmichne-smittyachim-vono-nebezpechne-dlya-lyudey_n2272971
4. Визначення зон небезпеки в районах падіння відокремлюваних частин ракети-носія з урахуванням невизначеності висоти їхнього первісного руйнування. (2015). Космічна наука технологія, 21(6), 49–55.
5. Бомбарделлі, К., Алпатов, А., Пироженко, О., & Баранов, Є. (2014). Проект космічного пастуха з іонним променем. Космічна наука технологія, 20(2), 55–60.
6. Журавель, О. С., Дронь, М. М., Журавель, А. С., & Дронь, Н. М. (2015). Оцінка можливостей ракет-носіїв для виведення засобів відводу космічних об'єктів з навколоzemних орбіт.
7. Давидова, А., & Шевцов, В. Ю. (2020). Екологічні аспекти інформаційного середовища планети земля. У Людина і космос (с. 111). Державне космічне агентство України національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова.
8. Федоров, О. (2019). Космічна діяльність: Підходи до розробки стратегії Why space for Ukraine? Наукова Думка.

COMPARISON OF A COMBINED TORUS TANK WITH A COMPOSITE ISOGRID SUPPORT WITH EXISTING DESIGN SOLUTIONS

Andrii Diadiuk

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6923-3756>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

Volodymyr Lipovskyi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-7973>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

INTRODUCTION

A review of the structures of torus tanks that were used in launch vehicles that completed their mission showed that all of them are made of metal. It should be noted that composite materials have a significant advantage, they have a greater value of specific strength compared to metals. Unfortunately, composite torus tanks are being developed and exist only in experimental test samples. The advantage of torus tanks is the possibility of creating a compact layout of the launch vehicles. It is more rational to use them on the second or third stage and in booster orbiter of launch vehicles. The main calculated load case of the torus tank is the load due to internal pressure and the hydrostatic pressure of the liquid, increased by the calculated load during the movement of the launch vehicle. However, the use of composite torus tanks shows that the features of the geometry and the existing manufacturing technologies do not ensure the creation of uniformly strong structures. When loading a composite torus with internal pressure, the destruction occurs in the outer zone farthest from the axis of symmetry, although in a torus of constant thickness, the greatest stresses occur in the zone closest to the axis of symmetry [1].

The surface of the torus closest to the axis of symmetry has a large thickness of the composite layer due to the peculiarities of the geometry and winding technology. A distinctive feature of a composite tank is the need to take into account the requirements of hermeticity. Strength conditions do not always meet them. This feature leads to additional winding of 5-7 layers [2] or the use of combined linear structures. In this case, the hermeticity is provided by the metal liner, and the composite winding ensures required strength characteristics. For linear structures, it is not necessary to use a continuous composite winding over the entire surface of the torus. To create an equal-in-strength structure, it is advisable to apply a winding technique that allows to obtain isogrid reinforcement rather than a continuous longitudinal-transverse approach.

At the same time, it is necessary to take into account factors that affect the performance of such torus shells, namely: ensuring the hermeticity of the container, along with technological limitations during production.

Composite materials have high gas permeability so that gas leaks occur already at a pressure value of 10-15% of the nominal [2]. Therefore, to ensure the performance of such a shell, a sealing layer (combined shell) is used. It can be a metal liner or sealing films made of glass and polymers.

Use as a sealing layer of metal provides the following advantages: the sealing shell is a carrier, that is, it receives part of the force; the problem of placing and fastening internal-packing devices is solved; increased temperature range of application.

A condition of continuous winding of the tape is the main technological limitation during torus shells production.

TASKS AND OBJECTIVES

Based on the above, the purpose of this work is to consider torus shells that are loaded with internal pressure and used in real projects as a comparison. These design variants are compared with combined torus tanks that have an isogrid composite reinforcement which is created due to longitudinal-transverse winding (LTW). The liner ensures the hermeticity of the shell and also absorbs some of the meridional and annular forces. Therefore, it is possible to formulate the purpose, object, subject, and tasks of the research.

The purpose of the study: to determine the parameters of a workable combined torus tank with isogrid composite reinforcement using the engineering method of calculation of the structure following with assessment of the mass characteristics with further comparison with “prototype” design variants.

Research object: combined torus shell with the composite isogrid reinforcement.

Research subject: Determination of advantages and disadvantages of the proposed combined torus tank structures in comparison with the known used design options.

Tasks of research:

- based on a carried out review of existing metal structures of torus tank, select for comparison tanks with defined parameters of geometry, load conditions and used materials;
- determine parameters and weight of the combined tanks with prototypes load conditions with the use of the engineering method of calculating the efficient torus tank with isogrid composite reinforcement;
- based on the results of the numerical analysis, draw a conclusion

about the expediency and effectiveness of using combined torus tanks with isogrid reinforcement in comparison with metal prototypes.

MATERIALS AND METHODS

All metal torus tanks selected for comparison are tanks for storing the working fluid of the turbo-pump unit (TPU). Water is used as the working fluid. The following containers are selected:

- PS2WT tank of the second stage of the Indian launch vehicle PSLV;
- L-33WT tank of the second stage of the European launch vehicle Ariane-1, 2,3;
- L-140WT tank of the first stage of the European launch vehicle Ariane-1, 2,3;
- L110WT tank of the 1st stage of the Indian launch vehicle GSLV Mk3.

All torus tanks are designed to store water that is used both for cooling the hot gas produced in the gas generator for pressurizing the fuel tanks and the water tank, and also for cooling the bearings of the NDMG pump on the TPU shaft [3 - 5]. Tank parameters, physical and mechanical characteristics of materials used, geometry and load conditions are given in Tables 1-3.

Carbon-carbon unidirectional composite UKN300 is used as a composite reinforcement material. Tape thickness 0.1 mm, width 10 mm, density 1750 kg/m³, modulus of elasticity 220 GPa, relative elongation $\epsilon = 1\%$. The composite reinforcement is isogrid in the meridional and circular directions. Moreover, taking into account the width of the tape, the circular winding of composite reinforcement is performed under the condition of maximum coverage of the inner surface of the torus. This condition ensures the maximum bearing capacity of the circular composite reinforcement.

The calculation of the geometry of the isogrid composite reinforcement is performed according to the engineering method. According to it, the composite reinforcement and the liner operate in the elastic zone. The liner seals the container, and the composite reinforcement provides strength. The total internal circumferentially distributed annular and meridional forces are distributed between the liner and the composite reinforcement. The conditions of compatibility of deformations are fulfilled between the liner and the composite reinforcement. The liner works under biaxial stress state conditions, and the composite tape under uniaxial stress conditions. The conditions of failure of composite reinforcement are determined according to the deformation theory of strength. The thickness of the liner for all combined tanks is taken as the minimum, which is

determined by the technological limitations of manufacturing. In the work, the thickness value of 1 mm is accepted.

Table 1 – Parameters of tanks selected for comparison

Tank name	Liquid, weight, (kg)	Material	Tank volume, (l)
PS-2WT	H ₂ O, 580	AA6061-T6	685
L-33WT	H ₂ O, 550	AZ5G	640
L-140WT	H ₂ O, 2500	15CDV6	3730
L-110WT	H ₂ O, 1558	AA6061-T6	1850

Table 2 – Physical and mechanical properties of materials

Material	Density, kg/m ³	Modulus of elasticity, MPa	Strength limit, MPa	Yield strength, MPa
AZ5G [6]	2.9*10 ³	7*10 ⁴	390	310
15CDV6 [7]	7.8*10 ³	19*10 ⁴	1210	1150
AA6061-T6 [8]	2.7*10 ³	6.9*10 ⁴	310	270

Table 3 – Geometry and working pressure of the tanks

Tank	Radius of the torus R, m	Distance from the axis of symmetry of the torus to the center c, m	Shell thickness, mm	Working load pressure, MPa
PS-2WT	0.177	1.11	1.6	2.559
L-33WT	0.17	1.12	2.85	6.00
L-140WT	0.378	1.344	1.5*)	0.9
L-110WT	0.25	1.5	2.4	2.705

*) – the thickness of the L-140WT tank is determined by the condition of supercharging with hot gases produced in the gas generator and cooled by water.

From the condition of equilibrium in the annular section of the torus, the required thickness of the meridional composite reinforcement h_c^β is determined:

$$h_c^\beta = \frac{\pi \cdot P \cdot R^2 - E_\pi \cdot (\varepsilon_\pi^\beta - \mu_\pi \cdot \varepsilon_\pi^\alpha) \cdot \delta_\pi \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}{E_c \cdot \varepsilon_c \cdot t_\pi \cdot n^\beta}$$

where P is the internal pressure of the torus, R is the radius of the cross section, E_π is the modulus of elasticity of the liner, E_c is the modulus of elasticity of the composite, $\varepsilon_\pi^\beta, \varepsilon_\pi^\alpha$ are the relative elongations of the liner in the annular and meridional direction of the liner, μ_π is the Poisson ratio of the liner, δ_π is the thickness of the liner, ε_c is the relative elongation of the composite, h_c^β is the thickness of the composite reinforcement, t_π is the

width of the composite tape, n^β is the number of meridional reinforcements. From the condition of equilibrium of the shell in the meridional section, we find the thicknesses of the composite reinforcement occurring in the annular section for the outer and inner radius of the torus. Figure 1 shows the distribution of internal forces for these radii.



Figure 1 – Distribution of efforts in the torus tank in a meridional section

In the case of uniform coverage of the inner equator of the torus, considering the width of the composite tape, the angle of inclination of the tape will be determined: $\psi = \arctan\left(\frac{t^\beta}{4R}\right)$, where t^β is the specified value of the distance between the centers of gravity of two adjacent composite tapes on the inner equator taking into account t_π . Since the longitudinal ring force is different on the outer and inner equators of the torus, the thickness of the circular reinforcement is determined by the condition of equilibrium at each equator.

The thickness h_3^α of the tape will be determined by the condition of equilibrium of the annular distributed force on the outer equator of the torus R_0 :

$$h_3^\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \left(\frac{P \cdot R}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot c + R}{c + R} \right) - E_\pi \cdot \varepsilon_c \cdot (1 - \mu_\pi) \cdot \delta_\pi \right)}{E_c \cdot \varepsilon_c \cdot \cos^2(\psi) \cdot t_\pi \cdot n^\alpha}$$

where n^α is the number of circular reinforcements, c is the distance from the axis of symmetry of the torus to the center of the cross section of the torus.

The thickness of the tape h_B^α is determined by the condition of equilibrium of the annular distributed force on the inner equator of the torus R_{180} :

$$h_B^\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{180} \cdot \left(\frac{P \cdot R}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot a - R}{a - R} \right) - E_\alpha \cdot \varepsilon_c \cdot (1 - \mu_\alpha) \cdot \delta_\alpha \right)}{E_c \cdot \varepsilon_c^\alpha \cdot \cos^2(\psi) \cdot t_\alpha \cdot n^\alpha}$$

Compare the thickness values obtained for the inner and outer equators and choose larger value for circular reinforcement.

The weight of the combined torus with isogrid composite reinforcement is determined as the sum weights of the liner and the mass of the composite reinforcement. The volume of the material and the mass of the liner are determined by the following ratios: $V_\alpha = 2 \times \pi \times c \times 2 \times \pi \times R$, $M_\alpha = V_\alpha \times \gamma_\alpha$, where γ_α is the specific weight of the material.

The volume of the material and the mass of the longitudinal layer of the composite meridional reinforcement is determined by the ratios:

$$V_2 = 2 \times \pi \times r_i \times t_\kappa \times h_c^\beta,$$

where $r_i = \sum_{y=1}^{n^\beta} \left(c + R \times \cos \left(\frac{360 \cdot y}{n^\beta} \right) \right)$ is the radius of the tape support, and the mass is $M_2 = V_2 \times \gamma_\kappa$

The volume of the material and the mass of the annular layer of the composite meridional reinforcement is determined by the ratios:

$$V_1 = \frac{2 \times \pi \times R}{\cos(\psi)} \times t_\kappa \times n^\alpha \times h_i^\alpha, \quad M_1 = V_1 \times \gamma_\kappa$$

Weight of combined torus tanks with isogrid composite reinforcement is calculated according to this engineering method. Weight of combined tanks with a continuous composite coating during longitudinal-transverse winding is determined according to the method given in the work [1].

RESULTS

The results of comparing the weight of the original tank with the combined composite tanks with a continuous coating and isogrid reinforcement are shown in Table 4.

Table 4 - Tanks weight comparison

Tank	Tank weight, kg		
	Prototype	Composite reinforcement	
		With continuous LTW coating	With isogrid LTW coating
PS2WT	33.5	30.2	29.1
L-33WT	62.0	52.0	50.6
L-140WT	232.8	196.4	185.3
L110WT	95.9	73.9	73.4

The analysis of the obtained results shows that using combined composite torus tanks instead of metal ones significantly reduces the weight of

the tanks. Applying composite continuous coatings on the torus surface reduces the tank's weight by 9-22 percent. Using isogrid composite coatings reduces the weight of the prototype tanks by 13-23.5 percent.

SUMMARY

Based on the results of the work, the following conclusions can be drawn:

1. To design torus tanks of minimum weight, it is advisable to perform them combined. In this case, the metal liner performs the hermetic function, and the composite winding ensures necessary strength.
2. The thickness of the liner should be as minimal, taking into account the technological requirements of production. The use of additive technologies makes it possible to make liner thinner.
3. For composite linear structures, it is not necessary to use continuous composite winding over the entire surface of the torus. The design options with isogrid reinforcement ensure the workability of the construction while enhancing weight characteristics by 13-23.5%.

REFERENCES

1. Буланов, М., Смыслов, В. И., Комков, М. А., & Кузнецов, В. М. (1985). Сосуды давления из композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов. М.: ЦНИИ информации.
2. TSM YZH ANL 009 00. (2019). Композиционный топливный бак для РКН. Днепр: ГП «КБ «Южное».
3. Indian Space Research Organisation. (2021, September 14). PSLV Project. Retrieved May 3, 2024, from https://www.ciihive.in/Attachments/Exhibitor/49351_PSLVBROCHURE.pdf
4. Ariane Department of the European Space Agency. (1980). Ariane User's Manual (Vol. 1, pp. 262-268). Geneve: EUROSAT.
5. Indian Space Research Organisation. (2018, September 18). Invitation For Expression-Of-Interest. Liquid Propulsion Systems Centre, Kerala, India.
6. 7020-T6 Aluminum. (n.d.). Retrieved May 3, 2024, from <https://www.makeitfrom.com/material-properties/7020-T6-Aluminum>
7. Quenched and Tempered 4340 Ni-Cr-Mo Steel. (n.d.). Retrieved May 3, 2024, from <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Quenched-and-Tempered-4340-Ni-Cr-Mo-Steel>
8. 6061-T6 Aluminum. (n.d.). Retrieved May 3, 2024, from <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6061-T6-Aluminum>.

ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ СУБОРБІТАЛЬНИХ РАКЕТ-НОСІЇВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ У СФЕРІ БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ

Владислав Пророка

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6884-3934>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Микола Дронь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0682-8004>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Ілля Лук'яненко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4128-4377>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олексій Кулик

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2913-4462>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Суборбітальні ракети-носії (СРН) та ракети військового призначення є окремими класами літальних апаратів, що вирішують різні задачі і потребують відмінних підходів при їх проєктуванні. Конструкція СРН не розрахована на здійснення різких маневрів та відповідних польотних режимів навантаження, які вимагаються від ракет військового призначення. У той же час, як показує закордонний досвід, між СРН та ракетами військового призначення може встановлюватися тісний взаємозв'язок, що полягає у обміні ракетними технологіями та використанні СРН у допоміжних задачах не пов'язаних з безпосереднім нанесенням ураження потенційному противнику. Це означає, що СРН можуть дати поштовх розвитку розробок військової тематики.

Огляд найбільш перспективних напрямків застосування

З відкритих джерел відомо, що військово-промисловий комплекс України у питаннях розробки ракетних озброєнь має достатньо проблем, зокрема це стосується далекобійних ракет та реактивних систем залпового вогню. Особливо гостро ці проблеми проявилися у ході повномасштабного вторгнення, коли значну частину потреб Збройних сил довелося закривати за рахунок озброєнь, переданих іншими

державами [1]. Наразі Україна не має на озброєнні жодного сучасного оперативно-тактичного ракетного комплексу (ОТРК). Тим більше, відсутні потужніші зразки озброєння – балістичні ракети малої та середньої дальності. І якщо розробка останніх може мати певні юридичні нюанси, то жодних перешкод створенню ОТРК наразі немає. Практично відсутня інформація і про вітчизняні розробки гіперзвукових озброєнь, якими останнім часом активно займаються держави, що мають найбільші армії світу.

Існує багато прикладів успішного створення ракетних двигунів твердого палива (РДТП), які можуть використовуватися одночасно як для СРН, так і для ракет військового призначення [2]. Даний підхід дає переваги, що полягають у скороченні матеріальних затрат на розробку та створенні можливостей для відпрацювання рішень у складі СРН, що призначенні для подальшого застосування у ракетних озброєннях. Поряд з цим, реалізація запропонованої ідеї дозволяє вирішити проблемне питання утилізації РДТП, гарантійний строк придатності яких добігає кінця. Утилізація таких двигунів може відбуватися прямим застосуванням за призначенням – використанням у якості рушійної установки СРН для вирішення відмінних від військових задач. Натомість, замість вилучених, на бойове чергування чи на збереження можуть бути прийняті нові РДТП. Схожу ідею запропоновано у джерелі [3].

Як показує огляд сучасних СРН, існує достатня кількість прикладів як рідкопаливних, так і твердопаливних СРН, що мають високі енергетичні можливості – здатні доставляти корисні вантажі масою у сотні кілограмів на висоти до 700 км і навіть вище [4]. Для ракет військового призначення доцільним буде зробити акцент на ракетних двигунах твердого палива (РДТП) – військові ракети на рідкому паливі існували загалом до винайдення твердих палив та були більшою мірою витіснені у зв'язку із проблемами, пов'язаними із експлуатацією та перебуванням рідиннопаливних ракет на бойовому чергуванні протягом тривалого часу [5]. Тому, усі сучасні ОТРК, так само як і значна частина СРН використовують у якості рушійної установки РДТП. Наведемо основні характеристики сучасних ОТРК (див. Таблицю 1 [6-11]). Як бачимо, незважаючи на достатньо значний розкид ОТРК по дальності та масі бойової частини, стартова маса таких ракет лежить у межах 1,7–3,5 тон, а діаметри у межах 600–900 міліметрів. Найбільш показовим параметром, що відображає енергетичні можливості РДТП є його сумарний імпульс. Цей інтегральний параметр показує, яку тягу здатна створювати двигунна установка та протягом якого часу здатен працювати двигун, що є ключовою умовою вирішення тої чи іншої задачі. Як можна побачити, сумарний імпульс

РДТП сучасних ОТРК лежить у межах 2000-3000 кН·с. При цьому сумарний імпульс найпотужнішої на даний момент СРН Maxus становить 27558 кН·с [12], тобто є вищим на один порядок. Загалом, якщо мова йде про найближчий «бойовий відповідник» СРН Maxus, то ним є індійська балістична ракета малої дальності Агні-1 [13], що дозволяє говорити про перспективність створення спільніх РДТП для СРН не лише з ОТРК, а і більш потужних ракетних озброєнь.

Таблиця 1 – Основні характеристики сучасних ОТРК [6, 11-16]

Характеристика	Назва ОТРК					
	Точка-У [6]	ATACMS [7]	Іскандер-М [8]	Lora [9]	Yildirim [10]	Fateh-110 [11]
Країна походження	CPCP	США	РФ	Ізраїль	Туреччина	Іран
Максимальна дальність, км	120	300	500 (650?)	430	150	300 (500?)
Маса бойової частини, кг	482	227	480		450	650
Сумарний імпульс, кН·с	2700	1912	-			
Середня тяга, кН	96	38,3	-			
Стартова маса, кг	2010	1670	3800	1700	2100	3450
Питома тяга, с	236	260	-			
Діаметр ракети, мм	650	610	920	652	600	610
Довжина ракети, мм	6410	3960	7200	5200	6100	8860
Паливо	Сумішеве	Сумішеве	Сумішеве	Сумішеве	Сумішеве	Сумішеве

Аналогічно ОТРК перспективною виглядає ідея уніфікації РДТП СРН та зенітних ракет систем протиповітряної та протирахетної оборони. Дійсно, СРН та зенітні ракети мають подібну траєкторію близьку до вертикаль. Однак, існують певні складнощі реалізації такого рішення. По-перше, для зенітних ракет все ж необхідне виконання маневрів, особливо при скороченні відстані до цілі, що має бути уражена. По-друге, максимальна швидкість зенітних ракет є екстремально високою. Наприклад, ракети 9М82 та 9М83 зенітно-ракетного комплексу С-300 мають максимальну швидкість у 5М та 7,5М відповідно [14]. Для польоту СРН такі швидкості є неприйнятними через високі значення перевантажень, що зумовлює обмеження для роботи приладів, що встановлюються на СРН. Також це призведе до різкого збільшення маси конструкції СРН – проектні параметри СРН будуть далекими від оптимальних значень. Крім того, вимоги створення екстремально високої швидкості зенітних ракет потребує вибору твердого ракетного палива з високою швидкістю горіння. Тому таку ідею

на даному етапі можливо реалізувати тільки для ураження повітряних цілей, що летять з невеликими швидкостями – наприклад, деяких дронів-камікадзе.

Актуальним питанням у контексті розвитку українських ракетних озброєнь є розробка власних систем керування польотом. Зв'язок із СРН тут можна простежити у питаннях відпрацювання систем керування в умовах реального польоту, а також у ситуаціях, коли самі СРН також потребують керування у польоті. Зв'язок із СРН тут можна простежити у питаннях відпрацювання систем керування в умовах реального польоту, а також у ситуаціях, коли самі СРН також потребують керування у польоті.

При створенні систем керування, окрім безпосередньо розробки алгоритмів керування та їх матеріальної реалізації у відповідному пристрої, важливими є питання відпрацювання датчиків системи орієнтації при роботі під дією різних режимів навантаження та відповідних їм перевантажень, вібрацій, теплових режимів роботи, реакції літального апарату на корекції органів керування тощо. Відпрацювання систем керування польотом у складі СРН дозволить штучно створювати у польоті умови, необхідні для проведення повного поетапного тестування розроблених систем керування у відповідності до встановленого технічного завдання.

Ще одним можливим рішенням, яке можна реалізувати за допомогою СРН є моделювання ракетних атак [3], що є необхідним при розробці систем протиракетної оборони (ПРО), що так само є надзвичайно актуальним для захисту держави від можливих проявів військової агресії. У випадку, якщо тестиуються лише системи виявлення та спостереження ворожих об'єктів, завдяки можливості багаторазового використання ракет такого типу теоретично можна значно скоротити рівень затрат на цьому етапі відпрацювання систем ПРО. При переході до етапу відпрацювання процесу ураження повітряних цілей за собами активного впливу систем ПРО (протиракетами), СРН також можуть виступати у якості ракет-мішень, щоправда без реалізації багаторазовості. Це може бути доцільним через те, що вартість СРН зазвичай є значно меншою за військові ракети, що пов'язано з більш жорсткими вимогами до експлуатації бойових ракет. Ілюстрацію ефективності запропонованого рішення може бути широко відомий «норвезький інцидент», коли у 1995 році випущена дослідницька ракета Black Brant XII була сприйнята російською системою попередження про ракетний напад у якості бойової [15]. Існує ряд прикладів успішної реалізації цієї ідеї під час навчань держав, що входять до блоку НАТО [16].

Успішне ведення бойових дій на сучасному етапі неможливе без

ефективних засобів розвідки, що дозволяє прогнозувати подальші дії противника. Для цього використовують різноманітні засоби військового зондування та аерофотозйомки [17]. Аерофотозйомка з шириною смуги спостереження розміром до десятків квадратних кілометрів може здійснюватися за допомогою пілотованих та беспілотних літальних апаратів. Перевагами цих засобів є надвисока якість зображення та помірна вартість (особливо для БПЛА). У той же час, враховуючи наявність у будь-якої сучасної армії засобів боротьби із повітряними цілями існують великі ризики ураження даних літальних апаратів. Широко застосовуються для отримання розвідданих військові супутники. Дані засоби здатні забезпечувати ширину смуги спостереження у тисячі квадратних кілометрів. Перевагами цього способу отримання даних є низька вартість за одне зображення та можливість збору інформації протягом тривалого часу. У той же час, наявність військових супутників на орбіті вкрай важко забезпечити за відсутності засобів для їх виведення у держави, в інтересах якої вони працюють, адже дані апарати потребують достатнього рівня секретності.

Перспективною виглядає ідея застосування СРН у якості засобів для зондування у військових цілях. СРН здатні заповнити нішу між літаками й БПЛА з одного боку та військовими супутниками з іншого, забезпечуючи ширину смуги спостереження розмірами у сотні квадратних кілометрів [17]. У порівнянні з БПЛА та літаками можливо реалізовувати запуски СРН на власній території не ризикуючи втратою літального апарату. Крім того, СРН можна використовувати багато разів завдяки наявності на їх борту системи порятунку. До недоліків використання СРН для вирішення цієї задачі слід віднести порівняно невеликий час спостереження – у межах однієї години у випадку повільного спуску на парашуті та високу вартість запуску СРН у порівнянні з БПЛА і, як наслідок, високу вартість одного зображення.

Створення гіперзвукових озброєнь – один з найперспективніших напрямів розвитку ракетних озброєнь. Політ на гіперзвукових швидкостях супроводжується надвисокими навантаженнями та високими температурами, адже відбувається у доволі щільних шарах атмосфери. Створення наземних комплексів для відпрацювання зразків такої техніки потребує екстремально високих матеріальних витрат, а іноді є просто неможливим з точки зору реалізації. Потужні СРН здатні досягти гіперзвукових швидкостей, і, як наслідок, замінити більшу частину наземної інфраструктури для експериментального відпрацювання таких озброєнь, тим самим скоротивши загальну вартість проекту. На даний момент уже існують приклади успішної реалізації такого рішення [18].

Висновки

Суборбітальні ракети-носії можуть бути успішно застосовані для вирішення задач у сфері безпеки та оборони. Одним з найбільш перспективних напрямків реалізації даного рішення є створення РДТП, що можуть виконувати задачі як у складі ракет військового призначення, так і СРН, що дозволяє скоротити матеріальні затрати на їх розробку та у подальшому позбавитися проблемного питання утилізації РДТП, гарантійний строк придатності яких добігає кінця.

СРН являють собою платформу для відпрацювання рішень, що у подальшому можуть бути застосовані для різного роду озброєнь. Зокрема, до таких задач належать розробка власних систем керування польотом, гіперзвукові озброєння тощо. СРН також можуть бути адаптовані під задачі зондування у військових цілях, що у комплексі з розвідувальними БПЛА та військовими супутниками здатні стати ефективним інструментом підвищення загального рівня засобів розвідки.

ПОСИЛАННЯ

1. Залужний, В. Ф., & Забродський, М. В. (2022). Перспективи за- безпечення воєнної кампанії 2023 року. Український погляд. Українське національне інформаційне агентство "Укрінформ". <https://www.ukrinform.ua/rubric-world/3566165-misia-bez-nadii-poteplinna-u-berlini-ta-vizionerstvo-vid-es.html>.
2. NASA sounding rockets user handbook (NASA/TP–20230006855). (2023). Greenbelt. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230006855/downloads/NASA%20TP%2020230006855%202023.05.08.pdf>.
3. Noga, T. (2021). Suborbital rockets in safety & defense applications. Safety & Defense, 7(2), 65–79. <https://doi.org/10.37105/sd.146>.
4. Ceglia, E. (2005). European users guide to low gravity platforms. Erasmus User Centre and Communication Office, ESA.
5. Clark, J. D. (1972). Ignition!: An informal history of liquid rocket propellants. Rutgers University Press.
6. Тактический ракетный комплекс 9К79-1 Точка-У. (2019). Missilery.info. <https://missilery.info/missile/tochka>.
7. ATACMS operational-tactical missile system | Missilery.info. (2020). Missilery.info | Missile database. Descriptions and specifications. <https://en.missilery.info/missile/atacms>.
8. Iskander / SS- 26. (2018). GlobalSecurity.org. <https://www.globalsecurity.org/wmd/world/russia/ss-26-specs.htm>.
9. Оперативно-тактический ракетный комплекс LORA.

Missilery.info. <https://missilery.info/missile/lora>.

10. YILDIRIM (J-600T) | Weapons parade YILDIRIM (J-600T) SSM missile. (2022). Weapons. Parade. <https://weaponsparade.com/weapon/j-600t-yildirim/>

11. Iran Press. (2022). Fateh 110 ballistic missile. [iranpress.com](https://iranpress.com/content/67779/fateh-110-ballistic-missile). <https://iranpress.com/content/67779/fateh-110-ballistic-missile>.

12. Castor motor series. (2016). Propulsion products catalog. ©Northrop Grumman. Approved for Public Release OSR No. 16-S-1432. <https://www.northropgrumman.com/wp-content/uploads/CASTOR-Motor-Series.pdf>.

13. Design characteristics of India's ballistic and cruise missiles. (2014). NTI | Building a Safer World. https://www.nti.org/wp-content/uploads/2021/09/design_characteristics_of_india_ballistic_cruise_missiles.pdf.

14. Anti-aircraft guided missiles 9M82 (9M82M) and 9M83 (9M83M) (2022). Missilery.info: <https://en.missilery.info/missile/c300v/9m83>.

15. The Norwegian rocket incident (the black brant scare) - center for arms control and non-proliferation. (2022). Center for Arms Control and Non-Proliferation. <https://armscontrolcenter.org/the-norwegian-rocket-incident-the-black-brant-scare/>.

16. Macdonald, B. K. (2016). Hebrides rocket launch: The space milestone we almost missed. BBC News. <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-highlands-islands-35482244>.

17. Suborbital reusable vehicles: A 10-year forecast of market demand. (2012). the Federal Aviation Administration Office of Commercial Space Transportation and Space Florida. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/media/suborbital_reusable_vehicles_report_full.pdf.

18. Trevithick, J. (2021). Warnings posted for a peculiar french ballistic missile test in the Atlantic. The Drive. <https://www.thedrive.com/the-war-zone/40334/warnings-posted-for-a-peculiar-french-ballistic-missile-test-in-the-atlantic>.

UAV LAUNCH METHODS

Oleksandr Dobrodomov

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9926-6638>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Vladyslav Proroka

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6884-3934>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Oleksii Kulyk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6884-3934>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

This paper will discuss the different methods for launching fixed-wing unmanned aerial vehicle (UAVs) in various conditions such as availability of a runway, accessibility of the launch site, weather conditions (wind, temperature, precipitation). The use of UAVs has become widespread in recent years due to a number of factors, including:

Civilian applications:

- Safety and security: traffic accident analysis, monitoring of large events, criminal tracking, search and rescue operations, emergency response.
- Scientific research: mapping; terrain research for scientific programs in archaeology, geology, biology, and other sciences; Space research; environmental monitoring; anti-poaching and illegal logging; monitoring forest health, fire detection; glacier melt monitoring.
- Logistics and manufacturing: inventory of warehouses, cargo delivery (unmanned airmail).
- Construction: planning and monitoring of construction work, site demarcation, security control, building inspection.
- Agriculture: spraying of fertilizers and plant and soil protection products; obtaining up-to-date and accurate information on the area, relief, soil characteristics of fields, plant and soil condition; inventory of agricultural land; assessment of seedling emergence; yield forecasting; use instead of dogs for grazing.
- Power industry: inspection of power plants, power lines and heating networks.
- Oil and gas sector: obtaining information from hard-to-reach places, surveys of oil infrastructure, leaks and violations, identification of accident

areas and their reduction, detection of unauthorized work

– Military applications: aerial reconnaissance, fire control and targeting, strikes against ground and sea targets, interception of air targets, radio interference, relay of messages and data, delivery of cargo to units.

As can be seen from the above, UAVs play an important role in the modern world and are often irreplaceable. Currently, there is no generally accepted classification of UAVs. They are classified according to various characteristics, such as: use (civilian/military), control system type, flight speed, wing type, takeoff weight, range, altitude, type of powerplant and so on. [1-8]. When choosing a UAV launch method, the mass of the aircraft and the stall speed are of primary importance, that is, the minimum speed at which the aircraft can move stably and the controls will be effective. So you need to use impulse to compare launch methods. In terms of mass, the most structured classification is the NATO classification for combat UAVs, but it is also suitable for civilian aircraft:

Class:

- I - full takeoff weight up to 150 kg;
- II - full takeoff weight up to 600 kg (Hermes 450, Fig. 1);
- III - full takeoff weight over 600 kg(Bayraktar TB2, Fig. 2).

Class I is divided into categories:

- Micro - up to 2 kg (SWITCHBLADE 300 BLOCK 20, Fig. 3);
- Mini - up to 15 kg (RQ-20 Puma Fig. 4.);
- Small - from 15 kg [9] (PD-2, Fig. 5.).



Figure 1 – Hermes 450 [10]



Figure 2 – Bayraktar TB2 [11]



Figure 3 – SWITCHBLADE 300 BLOCK 20 [12]



Figure 4 – RQ-20 Puma [13]



Figure 5 – PD-2 [14]

UAV LAUNCH METHODS

The main task of the launch device is to transfer the necessary energy to the aircraft for stable flight, the problem in this case is the storage of this energy in some energy carrier and its rapid release. The classification will be based on the type of energy carrier:



Figure 6 – RQ-20 puma launch [15]



Figure 7 – Bayraktar TB2 taking off a runway [16]



Figure 8 – Bell Eagle Eye [17]

WITHOUT A LAUNCH DEVICE

The simplest launch method is the absence of any additional devices, it is divided into two subtypes:

- Manual launch (fig. 6):

Description: The simplest method, in which a person throws the UAV into the air.

Advantages: simplicity of implementation, low cost, mobility.

Disadvantages: limited takeoff height and speed, dependence on physical fitness and weather conditions, not suitable for UAVs with a large mass.

Application: Used to launch small UAVs in conditions where the use of other methods is impossible or impractical.

- Using a runway (fig. 7):

Description: The UAV accelerates along the runway using its own engine and then takes off.

Advantages: possibility to launch UAVs with a large mass, independence from weather conditions, simplicity of implementation, low cost.

Disadvantages: requires a runway, limited mobility.

Application: Used to launch UAVs with large mass and dimensions

- Vertical takeoff using its own engines (fig. 8):

Advantages: high mobility;

Disadvantages: excess engine power for horizontal flight, which reduces the range;

Application: Used for terrain monitoring in both civilian and military applications.

BY CATAPULT



Figure 9 – Elastic launcher with a drone on it [18]



Figure 10 – MAAS 90 started with pneumatic launcher [19]



Figure 11 – F-18 Hornet ready for launch with electromagnetic catapult [20]

The most common method of launching UAVs, it has a number of subclasses depending on the type of energy storage:

– Using the elastic force of tension/compression of structural elements (springs, rubber, or other elastomer). Both muscular force and special tensioners can arm the catapult (fig. 9):

Description: The UAV is accelerated along rails using elastic force and then takes off.

Advantages: simplicity in design and operation.

Disadvantages: limited mobility, under certain weather conditions (high ultraviolet index, low temperatures, etc.), elastic elements can deteriorate.

Application: Used to launch UAVs from ship decks, in confined spaces, and for research purposes.

- Pneumatic launcher (fig. 10):

Description: The UAV is accelerated along rails using compressed gas.

Advantages: relatively simple and inexpensive design, possibility to launch UAVs of various weights, independence from weather conditions.

Disadvantages: limited mobility, noisier than the previous type.

Application: Used for launching UAVs in field conditions, for military purposes.

– Electric and electromagnetic launch (fig. 11):

Description: The UAV is accelerated to the required speed using electrical or electromagnetic means.

Advantages: possibility to launch heavy aircraft, independence from weather conditions

Disadvantages: due to the low density of electrical energy, high-power installations necessary for launch are stationary

Application: Often used on aircraft carrier decks to launch heavy UAVs and aircraft.

USING A CARRIER

This method utilizes an additional manned or unmanned aircraft.



Figure 12 – Blackhawk launches ALTIUS 600 drone [21]



Figure 13 – The XQ-58A Valkyrie demonstrates the separation of the ALTIUS-600 [22]



Figure 14 – Navy balloon drone launch concept [23]

– Using a helicopter or helicopter-type UAV (fig. 12):

Description: The UAV is delivered to the launch site by a helicopter or helicopter-type UAV, and then dropped or detached from it.

Advantages: possibility to launch UAVs in hard-to-reach places, expansion of the UAV's operational radius, possibility to launch UAVs in conditions with a limited runway.

Disadvantages: complexity and high cost of the operation, dependence on the availability of additional resources.

Application: Used for military, rescue, and research purposes, as well as for launching UAVs in remote mountainous, forested, and water areas.

– Using an airplane (fig. 13):

Description: The UAV is transported under the wing or inside an airplane, and then dropped or detached from it.

Advantages: provides maximum operational radius for the UAV,

possibility to launch UAVs in hard-to-reach places, fast delivery of the UAV to the destination.

Disadvantages: complexity and high cost of the operation, dependence on the availability of an airplane, limitations on the mass and dimensions of the UAV.

Application: Used for military, reconnaissance, and research purposes, as well as for launching UAVs in remote regions.

– Using a balloon (fig. 14):

Description: The UAV is lifted into the air by a balloon and then separates from it.

Advantages: provides long flight time for the UAV in the air, possibility to launch UAVs in conditions with a limited runway, low noise level.

Disadvantages: limited altitude and speed of flight, dependence on weather conditions, necessity of having a balloon.

Application: Used for scientific research, environmental monitoring, and signal relaying.

USING CHEMICAL REACTIONS



Figure 15 – Shahed-136 rocket launch [24]



Figure 16 – V1 launch site with hydrogen peroxide gas generator [25]



Figure 17 – Switchblade 300 drone launches with a mortar [26]

– Using a launch booster (fig. 15):

Description: The UAV is launched with a rocket booster.

Advantages: provides maximum launch altitude and speed, high mobility, possibility of simultaneous launch of a large number of UAVs

Disadvantages: complexity and high cost of the operation, noise

Application: Used for scientific research and military purposes.

– Launch with a chemical gas generator (fig. 16, 17):

Description: Launch of the UAV based on the principle of an over-caliber projectile or a mortar.

Advantages: high mobility

Disadvantages: complexity of the launcher

Application: Used for launching small UAVs. Also used during World War II for launching V-1 cruise missiles from a stationary launcher.

USING COMBINED METHODS

Advantages: expands the possibilities of UAV application.

Disadvantages: complexity of implementation, increased cost.

Application: Used to solve complex tasks that require maximum flexibility and versatility from the UAV.

RESULTS

Based on the results of the conducted research, a flowchart for selecting the method of UAV launch was proposed, depending on the requirements and operating conditions.

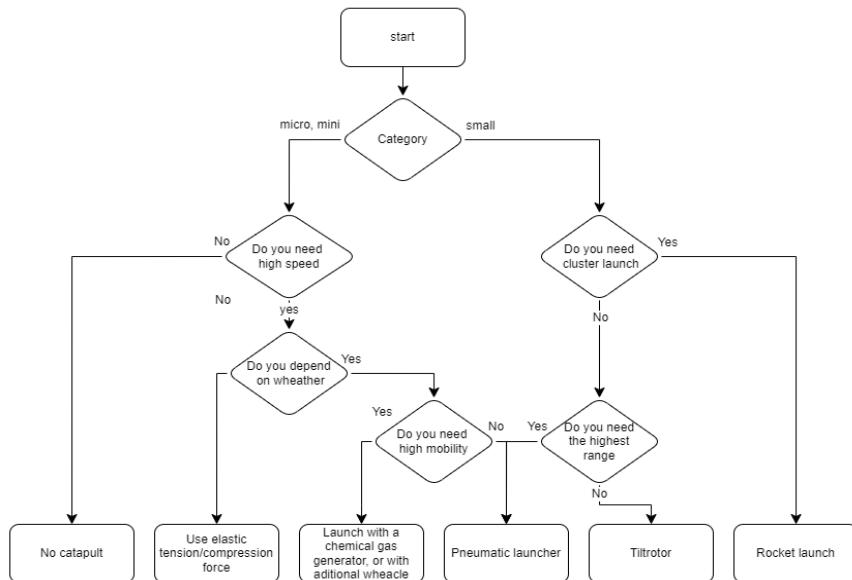


Figure 17 – Methodology for choosing UAV I class launch type

The flowcharts (fig. 17, 18) provides a step-by-step decision-making process for selecting the most suitable launch method for a given UAV, considering factors such as UAV size, speed requirements, weather

dependence, mobility needs, and range requirements. This flowcharts focuses on UAV size (micro, mini, small, large) and speed requirements (high speed or not) to determine the launch method.

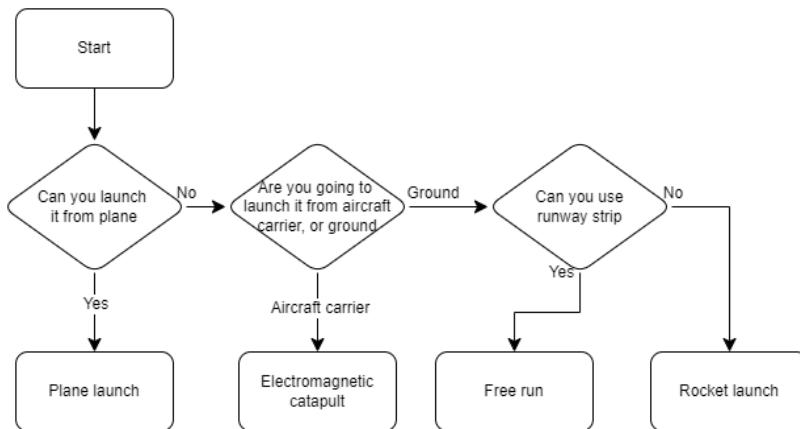


Figure 18 – Methodology for choosing UAV II, III class launch type

*The provided classification is not rigid due to the variability of UAV classification and can be slightly adjusted based on requirements.

Overall, these flowcharts provide a simplified decision-making process for selecting UAV and airplane launch methods based on key factors like size, speed, weather dependence, mobility, range, runway compatibility, and carrier availability.

CONCLUSION

Several factors determine the optimal UAV launch method, such as:

- Type of UAV: mass, dimensions, engine type
- Flight requirements: altitude, speed, duration
- Terrain conditions: availability of a runway, accessibility of the launch site
- Weather conditions: wind, temperature, precipitation
- Budget: cost of equipment and operation

The choice of UAV launch method is an important task that affects the safety, efficiency, and functionality of the tasks to be performed. As UAVs are a new field of technology, new ways of launching them will emerge and existing ones will be significantly modified.

REFERENCES

1. Курепін, В. М. (2020). Безпілотні літальні апарати як інструмент сучасного землеробства.
2. Книш, Б. П., & Алєксеєв, М. А. (2020). Безпілотні літальні апарати та відеоаналітика (Doctoral dissertation, ВНТУ).
3. Комаров, Д. Безпілотні літальні апарати та їх використання. Організаційний комітет, 47.
4. Логачов, М. Г. (2023). Кібератаки на безпілотні літальні апарати: класифікація та уразливості.
5. Медведев, В. К., Коренівська, І. С., Хажанець, Ю. А., & Салов, А. О. (2023). Безпілотні літальні апарати та їхній вплив на перебіг російсько-української війни. Наука і оборона, (2), 52-59.
6. Запорожець, А. О. (2020). Безпілотні літальні апарати для систем моніторингу в енергетиці та екології (Doctoral dissertation, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. ГЕ Пухова НАН України).
7. PS, R., & Jeyan, M. L. (2020). Mini Unmanned Aerial Systems (UAV)-A Review of the Parameters for Classification of a Mini UAV. International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 7(3), 5.
8. Szóstak, M., & Nowobilski, T. (2022). Application of unmanned aerial vehicles in construction industry. Transportation overview – przeglad komunikacyjny, 38-45.
https://doi.org/10.35117/a_eng_22_02_03_05
9. Allied joint doctrine for air and space operations, NATO STANDARD (2016).
10. Hermes™ 450. <https://elbitsystems.com/>. <https://elbit-systems.com/product/hermes-450/>
11. Брюховецкая, Е. (2024, 24 березня). В Турции совершил первый полет новый прототип Bayraktar. novyny.live. <https://segodnya.novyny.live/ru/u-turechchini-zdiisniv-pershii-polit-novii-prototip-bayraktar-161343.html>
12. Switchblade® 300 loitering munition systems | tactical missile systems | suicide drone | kamikaze drone | aerovironment, inc. AeroVironment, Inc. <https://www.avinc.com/lms/switchblade>
13. Puma™ LE UAS (UAV) - group 2 UAS capabilities in a group 1 footprint | unmanned air vehicles | aerovironment, inc. AeroVironment, Inc. <https://www.avinc.com/uas/puma-le>
14. Unmanned system PD-2. Home - SPETSTECHNOEXPORT. <https://spetstechnoexport.com/product/pd-2>
15. ФОКУС, Р. (2022, 24 жовтня). ВСУ получат 11 комплексов PUMA-LE стоимостью 540 млн грн: Что известно о БПЛА. ФОКУС. <https://focus.ua/digital/534239-vsuv-poluchat-11-kompleksov-puma-le>

stoimostyu-540-mln-grn-chto-izvestno-o-bpla

16. Брюховецкая, Е. (2024, 24 березня). В Турции совершил первый полет новый прототип Bayraktar. novyny.live. <https://segodnya.novyny.live/ru/u-turechchini-zdiisniv-pershii-polit-novii-prototip-bayraktar-161343.html>

17. Kazior, W. A. (2013, 25 липня). | Bell Eagle Eye HV-911 | United States - US Coast Guard (USCG) | W.A. Kazior | JetPhotos. JetPhotos. <https://www.jetphotos.com/photo/7639370>

18. ElevonX Scorpion - ElevonX | Professional UAV solutions. ElevonX | Professional UAV solutions. <https://www.elevonx.com/solutions/elevonx-scorpion/>

19. SUAS pneumatic launcher - UAV solutions store. UAV Solutions Store. <https://uav-solutions.com/accessories/rdpl/>

20. Electromagnetic aircraft launch system (EMALS). NAVAIR. <https://www.navair.navy.mil/product/Electromagnetic-Aircraft-Launch-System-EMALS>

21. Mizokami, K. (2020, 21 травня). Black hawk helicopters can now launch drones from midair. Popular Mechanics. <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a32617628/black-hawk-drones/>

22. Valkyrie drone launches even smaller drone from inside payload bay. Defense News. <https://www.defensenews.com/air/2021/04/05/the-valkyrie-drone-launches-an-even-smaller-drone-from-inside-its-payload-bay/>

23. Drummond, K. (2012, 6 січня). Navy balloon launches drone, which drops two more spy bots. WIRED. <https://www.wired.com/2012/01/balloon-drones/>

24. Китай працює над своєю копією Shahed-136, тільки з реактивним двигуном. (2023, 26 липня). DEFENSE EXPRESS. https://defence-ua.com/news/kitaj_pratsjuje_nad_svojeju_kopijeju_shahed_136_tilki_z_reaktivnim_dvigunom-12331.html

25. V1 launch site. Nevington War Museum. <https://www.nevingtonwarmuseum.com/v1-launch-site.html>

26. Atherton, K. D. Everything to know about Switchblades, the attack drones the US gave Ukraine. Popular Science. <https://www.popsci.com/technology/switchblade-drones-explained/>

ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ВІДВЕДЕННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВИСОТИ ОРБІТИ

Анатолій Абатуров

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7402-3909>

Дніпровський Національний Університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Наслідком активної космічної діяльності та використання космічного простору є збільшення кількості космічного сміття на орбіті. Кожного року кількість об'єктів космічного сміття дедалі зростає. Для вирішення цієї проблеми розробляються різні методи та технічні засоби. На даний час одними з найбільш перевірених та протестованих є аеродинамічні системи відведення [1], що реалізують пасивний метод. Основною задачею таких систем є зведення космічного об'єкту з орбіти по завершенні місії. Продовжуються наукові дослідження та розробки нових аеродинамічних систем [2-7]. Однак, важливо також розуміти, на якій висоті орбіти їх застосування буде максимально доцільним та ефективним.

У даній статті розглядається оцінка доцільності використання аеродинамічної системи відведення в залежності від висоти орбіти.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Ефективність аеродинамічних систем відведення значною мірою залежить від висоти орбіти, на якій знаходиться космічний апарат. Метою даної роботи є оцінка доцільності використання аеродинамічної системи відведення в залежності від висоти орбіти. Визначення, орбіт на яких аеродинамічні системи будуть максимально ефективними.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ВІДВЕДЕННЯ

Для оцінки ефективності необхідно обрати критерій оптимальності. Можливими критеріями є:

- Мінімальний час зведення з орбіти: необхідний період часу, за який об'єкт буде відведено з орбіти.
- Мінімальна відносна маса системи відведення: відношення маси системи, що необхідна для відведення з орбіти, до загальної маси об'єкта відведення.

В нашому випадку для оцінки ефективності було обрано критерій мінімальної маси. Коефіцієнт ефективності системи E_m можна обчислити за наступною формулою:

$$E_m = \frac{m_o}{m_o + m_{ACB}} \cdot 100\% \quad (1)$$

де m_{ACB} – маса аеродинамічної системи відведення; m_o – маса об'єкта відведення.

З огляду на те, що маса системи відведення не повинна становити значну частину маси конструкції, мінімально допустимий коефіцієнт ефективності був обраний на рівні 90%.

Відповідно до [8] в першому наближенні масу аеродинамічної системи відведення будемо рахувати як масу надувного шароподібного елементу. Будемо обчислювати її за наступною формулою:

$$m_{ACB} = \rho_o \frac{4}{3} \pi \left(\left(\sqrt{\frac{S_M}{\pi}} \right)^3 - \left(\sqrt{\frac{S_M}{\pi}} - \delta_o \right)^3 \right) \quad (2)$$

де ρ_o – густина матеріалу оболонки; S_M – площа Міделля; δ_o – товщина оболонки.

Необхідну площину перетину S_M можна обчислити за наступними формулами [9]:

$$\begin{aligned} S_M &= \frac{2m_o \sqrt{\frac{a}{\mu}} \cdot X(e, z)}{t_L 3\rho_{pe} C_x}, \\ X(e, z) &= \frac{3e \cdot \exp(z)}{4I_0(z) + 8eI_1(z)} \left\{ 1 + \frac{7e}{6} + \frac{5e^2}{16} + \frac{1}{2z} \right. \\ &\quad \left. \cdot \left(1 + \frac{11e}{12} + \frac{3}{4z} + \frac{3}{4z^2} \right) \right\}, \\ z &= \frac{ae}{H_p} \end{aligned} \quad (3)$$

де a – велика піввісь орбіти; μ – гравітаційна стала; e – ексцентриситет орбіти; H_p – висота однорідної атмосфери для перигею орбіти; $I_0(z)$ – функція Бесселя; $I_1(z)$ – функція Бесселя; t_L – час відведення; ρ_{pe} – густина атмосфери для перигею орбіти; C_x – коефіцієнт аеродинамічного спротиву.

Для визначення густини атмосфери існують різні моделі атмосфери такі як: JB2008, NRLMSISE-00, COESA76. Кожна з цих моделей має свої переваги та недоліки. Так JB2008 та NRLMSISE-00 є більш точними моделями, що враховують великий спектр фізичних процесів, так як геомагнітна активність та сонячна активність, однак можуть бути складнішими у використанні та потребувати значних

обчислювальних ресурсів. COESA76 є простішою у використанні, але дещо менш точною на великих висотах. Зважаючи на те, що розрахунок проводиться в першому наближенні, у якості моделі атмосфери було обрано саме COESA76.

Для розрахунку було обрано наступні початкові параметри: маса космічного об'єкту – 500 кілограм, час відведення – 25 років, висота орбіти – від 300 до 900 кілометрів з кроком 100 кілометрів. Результати розрахунку необхідної площини перетину для відведення КО з орбіти за заданий час наведено на рисунку 1.

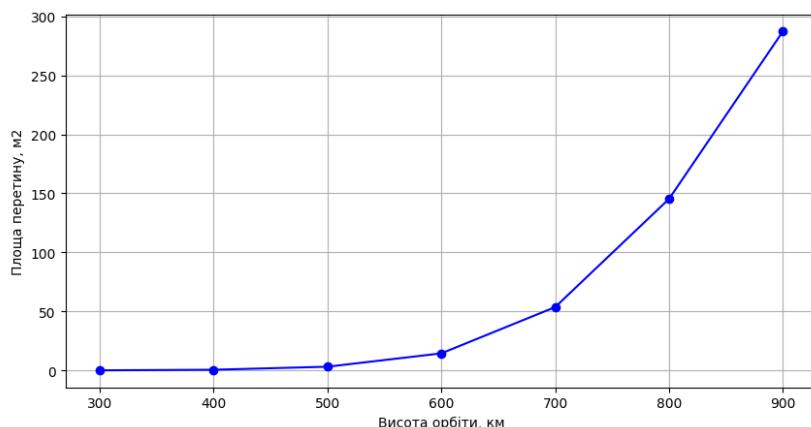


Рисунок 1 – Необхідна площа перетину в залежності від висоти орбіти

Відповідно до цих результатів було розраховано масу системи відведення та її ефективність. Для розрахунків, матеріал із якого виготовлено надувну систему відведення було обрано як майлар товщиною 0,5 мм. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – маса та ефективність аеродинамічної системи відведення

Висота орбіти, км	Маса системи відвдення, кг	Ефективність системи відвдення, %
300	0,23	99,95
400	1,53	99,69
500	8,26	98,37
600	37,96	92,94
700	140,85	78,02
800	381,46	56,72
900	754,17	39,86

Відповідно до отриманих результатів видно, що ефективність аеродинамічної системи відведення для орбіт 500 км і вище починає стрімко спадати. А для висоти орбіти вище 800 км вже становить майже 50%, що означає, що маса системи відведення майже дорівнює масі об'єкту відведення. Для більш точного визначення було проведено розрахунок для висоти орбіти від 300 до 900 кілометрів з кроком в 1 кілометр. Результати наведено на рисунку 2.

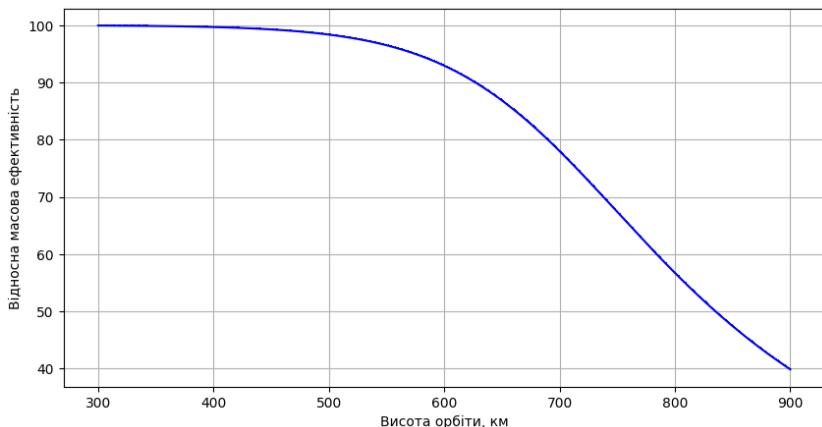


Рисунок 2 – відносна масова ефективність в залежності від висоти орбіти

Відповідно до отриманих результатів, можна встановити, що рівень ефективності аеродинамічної системи відведення починає становити менше 90% після висоти орбіти в 630 кілометрів.

Висновки

Було проведено розрахунок необхідної маси аеродинамічної системи відведення в першому наближенні. Встановлено, що оптимальна висота орбіти для використання аеродинамічних систем становить менше 500 кілометрів. Було визначено, що при подальшому збільшенні висоти орбіти ефективність аеродинамічних систем починає стрімко знижуватись. Вона сягає мінімально допустимого значення, що було обрано на рівні 90%, на висоті орбіти в 630 кілометрів. З огляду на те, що розрахунок проводився в першому наближенні та не враховував інші елементи системи відведення, такі як система зберігання, система наддуву тощо, можна стверджувати, що висота орбіти, на якій можна ефективно використовувати аеродинамічні системи відведення, становить до 600 кілометрів.

ПОСИЛАННЯ

1. Абатуров, А. О., Дронь, М. М., Кулик, О. В., & Пророка, В. А. (2023). Огляд методів та технічних засобів відведення об'єктів космічного сміття з низьких навколоземних орбіт. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*, 31, 3-13. <https://doi.org/10.15421/472209>
2. Zhang, R., Yang, K., Zhang, J., & Bi, S. Overview and key technology of the membrane drag sail for low Earth orbit satellite deorbit. *Space: Science & Technology*. <https://doi.org/10.34133/space.0115>
3. Funabiki, N., Ikari, S., Ishikawa, A., Funase, R., & Nakasuka, S. (2019). Accurate Aerodynamic Model of Membranes in Free-Molecular Flow for Deorbit Device Design. *Transactions of the Japan society for aeronautical and space sciences, aerospace technology Japan*, 17(2), 189-196. <https://doi.org/10.2322/tastj.17.189>
4. Shcheglov, G. A., Baranov, A. A., Grishko, D. A., Ivanov, S. G., & Stognii, M. V. (2023). Application of additional inflatable aerodynamic device to ensure the required degradation of the disposal orbit of large-size space debris. *Advances in Space Research*, 72(6), 1994-2006. doi : 10.1016/j.asr.2023.05.050
5. Jiang, Y., Zhang, J., Tian, P., Liang, T., Li, Z., & Wen, D. (2023). Aerodynamic drag analysis and reduction strategy for satellites in Very Low Earth Orbit. *Aerospace Science and Technology*, 132 <https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.108077>
6. Xu, Y., Yang, Y., Huang, H., Jia, H., & Fang, G. (2024). Numerical simulation of rigid-flexible coupled dynamics for an inflatable sphere deorbiting device. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.03.049>
7. Niccolai, L., & Mengali, G. (2024). Performance Estimate of a Spin-Stabilized Drag Sail for Spacecraft Deorbiting. *Applied Sciences*, 14(2), 612. <https://doi.org/10.3390/app14020612>
8. Палій, О. С. (2015). Разработка методики проектирования аэродинамических систем увода космических аппаратов с околоземных орбит. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 1(9), 11-15. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_1%289%29_3
9. Klinkrad, H. (2006). Space debris: Models and risk analysis. Praxis Publishing Ltd, Springer-Verlag Berlin.

СИНТЕЗ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ЗАПУСКУ БПЛА

Артем Швець

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7637-9143>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Ігор Білоцерковський

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5102-7864>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олексій Кулик

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2913-4462>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпр

Олександр Добродомов

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9926-6638>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Сучасний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) відзначається значним прогресом у технологіях, що відкриває нові можливості для їх використання як у військових, так і в цивільних цілях. Використання передових систем штучного інтелекту, вдосконалених навігаційних технологій та інновацій у сфері енергетичної ефективності дозволяє підвищити автономність і продуктивність БПЛА. У військовій сфері ці апарати виконують розвідувальні та ударні функції, а також забезпечують логістичну підтримку. У цивільному секторі вони знаходять застосування в сільському господарстві, інфраструктурному моніторингу, доставці товарів та рятувальних операціях. [1]

Однією з ключових проблем, що виникають при проектуванні БПЛА, є забезпечення ефективного початкового розгону для зльоту. Ця проблема особливо актуальна для дронів з фіксованими крилами, які потребують значної швидкості для підйому в повітря. Відсутність достатнього простору для розгону на обмежених або складних місцевостях, а також необхідність спеціалізованого обладнання, такого як катапульти або запуск з рук, створюють технічні та логістичні виклики. Ефективне вирішення цієї проблеми є критично важливим для розширення можливостей використання БПЛА в різних умовах та для забезпечення їхньої автономності і надійності [2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У БПЛА використовуються різні типи двигунів залежно від їхнього розміру, ваги, призначення та необхідних характеристик польоту. Одним із основних типів є електродвигуни. Безщіткові електродвигуни широко застосовуються в малих і середніх дронах завдяки їх високій ефективності, надійності та тривалому терміну служби. Вони забезпечують високу швидкість обертання і хорошу керованість, що важливо для стабільного польоту. Щіткові електродвигуни зустрічаються рідше через меншу ефективність і знос щіток, але можуть бути використані в деяких недорогих або аматорських моделях БПЛА. [3]



Рисунок 1 – Лелека-100 - український беспілотний літальний апарат, призначений для ведення розвідки [4]

Іншим типом двигунів є двигуни внутрішнього згоряння. Поршневі двигуни використовуються в більших і важчих БПЛА, які потребують тривалих польотів і значної вантажопідйомності. Вони забезпечують велику потужність і довший час роботи в порівнянні з електродвигунами, проте є більш складними в обслуговуванні і експлуатації. Турбогвинтові двигуни застосовуються в важких і високошвидкісних беспілотниках. Ці двигуни забезпечують високу потужність і ефективність на великих висотах і швидкостях, але мають складнішу конструкцію і вищі витрати на експлуатацію. [5]



Рисунок 2 – Байрактар ТБ2 — турецький ударний оперативно-тактичний середньовисотний беспілотний літальний апарат [6]

У деяких випадках використовуються реактивні двигуни. Турбореактивні двигуни застосовуються в швидкісних та висотних БПЛА, які виконують завдання, що потребують швидкого переміщення на великі відстані. Ці двигуни забезпечують велику швидкість, але споживають багато палива і вимагають складного технічного обслуговування. Турбовентиляторні двигуни використовуються в деяких важких БПЛА, що потребують ефективного поєднання швидкості та витрат палива. Вони є ефективнішими на великих швидкостях і висотах, ніж турбореактивні двигуни. [7]



Рисунок 3 – Ту-141 «Стриж» — багаторазовий оперативно-тактичний розвідувальний безпілотний літальний апарат [8]

Початковий розгін для БПЛА необхідний через кілька ключових причин, які стосуються аеродинаміки, конструкції та ефективності зльоту. По-перше, для того щоб БПЛА міг піднятися в повітря, йому потрібно досягти певної швидкості, при якій підйомна сила, створювана крилами або іншими аеродинамічними поверхнями, перевищить його вагу. Без достатньої швидкості підйомна сила буде недостатньою для відриву від землі. По-друге, початковий розгін забезпечує стабільність і керованість БПЛА під час зльоту. На низьких швидкостях апарат може бути нестабільним і важким для контролю, що може привести до аварій або небезпечних ситуацій. Досягнення необхідної швидкості до зльоту дозволяє зменшити навантаження на двигун, оскільки він не повинен працювати на максимальній потужності з самого початку польоту. Це може продовжити термін служби двигуна і покращити загальну ефективність апарату.

Також початковий розгін допомагає оптимізувати витрати палива або енергії, оскільки двигун працює в більш ефективному режимі при досягненні потрібної швидкості, а не при максимальному навантаженні з самого початку. Початковий розгін дозволяє БПЛА швидше досягти безпечної висоти і уникнути можливих перешкод на землі, таких як дерева, будівлі або інші об'єкти.

Потреба у початковому розгоні особливо актуальна для БПЛА з

фіксованими крилами, які не можуть створювати підйомну силу на низьких швидкостях, як це роблять вертоліоти або дрони з вертикальним зльотом і посадкою. Для таких апаратів важливо мати достатній простір для розгону або використовувати спеціальні механізми, такі як катапулти або пускові платформи, щоб забезпечити необхідну швидкість для безпечного зльоту.

Розв'язання задачі

Розгін безпілотних літальних апаратів здійснюється за допомогою різних технічних рішень, які враховують конструктивні особливості апаратів і умови їх експлуатації. Одним із основних методів є використання катапулт, які забезпечують швидкий розгін на коротких дистанціях і можуть бути механічними, гіdraulичними або пневматичними. Це особливо корисно в умовах обмеженого простору. Злітні платформи також широко застосовуються, забезпечуючи необхідну довжину розгону для БПЛА, особливо на кораблях або в польових умовах.

Для невеликих і легких БПЛА можливий ручний запуск, коли оператор кидає апарат у повітря, дозволяючи двигунам швидко розігнати його до потрібної швидкості. Ще один метод - рейкові системи, які використовують довгі рейки для плавного і контролюваного розгону, можуть бути механічними або магнітними. Вони дозволяють досягти високих швидкостей без різких поштовхів.

БПЛА, обладнані гвинтами або роторами для вертикального зльоту і посадки, можуть злітати вертикально, що усуває потребу в довгих розгінних смугах і забезпечує гнучкість у виборі місця старту. Великі і важкі БПЛА можуть використовувати ракетні прискорювачі для дуже швидкого і потужного розгону, після чого апарат продовжує політ за допомогою основних двигунів. Крім того, для невеликих дронів можуть використовуватися еластичні троси або банджі-стартери, які натягаються і різко відпускаються, надаючи початкову швидкість апарату.

Кожне з цих технічних рішень має свої переваги і недоліки, і вибір конкретного методу залежить від типу БПЛА, його ваги, конструктивних особливостей, умов експлуатації та вимог до місії.

Ракетний старт для безпілотних літальних апаратів БПЛА є високоекспективним та швидким способом надання початкового розгону апаратам, особливо великим і важким моделям. Цей метод використовує ракетні прискорювачі для надання потрібної початкової швидкості, після чого БПЛА переходить до роботи власного двигуна для подальшого польоту.



Рисунок 4 – Ту-141 «Стриж» — запуск за допомогою твердопаливного прискорювача [9]

Ракетний старт має кілька переваг, серед яких висока швидкість розгону, незалежність від місця злітно-посадкової смуги, підвищена безпека завдяки підйому під високим кутом, та можливість надати додаткову потужність для розгону важких апаратів.

Процес ракетного старту включає підготовку і запуск ракетного прискорювача, після чого БПЛА переходить на роботу власного двигуна для подальшого польоту. Цей метод застосовується в основному для важких і великих БПЛА, таких як військові дрони або апарати для наукових досліджень. Однак він може бути складним у виконанні і вимагає деякої експертизи в області ракетної технології та безпеки.

При прикріпленні тяги ракетного прискорювача до каркасу БПЛА доцільно враховувати кілька важливих факторів:

Центр тяжіння: тяга прискорювача повинна бути прикріплена таким чином, щоб не порушувати баланс та стабільність БПЛА. Це важливо, щоб уникнути виникнення небажаних кутових або лінійних рухів під час старту.

Міцність каркасу: точки прикріплення тяги повинні бути достатньо міцними, щоб витримати силу тяги, що виникає під час старту. При виборі точок кріплення важливо враховувати конструктивні особливості каркасу та матеріали, з яких він виготовлений.

Рівномірний розподіл навантаження: тяга прискорювача повинна бути рівномірно розподілена по всій конструкції БПЛА, щоб уникнути виникнення зайвого навантаження на окремі частини або елементи каркасу [5].

Зручність обслуговування: точки кріплення мають бути доступними для монтажу та обслуговування тягового прискорювача. Це допоможе забезпечити ефективність та зручність в роботі з БПЛА перед та після старту.

Враховуючи ці фактори, оптимальні точки кріплення тяги прискорювача можуть знаходитися у місцях, які забезпечують міцне з'єднання з каркасом БПЛА та рівномірний розподіл навантаження на конструкцію.

Схеми кріплення твердопаливного прискорювача БПЛА можуть бути різноманітними і залежати від конкретної конструкції апарату та його вимог до старту. Прискорювач може бути закріплений центрально, у центрі мас апарату. Це забезпечує рівномірний розподіл тяги та навантаження на всі аеродинамічні поверхні апарату. Якщо конструкція БПЛА не дозволяє застосовувати такий метод, використовують косі сопла, щоб вектор тяги був направлений до центру мас. Бувають випадки, коли кріплення прискорювача напряму до БПЛА неможливе через особливості конструкції, в таких випадках доцільно використовувати окремі допоміжні конструкції, на яких закріплений прискорювач.

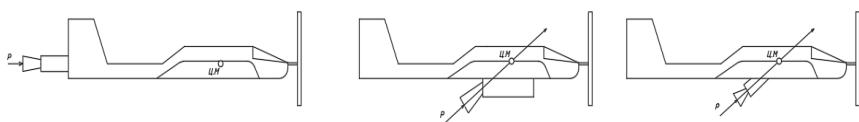


Рисунок 5 – Різновиди кріплення твердопаливних прискорювачів

Висновок

Отже, використання твердопаливного прискорювача для старту БПЛА може бути дієвим та доцільним з технічних та експлуатаційних поглядів. Твердопаливні прискорювачі забезпечують швидкий і потужний розгін, що дозволяє БПЛА швидко підніматися в повітря навіть при значній масі або умовах, коли потрібно швидко реагувати на ситуацію. Вони можуть бути ефективними для різних застосувань, таких як військові місії, наукові дослідження або комерційні завдання. Однак необхідно враховувати технічні складності та вимоги до безпеки при роботі з ракетними системами, а також витрати на їх розробку, виготовлення та експлуатацію. У кожному конкретному випадку доцільність використання твердопаливного прискорювача потрібно оцінювати з урахуванням специфіки проекту, місії та доступних технічних засобів.

ПОСИЛАННЯ

1. Даник, Ю. Г. (2008). Безпілотні літальні апарати: означення. Класифікація, стан та перспективи розвитку і використання. *Космічна наука і технологія*, 1, 30-43.
2. Осипов, Ю. М., & Орлов, С. В. (2015). Старт лёгких беспилотных летательных аппаратов. *Системи озброєння і військова техніка*, (3), 116-119.
3. Довбиш, І. О., Муравйов, О. В., Галаган, Р. М., Богдан, Г. А., & Момот, А. С. (2023). Силові установки та джерела енергії сучасних БПЛА.
4. Фокус, Р. (2023, 13 лютого). *Десятая "Лелека-100" отправилась быть оккупантов: на что способен наши БПЛА* (відео). ФОКУС. <https://focus.ua/digital/549667-desyataya-leleka-100-otpravilas-bit-okkupantov-na-chto-sposoben-nash-bpla-video>
5. Ukrinform. (2023, 27 жовтня). *Безпілотник Bayraktar TB3 пройшов тест на швидкість руху*. Укрінформ - актуальні новини України та світу. <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3779405-bezpilotnik-bayraktar-tb3-projsov-test-na-svidkist-ruhu.html>
6. Середа, В. (2010). Класифікація законів розподілу тяги зусилля наземних пускових установок безпілотних літальних апаратів. *Аерокосмічна та космічна техніка*, 4(71), 63–66.
7. Andrei, I. C., Stroe, G. L., Berbente, S., Prisacariu, V., Costea, E., Popescu, I., & Ioan, O. (2023). Risk management applied to aerospace engineering design. ISSN, ISSN-L: 2247-3173, 113.
8. Ty-141 "Стриж" Defense Express. (2023, 7 лютого). Військовий портал Defense Express - все про військову справу. https://defence-ua.com/weapon_and_tech/ostatochno_pidtverdzheno_zsu_z_arhajichnih_tu_141_strizh_zrobili_zbrojeju_dlja_udariv_po_objektam_bilja_moskvi-10559.html
9. Залата, О. (2023, 21 серпня). *"Бобри" замість ракет: які небезпечні ударні дрони має Україна і на що вони здатні* (відео). ФОКУС. <https://focus.ua/uk/digital/587087-bobri-zamist-raket-yaki-nebezpechni-udarni-droni-maye-ukrajina-i-na-shcho-voni-zdatni-video>

SEMANTIC DIFFICULTIES OF THE ENGLISH AEROSPACE TERMINOLOGICAL SYSTEM

Irina Suima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2209-8614>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

The functioning and development of any scientific and technical field is accompanied by the emergence and gradual enrichment of its terminology. Terms from the fields of physics, chemistry, biology, aviation, mechanical engineering are included in the quite dynamic terminology system of astronomy and rocket engineering. They became the basis for the formation of authentic term units, which undergo further modifications due to the emergence of new branch concepts and the need for their nomination. The factor of rapid development of the field of astronomy and rocket engineering, as well as its terminology, often poses new challenges not only to terminologists and lexicographers, but also to translators.

Terminology is part of a special vocabulary. It represents the most dynamic lexical system of the language, since the process of emergence of new concepts and terms is permanent. Researches in this area most often show how terminology arises, develops and changes depending on the development of relevant sciences and the general style of thinking, and most often the term contains not only information about a specific object or phenomenon that it denotes, but also bears the imprint of historical era, technical and cultural level of the country within whose language this term exists, as well as the personality of the founder of the term [4, p.197; 5, p. 312].

The aerospace terminological system does not exist separately from the terminological systems of other industries. The inter-branch connections of these term systems are manifested in the fact that aerospace terminology is constantly replenished with terms from other scientific fields, such as mathematics, biology, ecology, mechanical engineering, aviation, electronics, cybernetics, telecommunications, etc., interaction with which determines the development of the aerospace industry and, accordingly, terminological base as a whole.

The relevance of the problem under consideration is connected with the lack of scientific works with a systematic and thorough coverage of the terminology of this field. An advanced study of the specialized astronomical and rocket engineering vocabulary will contribute to a more complete

disclosure of the leading trends in the development of national terminology, and the study of the peculiarities and difficulties of its translation will allow to determine modern functional and stylistic trends within the given field and predict its future.

OBJECTIVE AND TASKS

The purpose of the research is to describe the modern system of astronomical and rocket engineering terminology and to investigate the peculiarities of the translation of the relevant terms into the Ukrainian language.

MATERIALS AND METHODS

Research methods: theoretical study and analysis of literary sources on the problem of research; methods of linguistic analysis: descriptive and comparative methods, methods of classification and systematization.

RESULTS

Aerospace terminology, like the terminology of any professional terminological system, has its own characteristics, in particular the English-speaking one, because English-speaking countries are among the leaders in the world in the direction of aviation and space development. The Ukrainian and English languages, of course, differ in their structure, so when translating, it is often necessary to use grammatical and lexical-semantic transformations, including in cases when there are no equivalent concepts in the translated language, denoting little-known latest developments, so translators resort to borrowing.

Depending on the degree of specialization, the terms are divided into three groups:

1. General scientific terms that are used in almost all branch terminology, for example: system, tendency, concept, theory, analysis, synthesis, etc. It should be noted that such terms can specify their meaning within certain terminology. This category also includes general technical terminology: machine, appliance, aggregate.

2. Interdisciplinary terms are terms that are used in several related or distant fields (economic science has a common terminology with other social and natural sciences), for example: amortization, ecological taxation, sanitation, technopolis, reflection, real time.

3. Highly specialized terms are words or phrases that denote concepts that reflect the peculiarities of a specific field, in particular aerospace, for example: upper atmosphere research satellite, meteor, lunar module.

Like any other terminology, the terminology of the aerospace industry is characterized by systematicity and thematic grouping and is a complex entity, the structure of which contains separate subsystems. The systematicity of the vocabulary of the space professional language is reflected in the systematicity of the conceptual field, which consists in the fact that the meaning of lexical units does not exist in isolation, but in a certain relationship with the meaning of other units of a defined semantic field [4].

One of the most important features that distinguish a term from a commonly used word is its belonging to a certain terminological field. The terminological field is defined as an artificially defined area of existence of a term, within which it possesses all its characteristic features.

The use of semantic fields to describe terminological vocabulary is associated with the division of terminological units into certain lexical-semantic groups, which are separate microsystems within the framework of the aerospace terminology system. Modern English aerospace terminology is very diverse in terms of its lexical and semantic content.

The main semantic groups combine terms to denote general concepts of processes, actions, objects, spacecraft details, properties, equipment used for space exploration, etc. The most typical among them are the following groups of terms:

- to designate machines, mechanisms, devices: simulator – симулятор; gimbals – амортизація; aircraft carrier – трап літака; transmitter – трансмітер; engine bell – сопло-двигун; USS – авіаносець; coil – редуктор; Ascent vehicle – борт орбітального апарату; MDV – пусковий механізм;

- to indicate the details of the spacecraft's equipment and systems: helmet restraint ring – кільце для шолома; communication umbilical – системи зв'язку та вентиляції; booster – прискорювач; fuel pumps – паливні насоси; tower – заглушка; trim – обшивка; cooling system – система охолодження; overboard dump – бортова каналізація;

- to indicate the properties of aerospace engineering: supersonic velocity – надзвукова швидкість; nominal system – система, що працює в нормальному режимі; trajectory – траекторія; relative speed – відносна швидкість; rate of turn – швидкість розвороту; high – висота; translation – показники; pitch rate - рівень підйому;

- to indicate actions, technical processes: pre-launch test – передполітний тест; capsule ingress – вхід в капсулу; to embark – виrushати, запускати; landing – висадка; to penetrate – заходити; to abort – відмовитися, повернути назад; docking – стикування; splash-down – приземлення;

- to designate space flight control units, positions, specialties: flight controllers – керівники польотом; RETRO (Retrofire Officer) –

Пілотований модуль; FIDO (Flight Dynamics Officer) – ФІДО; Guidance – Наведення; Surgeon – бортовий лікар; EECOM (Command Service Module Electrical and Environmental Engineer) – Компресори;

- for designation of premises of special purpose buildings, their parts: flight – центр керування; launch pad – майданчик запуску корабля; Mission Control – центр керування польотом; launch control – управління запуском; pad leader – стартовий майданчик; prime recovery zone – зона приземлення; mission site – космічна база; relay probe – станція зв’язку;

- to indicate special units of measurement, standards: atom – атом; amp – ампер; sol – день; molecule – молекула;

- for designation of substances, materials: rocket fuel – ракетне паливо; lithium hydroxide – гідроксид літію; diesel – дизель;

- names of methods and programs of space exploration: manned space program – космічний політ із людьми на борту; interstellar travel – подорож до зірок; final expedition – остання експедиція; debrief – політ із поверненням до відправної точки;

- names of space objects: star field – зіркове поле; wormhole – червоточина у просторі; black hole – чорна діра; neutron star – нейтронна зірка; collapsed star – колапсар; Solar system – Сонячна система;

- to indicate problems, breakdowns in aerospace systems: short – коротке замикання; liquid propulsion – течія; cabin pressure – розгерметизація кабіни; master alarm – тривога номер один;

- designation of physical and physiological phenomena: Moon’s gravity – гравітаційне коло місяця; hibernation – анабіоз; upper atmosphere – верхні шари атмосфери; gravitational pull – гравітаційне поле; time slippage – часовий зсув.

The semantic method of term creation is the main method of creation because a commonly used lexical unit acquires the status of a term as a result of certain semantic changes in the use of this unit in the language. In general, there are two options for creating terms from commonly used words.

Words that are part of the terminological system in their basic meaning and are both well-known and special at the same time. The lexical meaning of a commonly used word "merges" with the general terminological meaning without special semantic shifts. The definition of such a term differs from the definition of a word in general literary language, for example: entry – 1) вход (у загальновживаному значенні), 2) вход в атмосферу (у галузі аерокосмонавтики); gap – 1) проміжок, 2) люфт.

Metaphorization of the meanings of commonly used words is based on the external or functional similarity of the named objects, for example:

branch – 1) гілка (дерева), 2) патрубок; guide – 1) провідник, 2) направляюча конструкція; tail – 1) хвіст, 2) хвостова частина (космічного корабля); nose airlock – носовий повітряний шлюз.

In the process of formation of the aerospace terminological vocabulary, metonymic transfer is also used, which is carried out on the basis of the contiguity of two things, their combination in space or time. New meanings of words appear based on the contiguity of their signs [5]. The metonymic method of transfer is not based on similarity (as in the metaphorical one), but on the contiguity of concepts, in other words, a word that is the name of one object or phenomenon is used to designate another object or phenomenon that is in relationship with the first. Therefore, the metaphor is primarily a semantic shift in meaning, and metonymy is a semantic shift in reference. Although both processes are symbolic transfers, metonymy identifies the object of its designation, and metaphor characterizes it.

CONCLUSIONS

So, a term is a word or phrase that denotes a clearly defined concept of a certain field of knowledge or human activity. Each term is characterized by the presence of such features as: belonging to a certain terminological system; existence of a definition; ambiguity within one term system; precision; stylistic neutrality; lack of synonyms and homonyms within the same term system; lack of expressiveness, imagery, subjective-evaluative shades.

Each term, as a lexical unit, performs a number of functions: representative, significant, communicative, pragmatic.

Rocket engineering terminology is part of the English language system as one of its subsystems, subject to general language trends. Semantic-structural analysis makes it possible to understand the trends in the formation and development of terminological units, to find out the origin and connections between them. The translation of industry terminology is a complex process in which the interaction of the term with the context is essential.

The main method of translating a term is using a lexical equivalent. The following methods of translation of term units are also distinguished: descriptive translation, translation using the genitive case, translation using prepositions, literal translation, transcription, transliteration.

The most common methods of translating terms denoting astronomical objects are literal translation, translation using the genitive case, and translation using prepositions. Difficulties arise mostly when translating terms containing five or more components, and consist in determining the main

word in the term and the appropriate use of prepositions.

Among the terms denoting astronomical phenomena and processes, two-component term compounds prevail, and among the techniques used in the translation of the terms of this terminological subsystem, literal translation and translation using the genitive case prevail.

The variety of applied translation techniques depends on the number of components. Among the difficulties of translating terms of this type, it is worth to note the polysemy of individual components of term compounds.

REFERENCES

1. Абабілова, Н. (2015) Особливості перекладу термінів українською мовою. *Молодий вчений*, 2 (17), 126–128. http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2015_2%286%29_33
2. Бондар, Л. (2011) Механізми перекладу англійських термінів–новоутворень українською мовою. *Філологічні студії*, 6, 81–87. http://nbuv.gov.ua/UJRN/PhSt_2011_6_13
3. Дубічинський, В. (2003) Прикладне термінознавство. Харків : НТУ «ХПІ», 145. <https://doi.org/10.32782/tps2663-4880/2003.14-1.10>
4. Д'яков, А. (2004) Основи термінотворення: Семантичний та соціолінгвістичний аспекти. Київ : Academial, 220. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-083-4-6>
5. Карабан, В. (2001) Переклад англійської наукової і технічної літератури. Вінниця : Нова книга, 471. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-083-4-2>
6. Кияк, Т. (2008) Функції та переклад термінів у фахових текстах. Вісник нац. ун–ту «Львівська політехніка». Серія «Проблеми української термінології», 620, 3–5. <https://doi.org/10.32841/2409-1154.2008.45>
7. Коваленко, А. (2002) Загальний курс науково–технічного перекладу. Київ : Інкос, 320. <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20240302.14>
8. Корбут, О. (2014) До проблеми труднощів перекладу технічних термінів у студентів машинобудівних спеціальностей. Advanced Education, 1, 36–41. http://nbuv.gov.ua/UJRN/novosc_2014_1_7
9. Кучман, І. (2005) Переклад англійських термінів у галузі комп’ютерних технологій. Вісник Житомир. держ. ун–ту імені Івана Франка, 10, 25–32. <http://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/2590>

USING HYDROGEN PEROXIDE FOR ROCKET FUEL TANK PRESSURIZATION: INNOVATIONS, ADVANTAGES, AND CHALLENGES

Mykhailo Vorobei

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9173-8564>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Mykola Bondarenko

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8421-8408>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

Efficient pressurization of rocket fuel tanks is crucial for maintaining consistent fuel flow and ensuring optimal engine performance. Traditional methods typically involve the use of inert gases such as nitrogen or helium. However, these methods have limitations, including storage challenges and lower energy density. Hydrogen peroxide (H_2O_2), a highly reactive oxidizer, presents a promising alternative. Historically used in various propulsion systems, H_2O_2 has unique properties that can enhance pressurization efficiency and overall rocket performance.

OBJECTIVE AND TASKS

This paper explores the potential of using hydrogen peroxide (H_2O_2) as a pressurizing agent for rocket fuel tanks. The study focuses on the thermodynamic and chemical properties of H_2O_2 , its advantages over traditional pressurizing methods, and the technical and operational challenges associated with its use.

CHEMICAL AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF HYDROGEN PEROXIDE

Efficient pressurization of rocket fuel tanks is crucial for maintaining consistent fuel flow and ensuring optimal engine performance. Traditional methods typically involve the use of inert gases such as nitrogen or helium. However, these methods have limitations, including storage challenges and lower energy density. Hydrogen peroxide (H_2O_2), a highly reactive oxidizer, presents a promising alternative. Historically used in various propulsion systems, H_2O_2 has unique properties that can enhance pressurization efficiency and overall rocket performance.

Chemical and Thermodynamic Properties of Hydrogen Peroxide
Hydrogen peroxide decomposes exothermically into water and

oxygen, releasing a significant amount of energy. The decomposition reaction is given by:

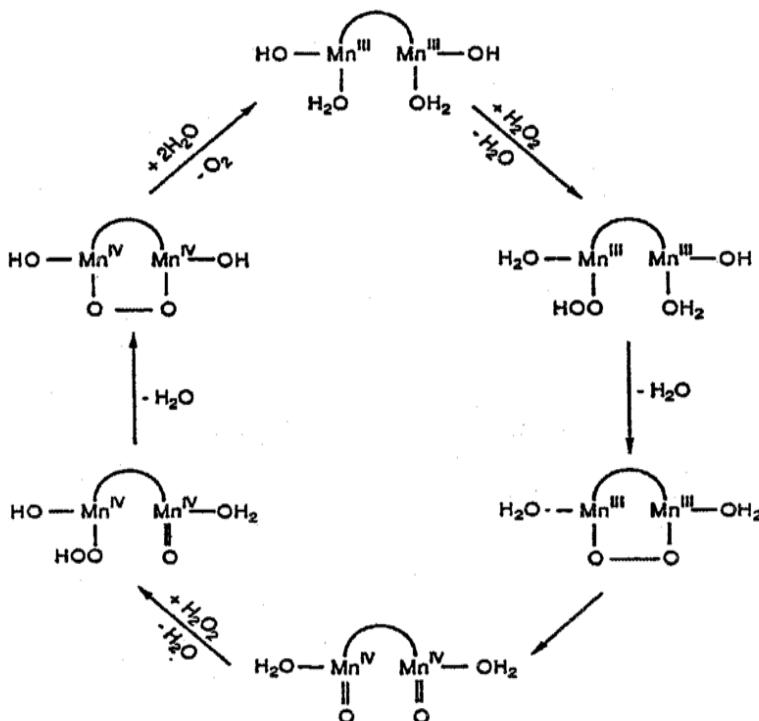
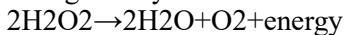


Figure 1 - Diagram of H_2O_2 Decomposition Process

The energy released during this process can be harnessed for pressurization purposes. High concentration and purity of H_2O_2 are crucial for maximizing efficiency. The thermodynamic properties, such as boiling and freezing points, and specific heat capacity, play a vital role in the design and operation of pressurization systems.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF USING H_2O_2 FOR PRESSURIZATION

Implementing H_2O_2 -based pressurization systems involves several technological considerations:

- **Storage Solutions:** H_2O_2 must be stored in compatible materials such as certain plastics or coated metals to prevent decomposition and

corrosion.

- **Catalysts:** Catalysts like platinum or silver are used to facilitate the controlled decomposition of H₂O₂, ensuring a steady release of gas for pressurization.
- **System Design:** The pressurization system must include components like pressure regulators, valves, and safety mechanisms to handle the reactive nature of H₂O₂ and ensure safe operation.

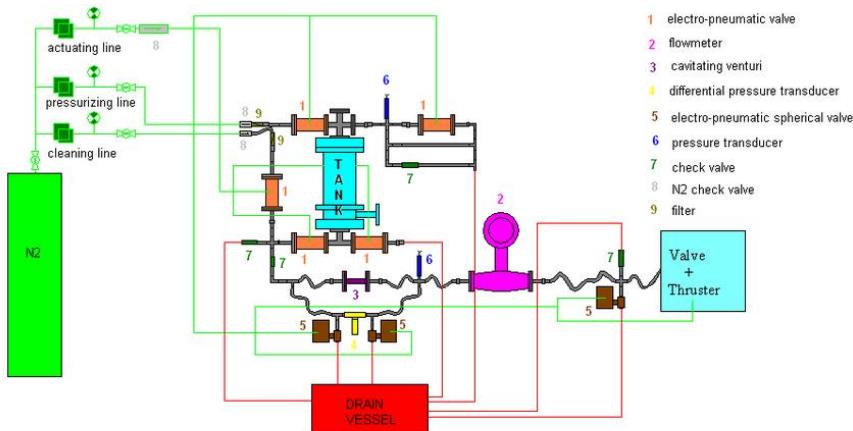


Figure 2 – Schematic of H₂O₂ Pressurization System

ADVANTAGES OF USING HYDROGEN PEROXIDE

Hydrogen peroxide offers several advantages over traditional pressurizing agents:

- **Higher Energy Density:** H₂O₂ provides a higher energy output per unit mass, enhancing the overall efficiency of the pressurization process.
- **Cost Efficiency:** H₂O₂ is relatively inexpensive compared to helium, reducing operational costs.
- **Environmental Benefits:** Decomposition products of H₂O₂ are water and oxygen, which are environmentally benign compared to other chemicals.

TECHNICAL AND OPERATIONAL CHALLENGES

Despite its advantages, using H₂O₂ for pressurization poses certain challenges:

- **Safety Issues:** H₂O₂ is highly reactive and requires stringent handling and storage protocols to prevent accidental decomposition.
- **Corrosion:** Prolonged contact with metals can lead to corrosion, necessitating the use of corrosion-resistant materials or coatings.
- **Heat Management:** The exothermic decomposition of H₂O₂ generates heat, which must be effectively managed to prevent damage to the pressurization system.

CASE STUDIES AND RESEARCH

Several case studies highlight the successful application of H₂O₂ in modern rocket systems:

- **Historical Usage:** Analysis of past missions where H₂O₂ was used in propulsion and pressurization, detailing performance outcomes and lessons learned.
- **Modern Implementations:** Recent experiments and field trials demonstrating the effectiveness of H₂O₂ in various rocket configurations. Data from these studies provide insights into the practical challenges and solutions.

FUTURE PERSPECTIVES AND DEVELOPMENT

Future research and development efforts can focus on:

- **Improving Catalyst Efficiency:** Developing more efficient and stable catalysts to enhance the decomposition process.
- **Advanced Materials:** Researching new materials for storage and system components to minimize corrosion and improve safety.
- **System Integration:** Exploring the integration of H₂O₂ pressurization systems with hybrid and liquid rocket engines for enhanced performance.

RESULTS

Hydrogen peroxide (H₂O₂) presents a transformative alternative for rocket fuel tank pressurization, offering several compelling advantages over traditional methods. The thermodynamic and chemical properties of H₂O₂, particularly its high energy density, make it an exceptionally efficient pressurizing agent. This efficiency translates into improved performance for rocket propulsion systems, ensuring consistent fuel flow and enhancing overall engine operation.

One of the standout benefits of H₂O₂ is its cost efficiency. Compared to helium, H₂O₂ is significantly more economical, reducing the operational

costs associated with rocket launches. This economic advantage is crucial for both commercial space enterprises and military applications, where budget constraints are always a consideration.

Environmentally, H₂O₂ is a superior choice. Its decomposition products—water and oxygen—are harmless to the environment, aligning with the growing emphasis on sustainable and green technologies in space exploration. This characteristic positions H₂O₂ as an environmentally friendly option, reducing the ecological footprint of rocket launches.

However, the use of H₂O₂ is not without challenges. Safety concerns due to its reactive nature necessitate stringent handling and storage protocols. The development of compatible storage materials and the use of effective catalysts, such as platinum and silver, are essential to mitigate these risks. Additionally, the issue of corrosion requires ongoing research to develop and implement corrosion-resistant materials and coatings.

Heat management is another critical aspect, given the exothermic nature of H₂O₂ decomposition. The integration of advanced cooling systems and heat-resistant materials within pressurization systems is vital to manage the generated heat and ensure the durability and safety of the components.

Case studies and recent experimental trials have underscored the practical viability of H₂O₂ in modern rocket systems. These studies provide valuable insights into the performance and operational dynamics of H₂O₂, demonstrating its effectiveness in various configurations and real-world applications.

Looking forward, research and development will continue to focus on enhancing catalyst efficiency, advancing storage technologies, and exploring the integration of H₂O₂ with hybrid and liquid rocket engines. These efforts aim to further optimize the performance, safety, and cost-effectiveness of H₂O₂ pressurization systems.

In conclusion, hydrogen peroxide offers a promising and innovative solution for rocket fuel tank pressurization. Its significant advantages in terms of energy density, cost efficiency, and environmental impact, coupled with ongoing advancements in technology and safety measures, position H₂O₂ as a key player in the future of rocket propulsion. Continued research and development in this field will likely lead to more efficient, safer, and sustainable space exploration technologies, potentially revolutionizing the landscape of modern rocketry.

CONCLUSIONS

Hydrogen peroxide presents a viable alternative for rocket fuel tank pressurization, offering significant advantages in terms of energy density,

cost, and environmental impact. However, addressing the associated technical and operational challenges is crucial for its successful implementation. Continued research and development in this area can lead to more efficient and safer pressurization systems, potentially revolutionizing rocket propulsion technology.

REFERENCES

1. Bondarenko, M., & Habrinets, V. (2023). Thrust Vector Control of Solid Propellant Operative-Tactical Rockets. *Challenges and Issues of Modern Science*, 1, 68-73. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/14>
2. Cervone, A., Torre, L., d'Agostino, L., Musker, A. J., Roberts, G. T., Bramanti, C., & Saccoccia, G. (2006, July). Development of hydrogen peroxide monopropellant rockets. In *42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit* (p. 5239).
3. Kopacz, W., Okninski, A., Kasztankiewicz, A., Nowakowski, P., Rarata, G., & Maksimowski, P. (2022). Hydrogen peroxide—A promising oxidizer for rocket propulsion and its application in solid rocket propellants. *FirePhysChem*, 2(1), 56-66.
4. Glivin, G., & Sreeja, V. (2019, March). Development of hydrogen peroxide based propellant systems for increasing energy efficiency. In *2019 International Conference on Recent Advances in Energy-efficient Computing and Communication (ICRAECC)* (pp. 1-4). IEEE.
5. Bramanti, C., Cervone, A., & d'Agostino, L. (2005, September). Assessment of the Propulsive Performance of Fuel Vapor Pressurized Hydrogen Peroxide-Ethane Rocket Engines. In *XVIII Congresso Nazionale AIDAA, Volterra, Italy*.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УМОВ ЛАБОРАТОРНОГО ТЕСТУВАННЯ НА РОБОЧІ ПАРАМЕТРИ ХОЛЛОВСЬКОГО ДВИГУНА ST-25

Віктор Перерва

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8803-5360>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олександр Петренко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5648-5068>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Вимірювання основних робочих параметрів холловських двигунів – сили тяги та витрати робочої речовини – є складною задачею через необхідність точного вимірювання малих величин. Лабораторні випробування таких двигунів проводяться у різних умовах: різні вакуумні камери за розміром і матеріалами, різні системи вакуумного відкачування, та інше. Тому важливо визначити вплив умов випробувань на основні робочі параметри, які включають силу тяги, питомий імпульс та коефіцієнт корисної дії.

У компанії Flight Control LLC для лабораторних випробувань холловських двигунів використовуються різні вакуумні камери, що відрізняються за розмірами, системами вакуумного відкачування та рівнем вакуума. Порівняння вимірюваних та розрахованих значень робочих параметрів холловського двигуна ST-25 у різних умовах випробувань має велике значення. Отримані результати допоможуть визначити оптимальні умови випробувань, які мінімізують вплив на робочі параметри. Проведення спрямованих експериментальних досліджень щодо визначення впливу умов проведення лабораторних випробувань на робочі параметри холловських двигунів є актуальним та має практичне значення для розробників і дослідників даної технології.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Багато вчених вважають, що важливо визначити вплив залишкового тиску в вакуумній камері на характеристики холловських двигунів під час наземних випробувань. Взаємодія прискорених іонів з залишковим газом у вакуумній камері може значно змінювати параметри двигуна, порівняно з роботою у космосі. Зокрема, залишковий газ впливає на термін служби двигуна, змінюючи його робочі параметри

[1]. Дослідження, проведене в [2], включало в себе аналіз характеристик холловського двигуна з магнітним екрануванням у вакуумній камері SITAEL IV10. Були виявлені залежності між струмом розряду та тягою від масових витрат робочої речовини. Дослідження показало, що при нижчому залишковому тиску газу в вакуумній камері значення тяги та струму розряду також були нижчими.

Результати іншого дослідження [3] підтвердили, що підвищений залишковий тиск впливає на параметри двигуна, порівняно з роботою у космосі. Дослідження [4] показало, що аналітична модель впливу фонового потоку на характеристики холловських двигунів є ефективним інструментом прогнозування. Однак цю модель складно застосовувати для аналізу впливу на двигуни з меншою потужністю.

З урахуванням вищезазначеного, дослідження [5, 6] показало, що збільшення залишкового тиску газу впливає на розподіл швидкостей іонів у прискорювальному каналі, що призводить до зміни робочих параметрів двигуна. Дослідження [7] також виявило вплив умов випробувань на конструктивні елементи двигуна, але не вказувало на робочі характеристики. Загалом, дослідження [1–8] підтверджують необхідність врахування впливу залишкового тиску газу на робочі параметри холловських двигунів, що залишається важливою проблемою для дослідників у цій галузі.

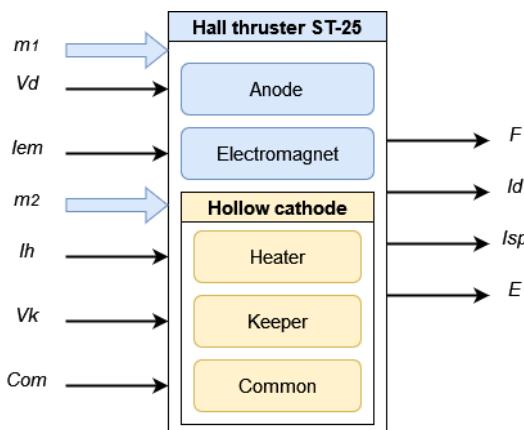
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В якості об'єкту досліджень було використано холловський двигун ST-25 [9]. Гіпотезою дослідження було припущення, що умови проведення лабораторних досліджень суттєво пливають на робочі параметри холловського двигуна. Для визначення впливу умов лабораторних випробувань на робочі параметри двигуна були проведені експериментальні дослідження в трьох різних вакуумних камерах, які істотно відрізнялися за своїми розмірами та рівнем залишкового вакууму при проведенні лабораторних досліджень. Основні параметри вакуумних камер представлені в табл. 1. На рис. 1 показані вхідні сигнали, які подавались на двигун впродовж досліджень, а також вихідні сигнали та розрахункові параметри двигуна, які отримані в результаті обробки експериментальних досліджень.

Дослідження проводилися для кожного режиму роботи двигуна, шляхом завдання напруги розряду та відповідних витрат робочого газу. Напруга розряду задавалась стабілізованим джерелом напруги в діапазоні 250–350 В з кроком 25 В. Величина масових витрат робочого газу в анодний блок задавалась в діапазоні 0,5–0,8 мг/с з кроком 0,1 мг/с.

Таблиця 1 – Технічні параметри вакуумних камер

№	Параметри	Камера № 1	Камера № 2	Камера № 3
1	Розміри, мм (довжина/діаметр)	1000/380	1350/750	4000/1300
2	Продуктивність насосів, л/с	2200	6400	33600
3	Тиск при масовій витраті ксенону 0,7 мг/с, Торр	$(2-3)10^{-4}$	$(1-2)10^{-4}$	$(7-8)10^{-5}$
4	Матеріал корпусу	Скло, алюміній	Нержавіюча сталь	Нержавіюча сталь

**Рисунок 1 – Вхідні і вихідні змінні та розрахункові параметри двигуна ST-25:**

V_d , I_d – напруга та струм розряду; I_{em} – струм електромагніту двигуна; V_k – напруга кілеру полого катоду; I_h – струм нагрівача катоду; m_1 , m_2 – витрати робочого газу в анодний блок та катод; F – тяга; I_{sp} – питомий імпульс; E – коефіцієнт корисної дії анодного блоку

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час проведення експериментальних досліджень були визначені вольт-амперні характеристики газового розряду двигуна ST-25 в різних вакуумних камерах з різними значеннями залишкового тиску газу. Аналіз отриманих вольт-амперних характеристик показує, що середнє значення струму розряду за різними значеннями залишкового тиску в вакуумних камерах залишається майже незмінним і визначається величиною витрати робочого газу в анодний блок двигуна.

Залежності тяги двигуна від величини масової витрати робочої речовини, отримані під час роботи двигуна ST-25 в різних вакуумних камерах при різних значеннях залишкового тиску, представлені на рис. 2–4.

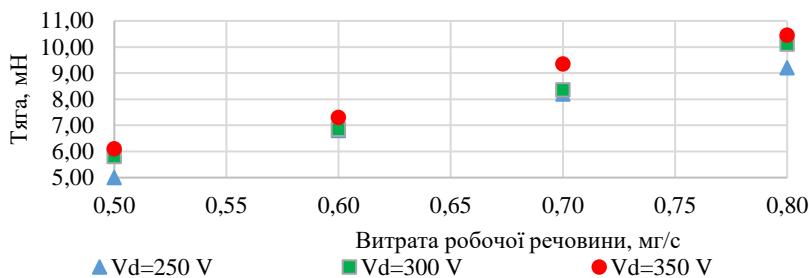


Рисунок 2 – Залежність тяги від масових витрат робочого газу в вакуумній камері № 1

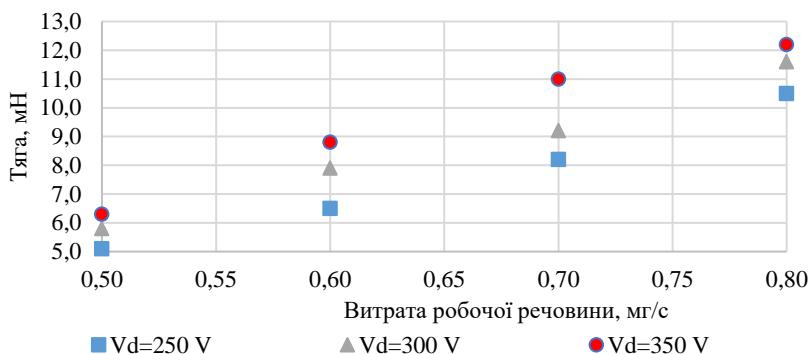


Рисунок 3 – Залежність тяги від масових витрат робочого газу в вакуумній камері № 2

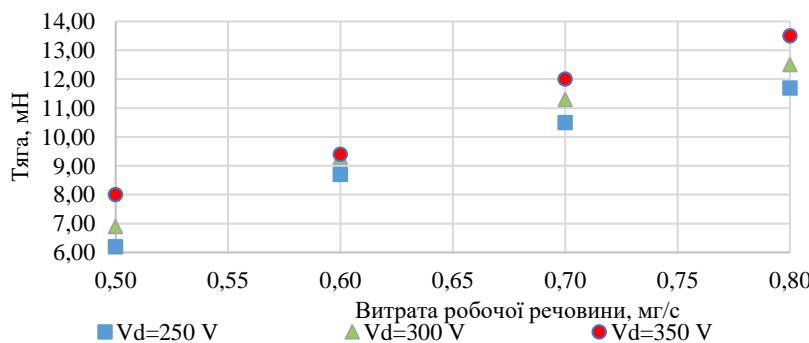


Рисунок 4 – Залежність тяги від масових витрат робочого газу в вакуумній камері № 3

На підставі результатів експериментальних випробувань вольтамперних характеристик та тяги двигуна, були розраховані залежності питомого імпульсу анодного блоку від напруги розряду та масових витрат робочої речовини згідно з такою формулою [9]:

$$I_{spa} = \frac{F}{\dot{m}_a \cdot g} \quad (1)$$

де I_{spa} – питомий імпульс анодного блоку двигуна, F – тяга, \dot{m}_a – масова витрата через анодний блок.

Залежності величини анодного ККД від розрядної напруги та величини витрат робочої речовини під час роботи двигуна у різних камерах обчислені згідно з такою формулою:

$$\eta_a = \frac{F^2}{2 \cdot \dot{m}_a \cdot N_d} \cdot 100\% \quad (2)$$

де η_a – ККД анодного блоку, N_d – потужність розряду.

В результаті проведених досліджень отримані експериментальні та розрахункові дані щодо впливу залишкового тиску в вакуумних камерах на робочі параметри холловського двигуна ST-25 – тяги, струму розряду, питомого імпульсу та коефіцієнту корисної дії. Ці дані взагалі збігаються з результатами інших досліджень [1–8], але відрізняються тим, що ми змогли конкретно виміряти вплив залишкового тиску на робочі параметри двигуна. Зменшення вакуума у 2–3 рази при випробуваннях двигуна ST-25 відображалося у підвищенні його робочих параметрів на 15–20%. Отже, для порівняння робочих характеристик холловських двигунів різних розробників потрібно враховувати умови випробувань, особливо рівень залишкового тиску у вакуумній камері.

Висновки

Під час експериментальних досліджень встановлено, що вольтамперні характеристики розряду двигуна ST-25 майже не змінюються в залежності від рівня залишкового тиску в вакуумних камерах. Однак тяга двигуна значно змінюється в залежності від умов випробувань: зменшення залишкового тиску у 2–3 рази призводить до зростання тяги на 25–40 % та збільшення питомого імпульса та коефіцієнта корисної дії анодного блоку на 15–20 %.

ПОСИЛАННЯ

1. Snyder, J. S., Lenguito, G., Frieman, J. D., Haag, T. W., & Mackey, J. A. (2020). Effects of Background Pressure on SPT-140 Hall Thruster Performance. *Journal of Propulsion and Power*, 36(5). <https://doi.org/10.2514/1.B37702>.
2. Piragino, A., Piragino, A., Piragino, A., Ferrato, E., Piraino, A., & Andreussi, T. (2021). Background Pressure Effects on the Performance of a 20 kW Magnetically Shielded Hall Thruster Operating in Various Configurations. *Aerospace*, 8(3), 69. <https://doi.org/10.3390/aerospace8030069>.
3. Kerber, T. V., Baird, M. J., McGee-Sinclair, R. F., & Lemmer, K. M. (2019). Background Pressure Effects on Plume Properties of a Low-Cost Hall Effect Thruster. In *Proceedings of the 36th International Electric Propulsion Conference*, University of Vienna, Austria, September 15-20, 2019. <https://electricrocket.org/2019/513.pdf>.
4. Frieman, J. D., Liu, T. M., & Walker, M. L. R. (2017). Background Flow Model of Hall Thruster Neutral Ingestion. *Journal of Propulsion and Power*, 33(5). <http://hpepl.ae.gatech.edu/sites/default/files/articles>.
5. Nakles, M. R., & Hargus Jr., W. A. (2009). Hall Effect Thruster Ground Testing Challenges. In *Proceedings of the 25th Aerospace Testing Seminar*, Huntington Beach, CA, October 2009. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA506238.pdf>.
6. Nakles, M. R., & Hargus Jr., W. A. (2008). Background Pressure Effects on Internal and Near-field Ion Velocity Distribution of the BHT-600 Hall Thruster. In *Proceedings of the 44th AIAA Joint Propulsion Conference*, Hartford, CT, 20-23 July 2008. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA486026.pdf>.
7. Cheng, S. Y. (2007). Modeling of Hall Thruster Lifetime and Erosion Mechanisms (Ph.D. thesis). Massachusetts Institute of Technology. <http://electricrocket.org/IEPC/IEPC-2007-250.pdf>.
8. Mazouffre, S., Echegut, P., & Dudeck, M. (2007). A Calibrated Infrared Imaging Study on the Steady State Thermal Behavior of Hall Effect Thrusters. *Institute of Physics Publishing*. DOI: 10.1088/0963-0252/16/1/003.
9. Petrenko, O., Voronovsky, D., Kulagin, S., & Tolok, S. (2020). Hall-effect thruster ST-25 with permanent magnet. *Journal of Rocket-Space Technology*, 28(4), 37–45. <https://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/article/view/74>.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ НЕРОБОЧОГО ХОДУ ПОТУЖНОГО П'ЯТИСТРИЖНЕВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Сергій Зірка

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7607-1436>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Денніс Алберт

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8916-851X>

OMICRON electronics GmbH, Клаус, Австрія

Вступ

Силові трансформатори великої потужності відносяться до найбільш відповідальних і вартісних елементів електричних мереж. Тривала робота трансформаторів без відключень вимагає врахування втрат енергії в цих апаратах і висуває високі вимоги до достовірності їх моделювання. Метою цієї статті є вдосконалення динамічної моделі п'ятистрижневого трифазного трансформатора, що застосовується для зменшення габаритної висоти апарату. Модель, що розглядається, розвиває моделі та методи, що описані в [1], [2] та [3]. Запропоновані вдосконалення полягають в більш детальному відтворенні роботи трансформатора в режимі неробочого ходу при номінальній та підвищений напрузі живлення.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження даної роботи є моделювання підвищувального генераторного трансформатора потужністю 786 МВА і схемою обмоток $Yd11$. Внутрішня обмотка низької напруги (НН) з'єднана в трикутник (d) з лінійною напругою 28 кВ, а лінійна напруга з'єднаної в зірку (Y) зовнішньої обмотки високої напруги (ВН) – 525 кВ. Решту параметрів трансформатора наведено в [4].

Проміжним завданням дослідження є модельне відтворення втрат неробочого ходу трансформатора в широкому діапазоні НН. Другий і основний етап роботи полягає у відтворенні на моделі форми струмів у трифазній лінії, що живить обмотку НН (модель має охоплювати НН, що досягають 110% від номіналу). Слід зауважити, що задача розрахунку форми струмів ставилась в [5], однак типових кривих струму в тій роботі виявлено не було, а її автори обмежились моделюванням трансформатора за номінальної напруги.

ТОПОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ П'ЯТИСТРИЖНЕВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В основу дослідження було покладено модель п'ятистрижневого трансформатора, показану на рисунку 1.

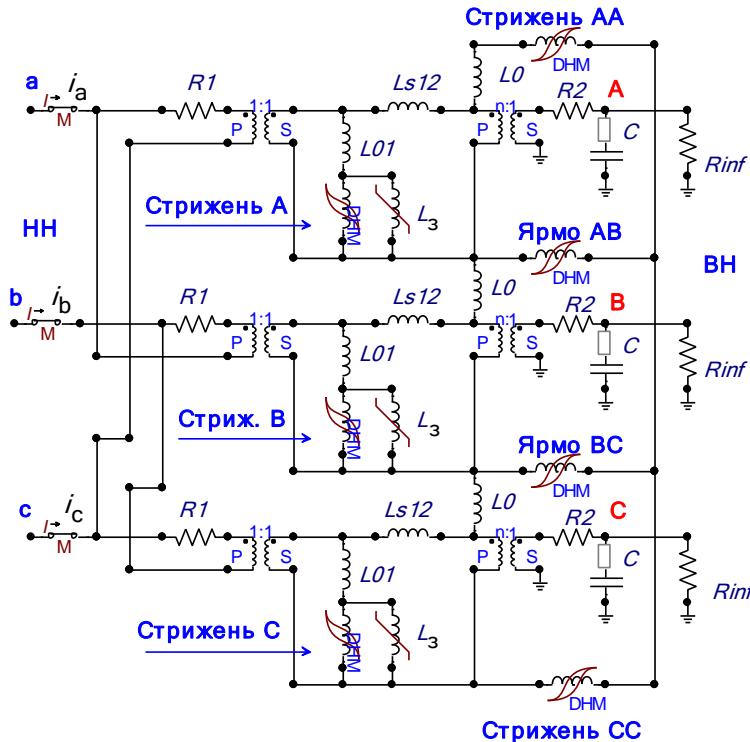


Рисунок 1 – Електрична модель п'ятистрижневого трансформатора

Детальний опис елементів моделі наведений в [1], [2] та [3], де змінні індуктивності L_3 характеризують немагнітні зазори між стрижнями і ярмами осердя. Топологічний характер моделі зумовлений роздільним представленням стрижнів і ярем. Ці елементи показані на рисунку 1 гістерезисними індукторами DHM (Dynamic Hysteresis Model) [6].

Використання моделей на основі швидкодіючої DHM стало особливо доцільним після включення DHM до загальнодоступної програми розрахунку переходних процесів ATP/ATPDraw [7], де цей елемент має назву L(i) Zirka-Moroz nonlinear inductor.

МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ НЕРОБОЧОГО ХОДУ

При виконанні даного дослідження інформація про сталь осердя і схему його шихтування була відсутня. В такій ситуації електротехнічну сталь 27ZDKH85 корпорації Nippon Steel було обрано в бібліотеці DHM в якості матеріалу осердя трансформатора.

Суцільними лініями на рисунку 2(а) показані залежності питомої енергії W (в Дж/ м^3 за цикл) від пікової індукції B_m , що розраховані з використанням DHM для сталі 27ZDKH85 на частотах 50 та 60 Гц. Як можна побачити, розраховані втрати W є близькими до ізольованих точок на рисунку 2(а), які є значеннями втрат, перерахованих з каталогу Nippon Steel [8], де вони наведені у Ватах на кілограм.

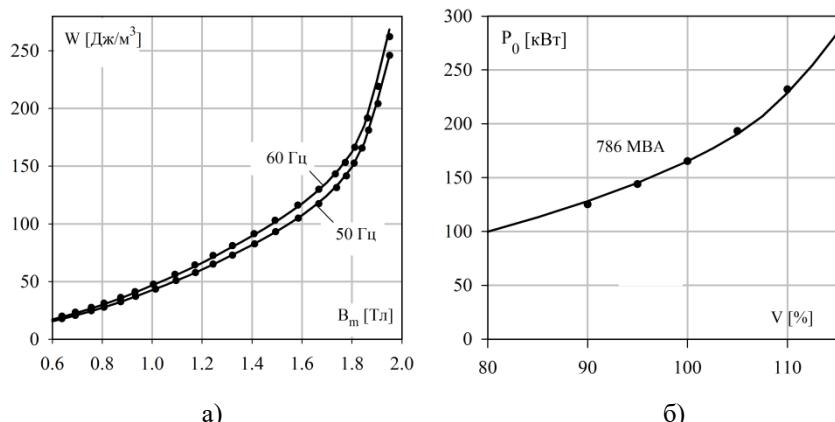


Рисунок 2 – а) Питомі втрати енергії в сталі 27ZDKH86; б) Втрати неробочого ходу трансформатора 786 МВА

Втрати неробочого ходу P_0 , виміряні для трансформатора, що розглядається, позначені ізольованими точками на рисунку 2(б). Розрахована крива втрат, що проходить через ці точки, ілюструє точність моделі щодо розрахунку втрат неробочого (холостого) ходу.

МОДЕЛЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ СТРУМІВ НЕРОБОЧОГО ХОДУ

Моделлю *першого* наближення називаємо схему на рисунку 1, в якій відсутні ємності C та індуктивності L_3 . За такого спрощення моделі її лінійні струми i_a , i_b , i_c , показані пунктирними кривими на рисунку 3, значно відрізняються від вимірюваних струмів, представлених на рисунку 3 суцільними коловоровими кривими.

Моделлю *другого* наближення називаємо схему на рисунку 1, де

індуктивності L_3 , як і раніше, відсутні, а ємності C враховують власні ємності обмоток і вводів ВН. Оскільки значення C є єдиним невідомим параметром моделі, то це значення легко знаходиться методом спроб і помилок. Криві струмів, показані пунктиром на рисунку 4, були розраховані для значень C , що дорівнюють 1900 пФ.

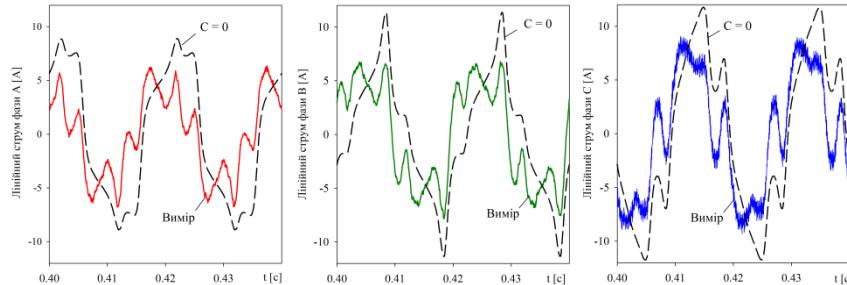


Рисунок 3 – Криві струмів, розраховані без урахування ємностей

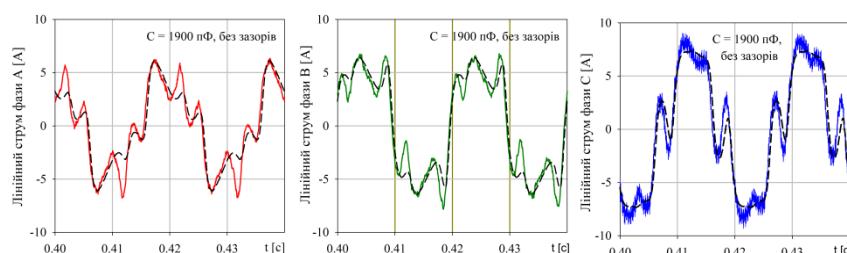


Рисунок 4 – Криві струмів, розраховані з урахуванням ємностей

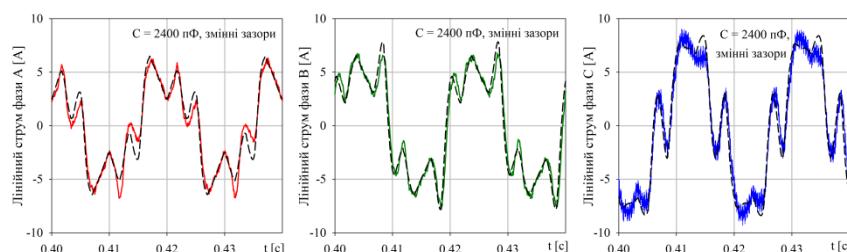


Рисунок 5 – Криві струмів, розраховані з урахуванням ємностей і зазорів в осерді

Хоча результати розрахунків на рисунку 4 вже непогано збігаються з результатами вимірювань, на цьому етапі постало питання про можливість подальшого поліпшення результатів моделювання. Такі поліпшені результати показані на рисунку 5, де розраховані криві

струмів більш точно відтворюють піки експериментальних струмів.

Можливість поліпшення результатів надає побудова гістерезисних кривих моделі, наприклад кривої $\psi_a - i_a$ на рисунку 6(а) і її порівняння з відповідною експериментальною кривою. (Значення ψ_a знаходяться тут шляхом інтегрування відповідних фазних напруг).

Як видно з рисунку 6(а), нахил вимірюваної петлі в діапазоні потокозчеплень від -20 до +20 В·с відтворюється точніше, якщо ємність C збільшити від 1900 пФ до 2400 пФ. Водночас петля, розрахована при 2400 пФ, значно відхиляється від вимірюваної кривої для потокозчеплень ψ , що перевищують за модулем значення 20 В·с.

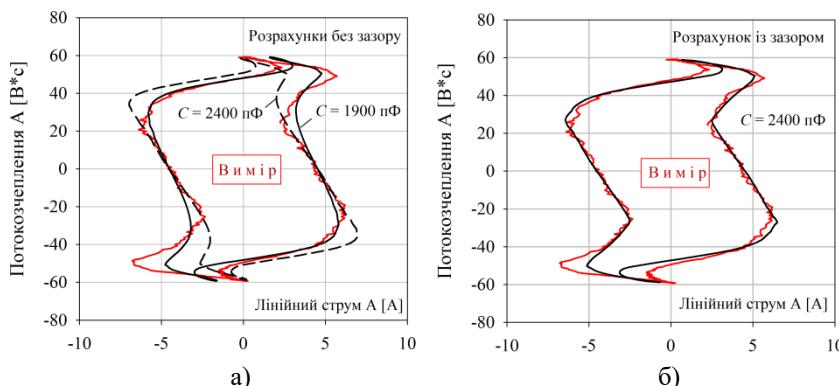


Рисунок 6 – а) Потокозчеплення фази А, розраховані без урахування зазорів в осерді; б) Те ж потокозчеплення при урахуванні зазорів

Такий хід кривої, що відповідає ємності 2400 пФ, вказує на необхідність врахування в моделі немагнітних зазорів в осерді, які, як відомо, повертують петлю за годинниковою стрілкою. Оскільки такий поворот має відбуватися лише при $|\psi| > 20$ В·с, модельні зазори мають бути малими при $|\psi| < 20$ В·с, а потім швидко зростати. Пояснення такої поведінки зазору наведено в [3] та [9]. В роботі [3] було також запропоновано спосіб реалізації концепції змінного зазору в електричній заступній схемі. Згідно до цього способу, в модель на рисунку 1 були введені змінні індуктивності L_z зазорів, вебер-амперна характеристика (ВАХ) яких показана у двох масштабах на рисунку 7(а). Щоб порівняти отримані результати з тими, що наведені в [3] та [9], на рисунку 7(б) показано залежність величини зазору Δ від максимальної індукції B_m у стрижні (індукція в зазорі і стрижні осердя вважається однаковою).

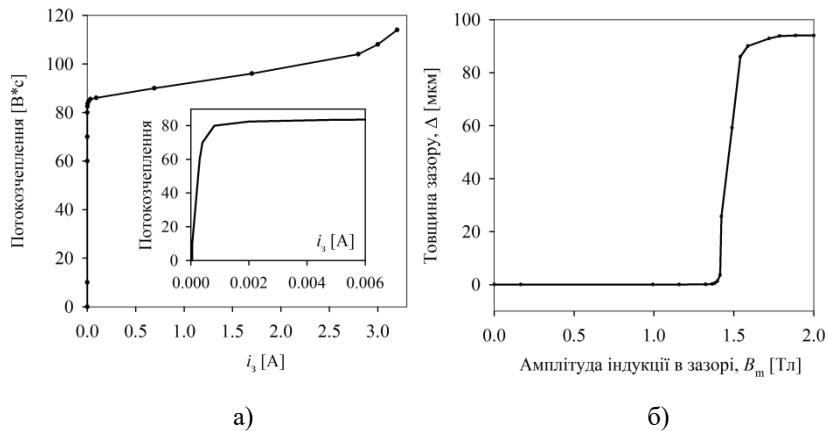


Рисунок 7 – а) ВАХ немагнітного зазору і б) залежність його товщини Δ від B_m

Форми лінійних струмів, виміряних і розрахованих при напрузі у 110% від номінальної, показані на рисунку 8.

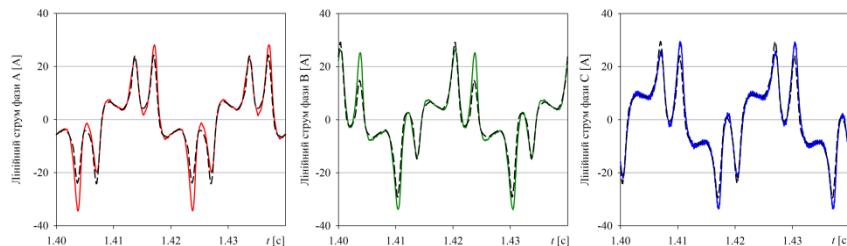


Рисунок 8 – Криві струмів, вимірюваних (суцільні криві) і розрахованіх (пунктиром) при $V = 110\%$ з урахування ємностей і зазорів в осерді

Невелика відмінність кривих на рисунку 8 обумовлена асиметриєю вимірюваних струмів, тобто похибками у вимірюванні.

Висновки

Показана можливість відтворювання втрат енергії і лінійних струмів неробочого ходу в трифазному трансформаторі з п'ятьма стрижнями з використанням топологічної моделі із зосередженими параметрами. Точність моделі досягнута завдяки врахуванню гістерезисних властивостей осердя, еквівалентних ємностей фаз і немагнітних зазорів між стрижнями і ярмами магнітопроводу. Можливості моделі проілюстровані моделюванням потужного трансформатора.

ПОСИЛАННЯ

1. Зирка, С. Е., Мороз, Ю. И., Мороз, Е. Ю., Тарчуткин А. Л. (2011). Моделирование переходных процессов в трехфазном трансформаторе с учетом топологии и гистерезисных свойств магнитопровода. *Технічна електродинаміка*, 5, 25–35.
2. Zirka, S. E., Moroz, Y. I., Elovaara, J., Lahtinen, M., Walling, R. A., Høidalen, H. Kr., Bonmann, D., Arturi, C. M., Chiesa, N. (2018). Simplified models of three-phase, five-limb transformer for studying GIC effects. *Electrical Power and Energy Systems*, 103, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.05.035>
3. Zirka, S. E., Albert, D., Moroz, Y. I., Renner, H. (2022). Further improvements in topological transformer model covering core saturation. *IEEE Access*, 10, 64018 – 64027. 10.1109/ACCESS.2022.3183279
4. Albert, D. (2022). *Analysis of Power Transformers under DC/GIC Bias*, PhD Thesis, Institute of Electrical Power Systems, Graz University of Technology, Graz, Austria.
5. Carrander, C., Mousavi, S. A., & Engdahl, G. (2017). An application of the time-step topological model for three-phase transformer no-load current calculation considering hysteresis. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 423, 241–244. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.09.088>
6. Zirka, S. E., Moroz, Y. I., Chiesa, N., Harrison, R. G. & Høidalen, H. K. (2015). Implementation of inverse hysteresis model into EMTP – Part II: Dynamic model, *IEEE Transaction on Power Delivery*, 5(30), 2233–3241. 10.1109/TPWRD.2015.2416199
7. Høidalen, H. K., Prikler, L., & Peñaloza, F. (2021). *ATPDraw Version 7.3 for Windows. Users' Manual*, NTNU, Trondheim, Norway.
8. Nippon Steel catalog. (2019). https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/D004je.pdf
9. Elleuch, M. & Poloujadoff, M. (1998). New transformer model including joint air gaps and lamination anisotropy, *IEEE Transaction on Magnetics*, 5(34), 3701–3711. 10.1109/20.718532

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОСЕЛЮВАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ПРЯМОТОЧНИХ ПАРОВИХ КОТЛІВ

Станіслав Білогуров

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2753-389X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олександр Мишенко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7559-1407>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Сергій Бардаков

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9367-1414>

Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро

Вступ

Інтенсивний розвиток технологічного прогресу вимагає все більших потужностей парових котлів для різних сфер застосування водяної пари, як основного теплоносія. У котлах парових, ранніх розробок, використовувався процес кипіння води у великому об'ємі, де пара спливала у вигляді парових бульбашок та накопичувалася у спеціальних парових барабанах, які мали великі розміри і становили певну небезпеку при розгерметизації. Жаротрубні котли також мають досить великі об'єми пароводяного простору при відносно невеликих потужностях, де пара накопичується у верхній частині теплообмінника. З підвищеннем потужності парового котла, одночасно зростають вимоги до його експлуатації, що пов'язано з небезпекою перегрітої води у внутрішньому об'ємі системи і собівартості обслуговування. Великі об'єми пароводяного простору та значні внутрішні напруження тиску призводять до збільшення маси конструкції котла і відповідно, до збільшення часу розігріву системи, або утримання її в розігрітому стані на мінімальній потужності, що веде до неефективного використання палива. За останні роки все частіше переходятять до застосування котлів з малим об'ємом пароводяного простору з метою зменшення часу розігріву, масово-габаритних характеристик і небезпеки їх експлуатації. Для котлів малої потужності можна було застосовувати змійовикові теплообмінники, у яких процес пароутворення відбувався аналогічно кипінню, як у великому об'ємі, а самі котли могли працювати за принципом термосифону [1-4]. У цих котлах співвідношення довжини до внутрішнього діаметра труби не перевищувало 140-170. При певних режимах течії продуктів згоряння і

конструкції теплообмінника вдалося досягти питомого теплового потоку більше $40 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Більш детальніша інформація викладена у [1, 2]. Для більших потужностей використовуються прямоточні парові котли, у яких процес пароутворення відбувається безпосередньо по всій довжині пароводяного каналу. Особливість конструкції теплообмінників такого типу полягає у тому, що по мірі руху пароводяної суміші, вздовж каналу, збільшується вміст частки пари, яка переходить від бульбашкового до снарядного режиму кипіння. Фізична картина такого явища потребує збільшення довжини пароводяного каналу. По даним різних авторів, починаючи зі степені сухості пари біля $x \approx 0,02$, утворюється дисперсно-кільцевий режим течії. Для зменшення протяжності снарядного режиму течії, який призводить до зниження степені сухості пари, перетин теплообмінника необхідно збільшувати до виходу пари. Таким чином теплообмінник складається з двох, або трьох послідовно з'єднаних труб різного діаметру, причому збільшення діаметру відбувається в сторону вихідного перерізу. У разі використання котлів великої потужності, замість збільшення діаметру труби, збільшуються кількість заходів теплообмінних труб, що призводить до зростання загальної площини перетину пароводяного простору.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Основна задача таких теплообмінників полягає у отриманні необхідної кількості пари при постійному тиску з можливістю широкої зміни витрати її і належної якості: насичений, сухий або перегрітий. Суттєвий вплив на вирішення цієї задачі полягає у виді використання палива. При використанні газоподібного палива ця задача вирішується відносно простіше, по тепловому балансу палива і кількості отриманої пари. У випадку використання твердого палива цей процес ускладнюється по декільком причинам: калорійність палива, вологість його, інерційність камери згоряння та загрузочного пристрою. Особливі складнощі виникають при нерівномірному відборі пари на котлах малої або середньої витрати. Частково ці проблеми вирішуються за рахунок встановлення сепаратора на виході пари з парового котла, але при відносно невеликих ступенях дроселювання, якість пари погіршується і дуже згубно впливає на якість продукції. На відміну від котлів, де процес пароутворення відбувається у великому об'ємі, керування процесом у прямоточних котлах викликає певні складнощі. У більшості випадків цю проблему можна вирішити за рахунок встановлення парового редуктора на виході з котла і керування відбувається за температурою, або за тиском пари, де рівень води

підтримується по рівномірам, встановленим у компенсаційному баку. Але установка редуктора не вирішує усіх технологічних процесів і це призводить до здороження устаткування.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Експериментальні досліди проводились на спроектованому паровому котлу з циклонною камерию згоряння, загальною потужністю 500 кг/год пари. Котел включав: камеру згоряння; теплообмінник, у вигляді дворядного щільно намотаного циліндра з труби діаметром 42 мм, загальною площею теплообміну 16 м²; циклон ЦН-11; димосос; шnekову систему подачі палива; систему наддуву повітря і пульт керування котлом. Для більш надійного процесу пароутворення, була прийнята спроба здійснювати керування з використанням проміжного дроселювання частково перегрітої води на вхідній частині теплообмінника. Теплообмінник поділявся на дві частини вхідну і вихідну. На виході вхідної частини теплообмінника установлювалася дросельна шайба з розрахунку максимальної витрати пари при максимальному тиску у котлу. Секундна масова витрата води визначається відомим рівнянням:

$$\dot{m} = f_c \cdot \mu_s \sqrt{2\rho \cdot \Delta P},$$

де f_c - площа сопла дросельної шайби;

μ_s - коефіцієнт живого перетину, визначається експериментально;

ρ - густина води, $\rho \sim f(T_s)$;

ΔP - перепад тиску на дросельній шайбі.

Враховуючи, що площа сопла і коефіцієнт живого перетину шайби є постійні величини, а густину води, відповідно температури насичення, можна прийняти за сталу величину, тоді для максимальної витрати води при сталому тиску пари у котлу, комплекс

$$f_c \cdot \mu_s \sqrt{2\rho} = C - const.$$

По мірі зменшення витрати пари, система керування знижувала тиск води на вході у теплообмінник і одночасно зменшувалася подача палива та повітря наддуву у камеру згоряння. Перепад тиску на дросельній шайбі зменшувався і відповідно знижувалася витрата пари, а тиск її на виході із котла залишався приблизно постійним. Відповідно витрата води залежала тільки від кореня квадратного перепаду тиску на дросельній шайбі ($\sqrt{\Delta P}$), що спрощувало систему керування. Зворотній зв'язок системи керування відбувався по температурі на виході з котла.

У разі зростання витрати пари, система керування збільшувала тиск на вході у теплообмінник і одночасно зростала подача палива та

повітря наддуву у камеру згоряння. Збільшення перепаду тиску на дросельній шайбі зростало, внаслідок чого підвищувалася витрата пари і наближалася до відповідної температури насичення.

На переходічних режимах, при певних витратах пари, система не встигала підтримувати постійність процесу пароутворення, що призводило до отримання то перегрітої, то вологої пари, у результаті великих теплових інерційних процесів.

Максимально можлива ступінь дроселювання котла обмежувалася критичними параметрами питомого теплового потоку і перепадом тиску на дросельній шайбі для організації надійного процесу пароутворення і забезпечення ефективного охолодження теплообмінника при постійному тиску пари.

РЕЗУЛЬТАТИ

Складність процесу керування полягала у тому, що використовувався відцентровий насос подачі води у теплообмінник, який керувався зміною частоти обертів двигуна частотним перетворювачем. У зв'язку з тим, що напірно-витратна характеристика відцентрових насосів нелінійна, то підтримка автоматичного регулювання значно ускладнювалася. Після застосувався плунжерний насос, який має лінійну характеристику залежності витрати води від частоти обертів двигуна. У даному випадку краще застосовувати мембраний насос, який на відміну від плунжерного, дозволяє подавати воду з частковим забрудненням при лінійній характеристиці. Система керування покращилася, але не досягли бажаного результату.

Розподіл теплообмінника на дві частини, перша частина якого дроселювалася на виході, дала можливість керувати процесом пароутворення в межах незначної зміни витрати пари від номінального режиму. У зв'язку зі складністю процесу у змійовиковому прямотрубному каналі, необхідно підтримувати стабільні режими внутрішніх процесів пароутворення, у плоть до виходу пари з теплообмінника. Складність процесу полягає не тільки у зміні режиму течії робочої речовини, але і у нерівномірності кількості теплоти, підведененої на підігрів води до лінії насичення і переході її у пароподібний стан, що збільшує теплову інерцію теплообмінника. Крім того, на дисперсно-кільцевій дільниці режиму течії, за рахунок відцентрових сил, рідина відтискається на зовнішній діаметр труби, а парова суміш розташовується біля внутрішнього діаметра і тепло з цієї зони передається до рідини на випаровування по перетину і стінці труби за законом Фур'є. Нерівномірність питомого теплового потоку по довжині газового каналу, внаслідок охолодження продуктів згорання, вносить свій вплив

на ці явища. Зміна одного, або декількох характеристик, встановленого режиму течії, веде до порушення фізичної картини пароутворення і зміни процесу теплообміну. Всі ці особливості спонукають процес парогенерації здійснювати в автономно ізольованій системі зі збереженням встановленої картини пароутворення.

Для цього на виході з теплообмінника установлюється автоматична засувка, яка має можливість прикриватися і відкриватися за допомогою електричного двигуна, який живиться від частотного перетворювача. Перед засувкою установлюється датчик тиску P_1 і термометр опору T_1 . На виході з засувки установлюється датчик тиску P_2 . Система працює наступним чином. При первинному запуску котла, встановлений клапан після засувки, відкривається і скидає пару в байпасну магістраль. По мірі досягнення номінального тиску і температури пари на виході з котла, що контролює датчик тиску P_1 і датчик температури T_1 , байпасний клапан закривається, а відкривається клапан на споживання пари. Датчик температури налаштовується таким чином, що його дійсна температура на $2-5^{\circ}\text{C}$ більше від тиску насичення Ps . Це дозволяє трохи збільшувати степінь сухості пари, що гарантовано не дає крапельної конденсації для деяких технологічних процесів.

У разі зміни витрати пари, датчик тиску P_2 реагує зниженням показань, у разі збільшення витрати, що приводить до прикривання засувки і одночасного збільшення витрати води на вход у теплообмінник та підвищення теплового потоку за рахунок збільшення подачі палива і повітря наддуву. Далі система керування порівнює тиски датчиків P_1 та P_2 . Коли тиски вирівнюються, засувка відкривається повністю. При зменшенні витрати пари, тиск датчика P_1 збільшується і надає команду на зменшення подачі води у теплообмінник і теплового потоку, зниженням палива та наддуву повітря. Коли тиск P_1 і P_2 урівнюються процес зміни вхідних параметрів припиняється.

Для здійснення цих процесів найкраще підходять пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори, які в автоматичному режимі здійснюють контроль і налаштування системи зі зменшенням амплітудно-частотної характеристики.

Висновки

Пара з котла отримується при постійному тиску і незначних коливаннях витрати її шляхом дроселювання вхідної частини теплообмінника з перегрітою водою відносно Ps .

Підтримання замкненої системи пароутворення від зовнішніх впливів спрощує систему керування прямоточним паровим котлом при різних режимах витрати пари з відносно стабільним тиском на

виході з теплообмінника.

Використання ПД – регулятора дозволяє значно скоротити час налаштування прямоточного парового котла на режим роботи зі змінними параметрами у часі.

Собівартість такої системи парогенерації на порядок менше у порівнянні з жаротрубними котлами або барабанного типу.

ПОСИЛАННЯ

1. Білогуров, С., & Панченко, А. (2013). Парогенератор (Патент України № 103829). Державна служба інтелектуальної власності України.
https://sis.nipo.gov.ua/media/INVENTIONS/2012/a201204818/published_description.pdf
2. Білогуров, С. О., Панченко, А. А., & Білогуров, О. С. (2008). Дослідження парогенерації в паралельних змійовикових каналах. Вісник Дніпровського університету, 1(12), 18–20.
3. Білогуров, С. О., & Панченко, А. А. (2008). Досвід експлуатації котлів малої потужності. Проблеми високотемпературної техніки, 3-6.
4. Білогуров, С., & Панченко, А. (2018). Парогенератор (Патент України № 119374). Міністерство економічного розвитку і торгівлі України.
https://sis.nipo.gov.ua/media/INVENTIONS/2017/a201704153/published_description.pdf

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ НАДУВАННЯ ПАЛИВНИХ БАКІВ РАКЕТНИХ ДВИГУННИХ УСТАНОВОК

Юрій Мітіков

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4787-603X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Максим Седченко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0027-0939>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Євген Крупкін

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7344-1061>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Дослідження відноситься до галузі ракетно-космічної техніки і може бути використане для передпускового надування (ПН) паливних баків рідинних рушійних установок (РУ) ракет-носіїв (РН). Система ПН призначена для забезпечення потрібного тиску компонентів палива на вході в насоси тільки на етапі запуску РУ за допомогою підняття потрібного тиску газу в баках. Слід зазначити, що проміжок часу, протягом якого необхідно мати зазначеній підвищений тиск газу в баках, вимірюється одиницями секунд. Його можна порівняти з часом виходу двигуна на режим.

На теперішній час найбільше поширення для надування паливних баків сучасних РУ РН на етапах ПН і польотного надування (основного, ОН) знайшов гелій. Достатньо перелічiti РН «Зеніт» (Україна); Antares (США, Україна); Atlas-V, Falcon 9 (США); Electron, Zhuque-2 (Китай) та інші [1]. Гелієві системи надування (СН) мають ряд позитивних сторін, завдяки яким вони застосовуються вже більше п'ятдесяти років. При цьому вони мають велику масу та недостатню надійність [2]. Слід зазначити, що на МБР США та Радянського Союзу гелій на етапах ПН та ПО ніколи не використовувався. Також він не застосовувався і для роботи агрегатів автоматики.

Системи ПН і ОН входять до складу пневмогідравлічних РУ РН. Вони є складними наукомісткими технічними системами і займають важливе місце у складі ракетного комплексу. Наприклад, кінцева маса систем надування може досягати до 7% кінцевої маси ступеня РН [3]. Більш того, після РРД з допалюванням окисного генераторного газу гелієва ПГС є найдорожчою частиною РН [4].

Зараз у світі інтенсивно ведуться роботи із можливістю заміни гелію в системах ОН [5]. Розглядаються парові, рідинні і твердопаливні генераторні системи, системи з так званим самонадуванням, з використанням робочих тіл надування з високою працездатністю. Але наукових праць по знаходженню інших інноваційних способів проведення ПН ніж гелієвих, не відомо. Ситуація виглядає досить дивною – для того щоб ввести в баки на етапі ПН 2-3 кг гелію на борту ракети прокладають кілька десятків кілограмів магістралей з агрегатами автоматики. Ще більше ускладняється космодром та логістика. Тому в перспективі часткова відмова від гелію тільки в системах ОН, не вирішує проблему в цілому, не спрощує старт, не підвищує надійність ракетного комплексу. У ситуації, що склалася, проглядається якась приреченість.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

У 2023 році з'явилася робота [6], в якій обґрунтовано можливість проведення ПН за допомогою введення у вільні об'єми баків теплової енергії (електричної) зі стартової позиції (без акумулятора на борту РН). Метою цих досліджень є спроба розробки алгоритму попереднього розрахунку системи ПН за допомогою введення теплової енергії в вільні об'єми паливних баків.

МЕТОДИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ДОСЛІДЖЕННІ

В дослідженні використовуються методи термодинаміки, закони реального газу і першого закону термодинаміки стосовно до нестаціонарних процесів.

РЕЗУЛЬТАТИ

Показана реальність і цілеспрямованість запропонованого метода проведення ПН шляхом вводу в вільний об'єм бака теплової енергії (електронагрів). Вирішення технічної задачі підняття тиску газу у вільному об'ємі бака до потрібного рівня досягається шляхом підвищення середньомасової температури газу в цьому об'ємі. Наприклад, потрібний тиск газу в баку окиснювача першого ступеня РН "Зеніт" становить $3 \cdot 10^5$ Па. Щоб підняти початковий тиск газу в баку з вихідною $1 \cdot 10^5$ Па треба збільшити його температуру в три рази. При початковій середньомасової температурі газу в баку 95К її треба збільшити до 285K. Це цілком реально та технічно здійснено. Завдання зводиться до визначення реально потрібного теплового потоку до газу

у вільному об'ємі бака з урахуванням теплових втрат у граничні поверхні. В такому разі теплообмін газу в баку описується законами вільної конвекції. Знання потрібного теплового потоку дозволить визначити масу системи ПН (кабелю) задля реалізації поставленого завдання.

Взявшись за основу перший закон термодинаміки з урахуванням рівняння стану ідеального газу, можна отримати у загальному вигляді зміну тиску газу в паливному баку, наприклад, з рідким киснем за формулою:

$$\dot{P} = \frac{\bar{k}-1}{V} \left[\dot{Q}_{\Sigma} + \frac{k}{\bar{k}-1} R \cdot T \cdot \dot{m}_{\text{He}} + \frac{k_s}{k_s-1} R_s \cdot T_s \cdot \dot{m}_s - \frac{\bar{k}}{\bar{k}-1} P \dot{V} + \frac{\dot{k} \cdot p \cdot V}{(\bar{k}-1)^2} \right]. \quad (1)$$

Розглянемо окремо кожну складову цієї формулі:

V – початковий вільний об'єм газу в баку;

R – газова стала газу у початковому вільному об'ємі баку;

$\dot{V} = 0$, т.к. витрата палива з баку на етапі ПН відсутня і сам компонент при тиску ПН можна вважати нестисливим;

\bar{k} – показник адіабати газу у початковому вільному об'ємі баку, незмінний;

\dot{m}_{He} – в нашому випадку секундна витрата гелію до баку дорівнює нулю;

\dot{m}_s – секундний прихід парів кисню в вільний об'єм бака за рахунок випаровування, в силу слабкості можна знехтувати і прийняти рівним нулю;

$\dot{Q}_{\Sigma} = \dot{Q}_{\text{ел}} - (\dot{Q}_{\text{ж}} + \dot{Q}_w)$ – сумарний тепловий потік до газу і від газу в граничні поверхні в баку;

$\dot{Q}_{\text{ел}}$ – тепловий потік газу від підведенної електричної енергії;

$\dot{Q}_{\text{ж}}$ – тепловий потік від газу надування до компоненту палива;

Q_w – тепловий потік від газу надування до стінок баку.

Теплові потоки до стінок баку і вільної поверхні палива в баку до газу надування можна визначати з відомих апробованих залежностей С.Кутателадзе для тепловіддачі при природній конвекції в паливних баках $Nu = f(Gr, Pr)$ [7].

При підводі тепла температура газу в баку за часом зростає згідно із рівнянням стану ідеального газу:

$$T = (P + \dot{P})V / (R\Sigma m\Sigma) \quad (2)$$

де $m\Sigma$ – маса газу в вільному об'ємі баку (приймаємо постійною).

При досягненні тиском газу в баку потрібної величини підведення електроенергії у вільний об'єм баків припиняють. Особливо слід зауважити, що в баках з киплячим киснем перших ступенів РН, наприклад, РН "Зеніт", потрібний тиск газу в баку перші 80% часу польоту знаходиться на рівні тиску насиченої пари кисню, тобто, не нижче

$\sim 1 \cdot 10^5$ Па. У цьому випадку ні яка система ОН не потрібна, а на декількох пусках РН електричне нагрівання газу має виконувати виключно поліцейські функції.

Провівши попередні розрахунки для РН типу «Зеніт» можна констатувати про зменшення маси системи ПН з електронагрівачем приблизно в два рази на відміну від гелієвого ПН зі старту. Для ще більшого покращення вагових характеристик розглянутої системи можна на початку руху РН залишити кабель на стартовій позиції (відстrelити).

НАУКОВА НОВИЗНА

Визначено процеси, що відбуваються у вільних обсягах баків при реалізації нового способу ПН – введення теплового потоку (електронагрів зі стартової позиції). Це вільноконвективні теплові процеси між газом у баку та граничними поверхнями. Запропоновано залежність для оціночних розрахунків розглянутої системи.

Висновки

Показано реальність і в деяких випадках доцільність запропонованого методу проведення ПН шляхом введення у вільний об'єм баку теплової енергії (електронагрів). Вирішення технічної задачі підняття тиску газу у вільному об'ємі бака до потрібного рівня досягається шляхом підвищення середньомасової температури газу в цьому об'ємі. Наприклад, потрібний тиск газу в баку окиснювача першого ступеня РН "Зеніт" становить $3 \cdot 10^5$ Па. Щоб підняти початковий тиск газу в баку з вихідною $1 \cdot 10^5$ Па треба збільшити його температуру в три рази. Це цілком реально та технічно здійснено. Завдання зводиться до визначення реально потрібного теплового потоку до газу у вільному об'ємі бака з урахуванням теплових втрат у граничні поверхні.

Аналіз попередніх розрахунків для РН типу «Зеніт» свідчить про зменшення маси системи ПН з електронагрівачем приблизно в два рази на відміну від гелієвого ПН зі старту. Для ще більшого покращення вагових характеристик розглянутої системи можна на початку руху РН залишити кабель на стартовій позиції (відстrelити).

Особливо слід зазначити, що в баках з киплячим киснем перших ступенів РН, наприклад, РН "Зеніт", потрібний тиск газу в баку перші 80% часу польоту знаходиться на рівні тиску насиченої пари кисню, тобто, не нижче $\sim 1 \cdot 10^5$ Па. У цьому випадку ні яка система ОН не потрібна, а на декількох пусках РН електричне нагрівання газу має виконувати виключно поліцейські функції.

ПОСИЛАННЯ

1. Dreus, A., Yemets, V., Dron, M., Malaychuk, V., & Dubovik, L. (2023). Передумови створення надлегких ракет-носіїв з полімерними корпусами. Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки, 32(1), 25-40. <https://doi.org/10.15421/472303>
2. Мітіков, Ю., & Седченко, М. (2023). Критичний аналіз гелієвих газобалонних систем наддування паливних баків ракетних двигунів. Виклики та проблеми сучасної науки, 1, 117-125. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/23>
3. Беляев, Н. М. (1976). Системы наддува топливных баков ракет. М.: Машиностроение.
4. Дегтярев, А. В., Кушнарев, А. П., Попов, Д. А., Полуян, Н. В., Аксененко, А. В., & Барапов, Е. Ю. (2014). Ракета космического назначения сверхмалого класса. Космическая техника. Ракетное вооружение, (1), 14-20.
5. Мітіков, Ю. А., & Татарінов, К. А. (2017). Аналіз шляхів удосконалення систем наддуву паливних баків двигунних установок ракет-носіїв. Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка, (25, віп. 20), 50-56.
6. Спосіб наддування паливного бака рідинної рушійної установки ракети-носія (Патент України № а202304842). (2023). ДНУ ім. Олеся Гончара.
7. Naoumov, V. I., Krioukov, V. G., Abdullin, A. L., & Demin, A. V. (2019). Chemical kinetics in combustion and reactive flows: modeling tools and applications. Cambridge University Press.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Олександр Пономарьов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1032-5074>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Денис Сухов

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3669-9742>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Постачання електроенергії в мирний час не є чимось складним, але під час повномасштабної війни ця задача ускладняється. Загроза того що частини енергетичної системи будуть пошкоджені в будь-який момент, і як наслідки цього перебої з електроенергією все ще існує.

Державний енергетичний сектор знаходиться в дуже складному становищі внаслідок військової агресії, зазнали пошкоджень та зруйновані сотні інфраструктурних об'єктів Української енергетичної системи.

До того ж цілями Енергетичної стратегії України 2050 [1] є:

- Досягнення максимального рівня кліматичної нейтральності,
- Максимальне скорочення використання вугілля в енергетичному секторі,
- Оновлення та модернізація енергетичної інфраструктури,
- Підвищення ефективності використання ресурсів в енергетичному секторі,
- Всебічна інтеграція з ринками Європейського Союзу та ефективне функціонування внутрішніх ринків,
- Забезпечення енергетичного сектору власними ресурсами з урахуванням економічної доцільноти,
- Розвиток альтернативних джерел енергії, нових продуктів та інноваційних рішень в енергетичному секторі.

Найвищі посадові держави заявляють про необхідність відбудови та реконструкції енергетичної системи за новими принципами, з широким використанням нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

«Актуальними залишаються плани декарбонізації енергетики та «зеленої» трансформації. Війна зробила ці виклики ще більш

нагальними», - сказав прем'єр-міністр України Денис Шмигаль. За його словами, уряд активніше використовуватиме потенціал відновлюваної енергетики: сонячної, вітрової, гідрогенерації, водневих технологій [2].

«Російські атаки штовхають нас до докорінної реформи — побудови децентралізованої енергетичної системи. Тоді вона буде менш уразливою до ворожих нападів. Йдеється про створення міні-електростанцій та малих об'єктів генерації, імплементованих у наявну енергосистему», - прем'єр-міністр України, Д. Шмигаль.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Метою дослідження є створення та дослідження режимів роботи автономної системи енергопостачання яка складається з наступних елементів:

- вітроенергетичної установки;
- зовнішніх накопичувачів енергії;
- системи керування енергетичної установки.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Серед всіх відомих відновлюваних джерел було вирішено обрати для досліджень саме енергію вітру, як невичерпну та екологічну, а також, як вважається, недостатньо досліджену та перспективну з можливістю розвитку та впровадження нових технологій і принципових схем вітрових енергетичних установок (ВЕУ).

Вітрова енергія належить до постійно відновлюваних джерел енергії. Сила вітру залежить від його швидкості і змінюється в дуже широких межах. Використовуючи навіть декілька відсотків енергії вітру, можна задовольнити значну частину енергетичних потреб країни. До переваг вітрової енергії перш за все відноситься доступність, повсюдне поширення і практична невичерпність ресурсів. Основним недоліком при використанні вітру як енергетичного джерела є непостійність його швидкості, а отже, і енергії в часі. Під «вітроенергетикою» у широкому сенсі слова розуміють сукупність знань і технологій щодо перетворення некерованої енергії вітру в керовану енергію на користь людям [3–4].

В дослідженнях застосовуються експериментальні методи з використанням елементів математичного моделювання, а також можливості порівняння з результатами фізичного експерименту надає широкі уявлення про робочі процеси та ефективність запропонованих технічних рішень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою організації подальших досліджень розроблена структурна схема установки, що наведена на Рис.1, яка передбачає побудову вітроенергетичної установки в модульному вигляді з можливістю спостереження за її роботою та контролем робочих параметрів на окремих ділянках. Кожний окремий модуль може бути підключеним, відключеним або заміненим.

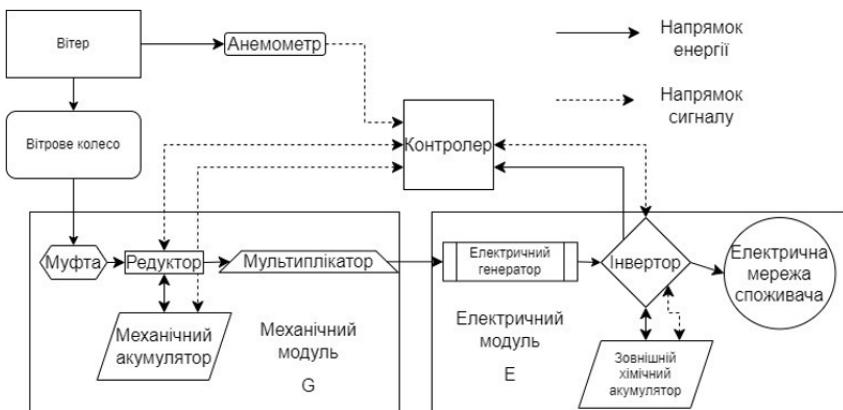


Рисунок 1 – Структурна схема установки

Дана структурна схема дозволяє проведення досліджень різноманітних режимів роботи енергоустановки з можливістю заміни типу віроколеса (ротору), підключенням або відключенням систем акумулювання або генератору.

Результати імітаційного моделювання пропонується перевіряти на адекватність за допомогою створення фізичної моделі експериментальної установки, проведення серії експериментальних робіт. Отримання дослідних даних дозволить підтвердити правомірність чи хибність запропонованої математичної моделі роботи модулів енергетичної системи.

Вибрали джерелом вітер, цілком логічно що роботи будуть присвячені створенню перспективних вітроенергетичних установок. Тому наступні кроки будуть посвячені дослідженню робочих параметрів установки. Після того як було отримано математичний опис джерела енергії переїдемо до такого ж опису вітрового колеса.

В сучасних умовах надскладного стану енергетичної системи України ми бачимо перспективним дослідження різних типів роторів і в

особливості для схожих автономних систем. Тому роботи над конструкціями роторів малої потужності, однією з головних характеристик яких є здатність працювати при якомога менших швидкостях вітру з достатньою ефективністю, будуть продовжуватися.

Окрім досліджень роторних систем впроваджуються експериментальні пошуки перспективних рішень щодо акумулювання енергії, а саме механічні акумулятори, які можуть суттєво знизити собівартість енергоустановки, в порівнянні зі стандартними схемами, які використовують хімічні акумуляторні батареї. Це рішення може дозволити спростити систему керування, що в свою чергу покращить економічні показники енергоустановки.

В подальшій роботі над цією системою окрім вітроенергетичної установки можуть входити інші альтернативні засоби генерації та акумулювання електричної енергії з використанням відновлюваних джерел енергії.

Висновки

8. Проведені теоретичні дослідження та аналіз конструкцій автономних електроенергетичних установок малої потужності з використанням відновлюваних джерел енергії.

9. Визначені первині джерела енергії, які можуть бути використані в автономних електроенергетичних установках, та опрацьовані їх енергетичні властивості.

10. Обрано найбільш перспективні засоби для створення експериментальних дослідницьких енергетичних установок.

11. Експериментальні дослідження режимів роботи електроенергетичних установок малої потужності.

12. Запропоновано перспективну схему вітроенергетичної установки з застосуванням акумуляторів механічної енергії.

Посилання

1. *Енергетична стратегія*. (б. д.). Міністерство енергетики України. <https://mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya>.
2. Новини НЕК «Укренерго». (б. д.). Національна енергетична компанія «Укренерго». <https://ua.energy/>.
3. Кудря, С., Мхітарян, Н., & Резцов, В. (2020). *Відновлювані джерела енергії: монографія*. ТОВ «НВТ «Інтерсервіс».
4. Титко, Р., & Калініченко, В. (2010). *Відновлювальні джерела енергії*. Полтавська державна аграрна академія.

ДИФЕРЕНЦІЙНА МОДЕЛЬ ТРАКТУ ОХОЛОДЖЕННЯ КАМЕРИ РРД

Валерій Бучарський

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8245-5652>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Володимир Слюсарєв

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2883-7467>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Сьогодні, коли кількість стартапів в ракетно-космічній галузі збільшується з року в рік, особливо важливо мати верифіковані розрахункові методики регенеративного охолодження. Беручи до уваги, що теорія теплопередачі в камерах рідинних ракетних двигунів (РРД) активно не розвивалась з 70-х років минулого століття, зараз існує необхідність в нових моделях систем охолодження, які продовжуючи дослідження попередників, зможуть розкрити потенціал сучасних обчислювальних технологій та врахувати особливості нових методів виробництва ракетно-космічної техніки.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Метою даної роботи є отримання результатів розрахунку проведеного за допомогою нової диференційної моделі тракту охолодження камери РРД.

Далі потрібно підтвердити коректність розробленої моделі. Для цього необхідно провести аналіз отриманих результатів на предмет їх відповідності уявленням про процеси в охолоджуючих трактах камер двигунів.

РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

В роботі розглянута диференційна модель, що була розроблена з застосуванням підходу, реалізованого в роботі [1]. Дано моделі представляє собою систему звичайних диференційних рівнянь, зведеніх до безрозмірної форми, що описують течію нестисливої рідини в тракті охолодження камери РРД. Система складається з:

- рівняння збереження маси:

$$\frac{\partial(\rho f u)}{\partial x} = 0;$$

– рівняння збереження імпульсу:

$$\frac{\partial(f(p + \rho u^2))}{\partial x} = p \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\lambda}{8} \rho u^2 \sqrt{\Pi(x)^2 - \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2};$$

– рівняння збереження енергії:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(f u (p + \rho c T + \frac{\rho u^2}{2}))}{\partial x} + (p u) \frac{\partial f}{\partial x} \\ = \frac{\lambda}{8} \rho u^3 \sqrt{\Pi(x)^2 - \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2} + \alpha (T_w - T) \Pi(x), \end{aligned}$$

де ρ – густина охолоджувача;

u – швидкість охолоджувача;

p – тиск охолоджувача;

T – температура охолоджувача;

f – площа поперечного перерізу каналу;

$\Pi(x)$ – периметр каналу;

c – теплоємність охолоджувача;

α – коефіцієнт тепловіддачі;

T_w – температура стінки;

λ – емпіричний коефіцієнт втрат на тертя.

Будемо розглядати рух охолоджувача в каналі з круглою формою прохідного перерізу і діаметром, що лінійно змінюється. Схема та геометричні параметри каналу наведені на рисунку 1.

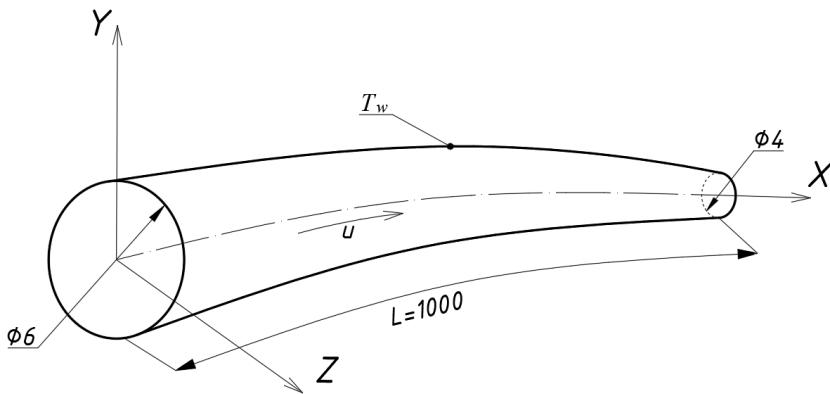


Рисунок 1 – Модель каналу змінної площині

Для отримання рішення диференційна модель замикалася граничними умовами, чисельні значення яких були прийняті у

відповідності до типових умов роботи трактів охолодження камер РРД:

$$\begin{aligned} p(0) &= 120 \text{ [бар]}; \\ T(0) &= 300 \text{ [К]}; \\ u(0) &= 18.0 \text{ [м/с]}. \end{aligned}$$

Інші величини параметрів, що необхідні для проведення розрахунку були прийняті постійними і наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Константи, прийняті в розрахунку

Параметр	Позначення	Величина
Теплоємність охолоджувача, Дж/кг/К	c	1000
Коефіцієнт втрат на тертя	λ	1/40
Температура стінки, К	T_w	600
Коефіцієнт тепловіддачі, кВт/м/К	α	100

Для отримання чисельного рішення рівнянь диференційної моделі використовувалась функція NDSolve пакету символичної алгебри Wolfram Mathematica. Результати розрахунку представлені на рисунках 2 – 3.

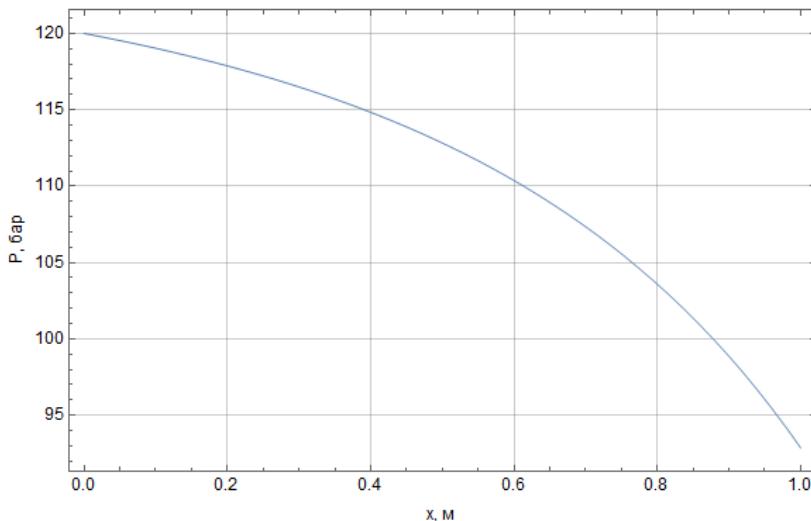


Рисунок 2 – Тиск охолоджувача в каналі

Зміна тиску по довжині каналу, що наведена на рисунку 2 пов’язана з одного боку з безповоротними втратами тиску на тертя, з іншого – обумовлена збільшенням швидкості охолоджувача [2].

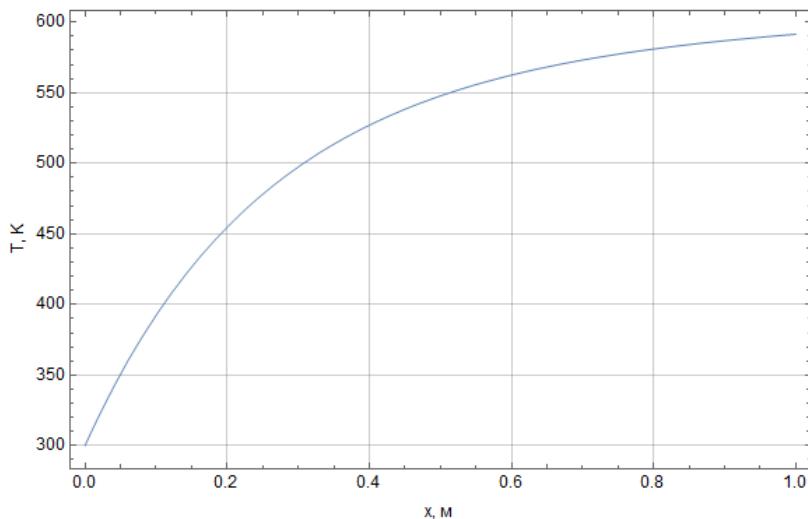


Рисунок 3 – Температура охолоджувача в каналі

На рисунку 3 продемонстровано, що температура охолоджувача в тракті, як і належить [3], змінюється за експонентним законом і прагне до максимально можливого значення – температури стінки каналу.

Висновки

За результатами аналізу можна стверджувати, що отримані за допомогою нової диференційної моделі результати розрахунків не суперечать уявленням про процеси в трактах охолодження камер РРД, що підтверджує коректність розробленої моделі.

Посилання

1. Бучарський, В., Алексєєнко, В., & Чернявський, О. (2023). Методика оптимізації експлуатаційних витрат системи опалення автономних споруд. *Вісник Дніпровського університету імені Олеся Гончара. Серія: Ракетно-космічна техніка*, 30 (4), 125-136. <https://doi.org/10.15421/452216>.
2. Идельчик, И. (1993). Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Высш. шк.
3. Михеев, М., Михеева, И. (1977). Основы теплопередачи. Энергия.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ НАДДУВАННЯ ПАЛИВНИХ БАКІВ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛООБМІНУ

Віталій Алексєєнко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8317-0096>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Валерій Бучарський

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8245-5652>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Система наддування паливних баків (СНПБ) – одна з основних підсистем ракето-носія. Її призначення полягає в підтримці заданої величини тиску в паливних баках, а особливості визначаються схемою рушійної установки. При використанні витискувальної системи подачі компонентів палива необхідно з максимальну точністю підтримувати задане значення тиску, адже його зміна призведе до відхилення витрат компонентів палива та масового співвідношення компонентів від номінального значення. У випадку застосування турбонасосної системи подачі існує необхідність підтримувати тиск у певному діапазоні, який визначається з одного боку мінімальним тиском по кавітаційному запасу насоса, а з іншого максимальним тиском, допустимим по запасу міцності конструкції баку [1].

Підтримка необхідної величини тиску досягається шляхом заповнення, звільненого від компоненту палива, об'єму бака робочим тілом, в якості якого в різних двигунах виступають інертні гази (такі як гелій [2] або азот [3]), газифіковані компоненти палива [4], продукти газогенерації твердопаливного заряду [5], тощо.

В даній роботі буде розглянуто СНПБ для двигуна виконаного за турбонасосною системою подачі палива. Структурно така СНПБ складається з балону газу високого тиску, баку компонента, та магістралі, що їх поєднує. Ця магістраль може містити в собі газовий редуктор, що підтримує тиск на виході з нього постійним або клапан чи жиклер з постійною площею прохідного перерізу (див. рис. 1).

Для успішної розробки СНПБ необхідно на етапі проектування мати коректні методики розрахунку, що дозволяють визначити зміну термодинамічних параметрів системи у часі, а також отримати залежність витрати компонента палива від часу роботи СНПБ. Для цього в даній роботі розроблена відповідна математична модель.

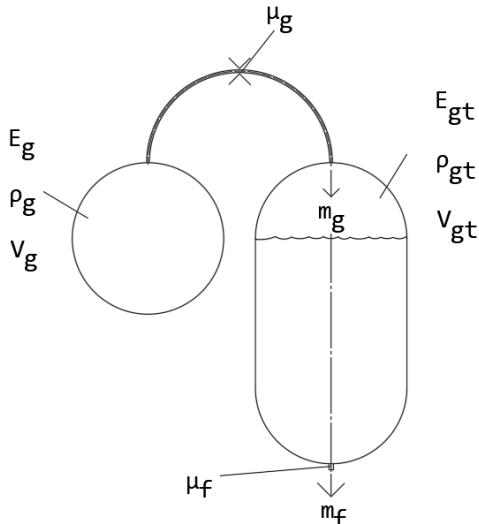


Рисунок 1 – Принципова схема СНПБ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою даної роботи є розробка математичної моделі процесів в СНПБ у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь. Для цього, на основі аналізу фізичних процесів, що відбуваються в роботі такої системи, необхідно застосувати відомі рівняння механіки суцільних середовищ до об'єкту, що розглядається. Зважаючи на те, що більшість реальних СНПБ двигунів за турбонасосною схемою мають в своєму складі газовий редуктор, в роботі площа прохідного перерізу отвору подачі газу наддуву має бути представлена як змінна від часу. Крім того, в запропонованій моделі необхідно враховувати теплообмін балону газу високого тиску та баку компонента з оточуючим середовищем. Також, для підтвердження коректності роботи запропонованої моделі необхідно провести тестові розрахунки за допомогою моделі і представити аналіз їх результатів, а саме порівняння роботи системи з постійною площею перерізу отвору та змінною у часі.

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БАЛОНУ ВИСОКОГО ТИСКУ

Базуючись на законах збереження маси та енергії запишемо систему диференціальних рівнянь. Перше з них – це рівняння зміни

повної енергії газу, другий член у якому виражає частку енергії, яка надбуває у балон за рахунок теплообміну – E_{heat} . Модель теплообміну опирається на закон Ньютона-Ріхмана [6] та виражає лінійну залежність кількості енергії від перепаду температури та коефіцієнту пропорційності k_{heat} . Наступне диференціальне рівняння – рівняння зміни густини газу за часом. Доповнюючи початковими умовами отримаємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho_g E_g V_g)}{dt} &= -\dot{m}_g i_g + E_{heat} \\ E_{heat} &= k_{heat} \left(\frac{(k_{ambient}-1) E_{ambient}}{R_{ambient}} - \frac{(k_g-1) E_g}{R_g} \right) S_{vessel} \\ \frac{d(\rho_g V_g)}{dt} &= -\dot{m}_g \\ \rho_g[0] &= \rho_{g0} \\ E_g[0] &= E_{g0} \end{aligned} \quad (1)$$

Газову магістраль з опорними елементами розглядаємо як еквівалентну магістраль з загальним коефіцієнтом витрати – μ_g . Площа прохідного перерізу отвору приймаємо як залежність від часу – F_g . Враховуючи критичний виток газу з отвору магістралі використаємо вираз, приведений у [7]:

$$\dot{m}_g = \mu_g F_g A(k) q(\lambda) \rho_g \sqrt{(k_g - 1) E_g} \quad (2)$$

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПАЛИВНОГО БАКУ

Математична модель паливного баку має аналогічні принципи побудови. В основі лежать диференціальні рівняння енергії та густини газу, але, враховуючи витрату компоненту, додаються рівняння зміни газового об'єму та об'єму компоненту. Рідинна магістраль має свій коефіцієнт витрати – μ_f . Тоді можемо записати систему у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho_{gt} E_{gt} V_{gt})}{dt} &= -\dot{m}_g i_g + E_{heat} \\ E_{heat} &= k_t \left(\frac{(k_{ambient}-1) E_{ambient}}{R_{ambient}} - \frac{(k_g-1) E_g}{R_g} \right) S_{tank} \\ \frac{d(\rho_{gt} V_{gt})}{dt} &= \dot{m}_g \\ \frac{dV_g}{dt} &= -\frac{dV_f}{dt} \\ \frac{dV_f}{dt} &= -\frac{\dot{m}_f}{\rho_f} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\rho_{gt}[0] = \rho_{gt0}$$

$$E_{gt}[0] = E_{gt0}$$

$$V_{gt}[0] = V_{gt0}$$

$$V_f[0] = V_{f0}$$

Витрата компоненту розраховується за аналітичним виразом представленим у [8]. У виразі площа отвору витоку (F_f) – величина постійна.

$$\dot{m}_f = \mu_f F_f \sqrt{2 \rho_f \Delta p} \quad (4)$$

$$\Delta p = (k_{gt} - 1) \rho_{gt} E_{gt} - (k_{ambient} - 1) \rho_{ambient} E_{ambient}$$

РЕЗУЛЬТАТИ

Було проведено моделювання процесу роботи модельної системи наддування, щоб проаналізувати ефективність різних підходів до регулювання масової витрати компонента палива під час спорожнення бака. Метою цього моделювання було визначити, як зміни в конструкції газової магістралі можуть вплинути на стабільність подачі палива і, відповідно, на ефективність роботи всієї системи.

В процесі моделювання було встановлено, що при використанні постійного значення площині поперечного перерізу газової магістралі спостерігається відхилення масової витрати компонента палива. Це відхилення, яке виникає під час спорожнення бака, становить 4% від номінального значення. Такий рівень відхилення може негативно вплинути на стабільність роботи двигуна, оскільки коливання масової витрати можуть привести до нерівномірного згоряння палива і, відповідно, до зниження ефективності та надійності системи.

Для вирішення цієї проблеми було запропоновано використання лінійного закону зміни площині поперечного перерізу газової магістралі. Зокрема, відхилення було знижено до 1%, що є значно меншим показником у порівнянні з початковим варіантом та свідчить про більш рівномірну подачу палива, що позитивно впливає на роботу двигуна.

Висновки

Загалом отримані результати свідчать про те, що запропонована методика розрахунку параметрів у баку є коректною та може успішно використовуватись при подальшому проектуванні ракет. Ця методика включає в себе детальний аналіз процесів, що відбуваються в системі наддування, зокрема, врахування динамічних змін у площині поперечного перерізу газової магістралі.

Аналіз результатів моделювання показав, що використання лінійного закону зміни площини поперечного перерізу дозволяє значно зменшити відхилення масової витрати компонента палива. Це є важливим фактором для забезпечення стабільної роботи ракетного двигуна, адже рівномірна подача палива критично впливає на ефективність згоряння та надійність всієї системи. Зменшення відхилення до 1% порівняно з 4% у випадку постійної площини поперечного перерізу є значним покращенням, яке демонструє переваги запропонованої методики.

Отже, отримані результати демонструють, що запропонована методика є не тільки теоретично обґрунтованою, але і практично ефективною. Вона може бути успішно застосована для подальшого проектування та вдосконалення ракетних систем, забезпечуючи їх стабільність, ефективність і надійність.

ПОСИЛАННЯ

1. Беляев, Н. (1976). Системы наддува топливных баков ракет. Машиностроение.
2. Saturn V Flight Manual. (1969, 15 серпня).
<https://www.nasa.gov>. https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/afj/ap12fj/pdf/a12_sa507-flightmanual.pdf
3. Atlas V Launch Services User's Guide. (2013, червень).
<https://www.ulalaunch.com>. <https://www.ulalaunch.com/docs/default-source/rockets/atlasvusersguide2010.pdf>
4. Delta IV Launch Services User's Guide. (2013, червень).
<https://www.ulalaunch.com>. <https://www.ulalaunch.com/docs/default-source/rockets/delta-iv-user's-guide.pdf>
5. Gemini launch vehicle. (1964, січень).
<https://ntrs.nasa.gov>. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19720063749/downloads/19720063749.pdf>
6. Исащенко, В., Осипова, В., & Сукомел, А. (1965). Теплопередача (6-те вид.). Энергия.
7. Абрамович, Г (1991). Прикладная газовая динамика. Наука
8. Идельчик, И. (1992). Справочник по гидравлическим сопротивлениям (3-е издание). Машиностроение.

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ, ЩО МАЮТЬ БУТИ ВРАХОВАНІ ПРИ РОЗРАХУНКУ СУМАРНОГО ЗАПАСУ РОБОЧОЇ РЕЧОВИНІ ЕЛЕКТРОРАКЕТНОЇ ДВИГУННОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ХОЛЛОВСЬКОГО ДВИГУНА

Сергій Асмоловський

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5423-9365>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Сергій Бондаренко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2478-0290>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Сумарний імпульс тяги є однією з головних вимог, які пред'являються до двигунної установки. Здатність двигунної установки реалізувати необхідний сумарний імпульс тяги залежить від питомого імпульсу двигуна та запасу робочої речовини

$$I_{\Sigma} = I_{sp} \cdot M_{\text{роб}} = I_{sp} \cdot (M_{\Sigma} - M_{\text{нероб}}) \quad (1)$$

де I_{Σ} – сумарний імпульс тяги (Н·с);

I_{sp} – питомий імпульс (м/с);

$M_{\text{роб}}$ – робочий запас робочої речовини (кг);

M_{Σ} – сумарний запас робочої речовини (кг);

$M_{\text{нероб}}$ – неробочий запас робочої речовини (кг).

На відміну від питомого імпульсу, значення якого повинно відповідати заданим вимогам і підтверджується результатами випробувань двигуна, маса робочої речовини є розрахунковим значенням.

Сумарний запас робочої речовини умовно можна розділити на дві складові: робочий запас та неробочий запас робочої речовини. Робочий запас використовується безпосередньо для забезпечення необхідного сумарного імпульсу тяги, а неробочий запас має компенсувати залишки робочої речовини, які не витискаються з порожнин двигунної установки, та інші можливі втрати робочої речовини протягом усього часу існування космічного апарату.

Тому точність розрахунку необхідного запасу робочої речовини безпосередньо впливає на всю місію космічного апарату. Якщо робочої речовини буде взято менше, ніж потрібно, то її запасу не вистачить для реалізації сумарного імпульсу тяги, необхідного для місії. Якщо ж робочої речовини буде взято більше, ніж потрібно, то це приведе до збільшення розмірів та маси двигунної установки, а отже, до здорожчання місії.

Аналізуючи літературу, можна знайти такі методики для визначення необхідного запасу робочої речовини двигунної установки:

- визначення запасу робочої речовини із формули Ціолковського [4; 5; 6; 7];
- визначення запасу робочої речовини через сумарний імпульс тяги та питомий імпульс [4];
- визначення запасу робочої речовини через секундну масову витрату та сумарний час роботи двигуна [2];
- визначення запасу робочої речовини з урахуванням деякого коефіцієнта запасу [4; 7; 8];
- визначення запасу робочої речовини з урахуванням залишків робочої речовини в балоні [3; 7];
- визначення запасу робочої речовини з урахуванням негерметичності елементів двигунної установки [3; 7].

Перелічені методики є досить загальними. Перші три з них призначенні для визначення лише робочого запасу робочої речовини і не враховують необхідний неробочий запас робочої речовини. Останні три методики пропонують враховувати додаткові складові, такі як залишки робочої речовини та втрати на негерметичність. Поєднавши всі ці методики в одну, отримаємо наступну формулу для визначення сумарного запасу робочої речовини:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{роб}} + M_{\text{зал}} + M_{\text{Нер}} \quad (2)$$

де M_{Σ} – сумарний запас робочої речовини (кг);

$M_{\text{роб}}$ – робочий запас робочої речовини (кг);

$M_{\text{зал}}$ – запас робочої речовини для компенсації залишків, що не витискаються із порожнин двигунної установки (кг);

$M_{\text{Нер}}$ – запас робочої речовини для компенсації втрат на негерметичності (кг).

Проте отримана формула (2) не охоплює всі експлуатаційні фактори електроракетної двигунної установки на основі холловського двигуна, що пов'язано з деякими особливостями її експлуатації, які відрізняють її від інших типів двигунних установок. Відповідно, використання цих методик при визначенні запасу робочої речовини для електроракетної двигунної установки на основі холловського двигуна може привести до того, що двигунна установка не зможе забезпечити необхідний для місії сумарний імпульс тяги.

Тому необхідно доопрацювати методику визначення сумарного запасу робочої речовини, яка буде враховувати всі експлуатаційні фактори, що можуть впливати на втрати робочої речовини протягом усього часу існування космічного апарату.

За результатами аналізу життєвого циклу електроракетної двигунної установки на основі холловського двигуна при визначенні

сумарного запасу робочої речовини пропонується враховувати наступні складові:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{Роб}} + M_{\text{Зал}} + M_{\text{Нег}} + M_{\text{Під}} + M_{\text{Вкл}} + M_{\text{Зап}} \quad (3)$$

де M_{Σ} – сумарний запас робочої речовини (кг);

$M_{\text{Роб}}$ – робочий запас робочої речовини (кг);

$M_{\text{Зал}}$ – запас робочої речовини для компенсації залишків, що не витискаються із порожнин двигунної установки (кг);

$M_{\text{Нег}}$ – запас робочої речовини для компенсації втрат на негерметичності (кг);

$M_{\text{Під}}$ – запас робочої речовини для компенсації втрат при підготовці двигунної установки до першого включення (кг);

$M_{\text{Вкл}}$ – запас робочої речовини для компенсації втрат при включені і після вимкнення двигуна (кг);

$M_{\text{Зап}}$ – запас робочої речовини для компенсації похибки заправки двигунної установки (кг).

Робочий запас робочої речовини $M_{\text{Роб}}$ має враховувати зміну питомого імпульсу двигуна протягом його експлуатації.

При визначенні залишків робочої речовини $M_{\text{Зал}}$, які не витискаються із порожнин двигунної установки, пропонується враховувати всі внутрішні магістралі двигунної установки, а не тільки об'єм балону.

При визначенні запасу робочої речовини для компенсації втрат на негерметичність $M_{\text{Нег}}$ необхідно враховувати як внутрішню, так і зовнішню негерметичність елементів двигунної установки. При цьому пропонується враховувати втрати через зовнішню негерметичність як під час наземних операцій, так і під час роботи двигунної установки на орбіті.

Запас робочої речовини для компенсації втрат при підготовці двигунної установки до першого включення $M_{\text{Під}}$ має враховувати всі можливі втрати робочої речовини під час таких операцій, як активація катодів, перевірка витрат та інші процедури, що виконуються до першого включення двигуна.

У масі робочої речовини, необхідній для компенсації втрат під час кожного включення і вимкнення двигуна $M_{\text{Вкл}}$, пропонується враховувати втрати робочої речовини через катод-компенсатор та анодний блок згідно з їх циклограммою запуску, а також втрати робочої речовини після вимкнення двигуна.

Запас робочої речовини для компенсації похибки заправки двигунної установки $M_{\text{Зап}}$ має враховувати можливу похибку заправки робочої речовини. Похибка заправки може бути визначена з характеристик обладнання для заправки двигунної установки або через

врахування похибок вимірювання тиску і температури датчиками, що розташовані у балоні. Ці показники будуть використовуватися для визначення кількості заправленої робочої речовини.

Запропонована методика для визначення сумарного запасу робочої речовини електроракетної двигунної установки на основі холловського двигуна спрямована на покращення точності визначення необхідного запасу робочої речовини, а також обґрунтованого зменшення їх кількості.

У подальших дослідженнях будуть надані рекомендації щодо визначення кожної складової запропонованої методики та аналізу впливу цих рекомендацій на результати визначення сумарного запасу робочої речовини порівняно з загальною методикою визначення запасу робочої речовини.

ПОСИЛАННЯ

1. Асмоловський, С. Ю., & Бондаренко, С. Г. (2024). Вдосконалення методики визначення маси запасу робочої речовини електроракетної двигунної установки на основі холловського двигуна з урахуванням експлуатаційних факторів. У *XXVI Міжнародна молодіжна науково-практична конференція "Людина і космос"* (с. 57–58). <https://doi.org/10.62717/2221-4550-2024-1-024>
2. Белан, Н. В., Ким, В. П., Оранский, А. И., & Тихонов, В. Б. (1989). *Стационарные плазменные двигатели*.
3. Беляев, Н. М., & Уваров, Е. И. (1974). *Расчет и проектирование ракетных систем управления космических летательных аппаратов*.
4. Fortescue, P., Swinerd, G., & Stark, J. (2011). *Spacecraft systems engineering* (4-те вид.).
5. Goebel, D. M., & Katz, I. (2008). *Fundamentals of electric propulsion*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470436448>
6. Mazouffre, S. (2016). Electric propulsion for satellites and spacecraft: established technologies and novel approaches. *Plasma Sources Science and Technology*, 25(3), 033002. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/25/3/033002>
7. Micci, M., & Ketsdever, A. (2000). *Micropropulsion for Small Spacecraft*. <https://doi.org/10.2514/4.866586>
8. Wertz, J. R., Everett, D. F., & Puschell, J. J. (2011). *Space Mission Engineering: The New SMAD*.

THE PROBLEM OF COMBUSTION INSTABILITY IN LIQUID ROCKET ENGINES

Samir Vekilov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5736-6300>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Volodymyr Lipovskyi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-7973>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Roman Pustovyti

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6066-9788>

Dnipro Aerospace LLC, Ukraine

INTRODUCTION

The issue of combustion instability was first discovered in the 1930s for solid and liquid rocket engines. However, the solution of the problem did not see significant development until the late 1940s, when the phenomenon of instability became more complex during the development of large intercontinental ballistic carriers, necessitating a deeper systematic approach to studying this phenomenon. One of the first widely known cases of studying combustion instability was the F-1 engine by Rocketdyne. In the 1960s, during its development, engineers spent around 7 years searching not only for methods to prevent this phenomenon but also for the reasons behind its occurrence [1, 9, 11].

Despite the significant amount of work conducted by engineers in the past to identify the main causes and characteristics of instability, there is still no clear correlation between design features and the occurrence of such phenomena in modern rocket engines. The extreme operating conditions of materials and structural elements determine the uniqueness of each design, as well as the set of factors that directly affect the stability of the combustion process. This paper partially reviews historically known cases of combustion instability and examines the main classification of known types of instability that occur in rocket engines.

The results of the development of the new low-thrust engine, manufactured with additive technologies are described in this paper as well as the problem of low-frequency instability that occurred during fire testing. The results of the work carried out could be further developed by considering the issue of combustion instability in modern rocket engines.

OBJECTIVE AND TASKS

The aim of this work is to assess the state of the issue of combustion instability in liquid rocket engines with a view to further development in the context of modern designs. To achieve this, it is necessary to:

- Conduct a literature review on historical cases of combustion instability in rocket engines;
- Examine the existing classification of types of instability and possible methods for preventing them.

To explore the features of combustion instability in liquid rocket engines, an analysis of the existing literature on the subject and a description of its occurrence in well-known designs have been conducted.

BRIEF OVERVIEW OF COMBUSTION INSTABILITY IN THE KNOWN ENGINES

When considering the problem of combustion instability, it is impossible to isolate factors that pertain to only one type of engine. This phenomenon occurs in both solid rocket engines and liquid rocket engines. To better understand the scope and duration of the development of methods for preventing this issue and theoretical structuring, Figure 1 presents a chronology of the emergence of the combustion instability problem.

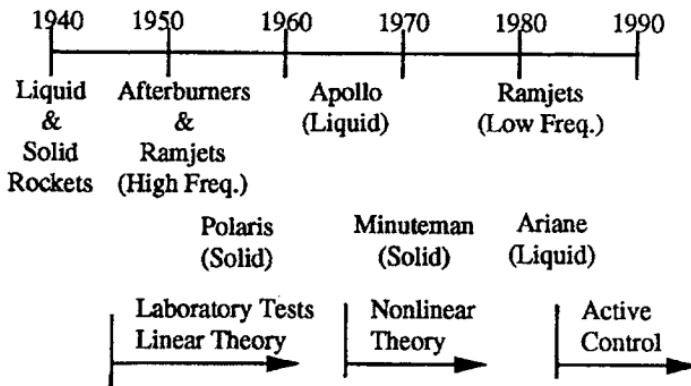


Figure 1 – The chronology of the emergence of the combustion instability phenomenon and the development of the corresponding theory [1]

A list of engines with known cases of combustion instability, as well as the work conducted to identify the causes and design methods to combat this phenomenon, is provided. The list of engines is presented in Table 1.

Table 1 – List of engines with known occurrences of combustion instability

Engine model	Propellants	Thrust, kN	Designation
F-1 [1]	LOX + RP-1	7740.5	First stage rocket engine of the Saturn V rocket
RD-0110 [7]	LOX + Kerosene	298	Third stage of the Soyuz carrier rocket
H-1 [3]	LOX + RP-1	900	The main engines of the first stages of the Saturn-1 and Saturn-1B carrier rockets
RD-216 (8Д514) [2]	N ₂ O ₄ + UDMH	1728	The main engine of the R-14 rocket. Later, the main engine of the first stage of the Kosmos-3M launch vehicle
RD-217 (8Д515) [2]	N ₂ O ₄ + UDMH	865	The main engine of the first stage of the R-16 rocket
TR-201 [1, 8]	N ₂ O ₄ + Aerozine 50	41.9	The upper stage engine of the Delta launch vehicle (known as Delta-P)
Lunar module descent engine (VTR-10) [1]	N ₂ O ₄ + Aerozine 50	47	The engine developed for manned carrier operation and lunar surface landing
XLR-132 [4]	N ₂ O ₄ + MMH	16.7	The engine developed for the upper stage booster blocks, lunar, and Martian mission spacecraft
AJ10-137 [11]	N ₂ O ₄ + Aerozine 50	91	It was used for launching into lunar orbit and descent from it during the lunar program
Lunar Module Ascent Engine [8]	N ₂ O ₄ + Aerozine 50	16	For ascending from the surface of the Moon during the lunar program.
Space Shuttle Primary RCS Thruster [1]	N ₂ O ₄ + MMH	4	For controlling thrust vector during liftoff, maneuvers, and descent to Earth
AJ10-190 [11]	N ₂ O ₄ + MMH	26.7	For operation in orbit and ascent from it
YF-20 [6, 8]	N ₂ O ₄ + UDMH	750.2	The main engine of the first stage of the Long March 2-4 vehicle
YF-1 [5, 8]	N ₂ O ₄ + UDMH	303.6	The main engine of the first stage of the Long March 1 vehicle

As can be seen from Table 1, the combustion instability problem is quite widespread and encountered in the development of engines with different characteristics and fuel components. Let's consider some features related to the operation of the listed engines.

F-1 Engine [1]. During the development of this engine, strict requirements were imposed, mainly related to the mission of sending humans into space. However, combustion instability issues, extensively described in NASA technical reports, mostly allow identifying the following main reasons for initiating combustion instability:

- The influence of film cooling, which creates conditions for pulsations by separating part of the flow from the wall boundary layer and creating conditions for detonation-like combustion.
- Atomization of fuel components in the critical mode of components, ultimately resulting in high velocities of burning and causing pressure oscillations.

These problems were addressed by optimizing the film cooling thickness and by varying the mixing head configurations. The primary method of addressing combustion instability was dividing the combustion zone into individual sectors using special baffles, ultimately leading to stabilization of the combustion process (see Figure 2).

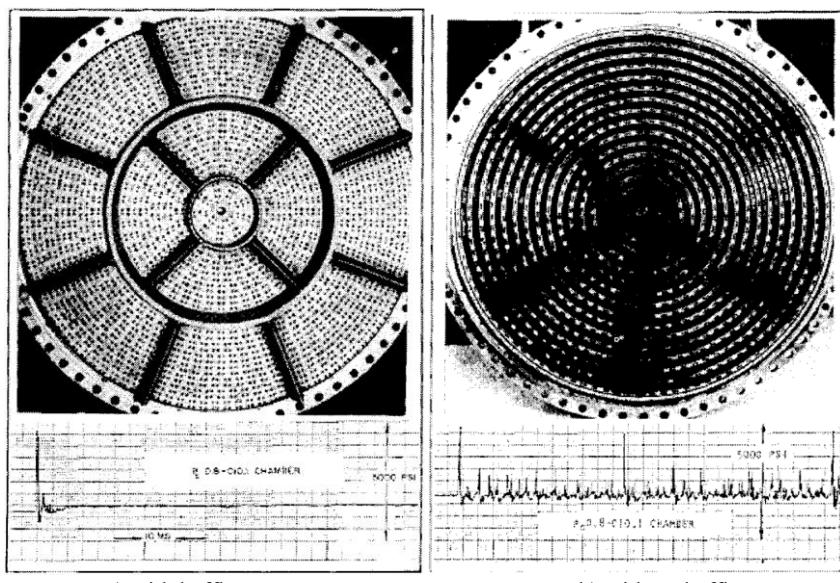


Figure 2 - Mixing head of the F-1 engine chamber and pressure oscillogram in the chamber [1]

RD-0110 Engine Chamber [7]. During the development stage of the engine chamber, a significant number of mixing head layout schemes were considered to ensure high combustion stability. During the research process, theories regarding "enlarging" of the combustion zone to increase the release length of combustion kinetic energy were tested, which, when shortened, led to pulsations. This method is feasible when using jet injectors as part of the mixing head. The applied methods resulted in several combinations of injectors configurations in the engine chamber mixing head. However, increasing the length of the "combustion zone" did not yield the desired result, and the obtained results formed the basis for finding such a variant of the layout of the engine chamber mixing head that would provide reliable stability of the combustion process across the entire operating range. Eventually, such a variant was found and implemented in the engine chamber design.

However, in rare cases during fire tests at the customer's facilities, instability of the combustion process was observed in one out of 60–80 cases, leading to significant damage to the engine chamber and part of the test equipment. Analyzed data from such tests revealed that, for reasons that cannot be objectively justified, the occurrence of instability could be explained by the individual interaction of the test equipment with the engine chamber design. Although no stability issues arose in the flight configuration, design measures were taken to ensure stability of the working process for manufactured structures. Regarding unpredicted possibility of the emergence of the combustion instability the search for means for studying the phenomenon was needed. Thus, engineers came up with a set of equipment which ensures initialization of combustion instability process, is able to sense it and stop it before the oscillations were able to damage not only a specimen of combustion chamber, but also test stand equipment. After extensive research was carried out, the solution to the problem of combustion instability in RD-0110 engine was found. Sets of acoustic fins were manufactured to ensure stable operation without the occurrence of combustion instability. The fins were made of felt, so after the engine was launched, they burned out and had no further impact on the chamber's steady-state operation. The proposed design solution was successfully implemented in the already produced RD-0110 engines.

Lunar Module Descent Engine (LMDE) [8]. The engine was subjected to strict requirements due to the necessity of fulfilling the mission - landing two astronauts on the surface of the moon. Naturally, the occurrence of combustion instability was totally unacceptable for the LMDE engine. To accomplish the mission, the engine needed to have the capability of deep throttling, which ultimately led to the use of a special pintle injector system (see Figure 3).

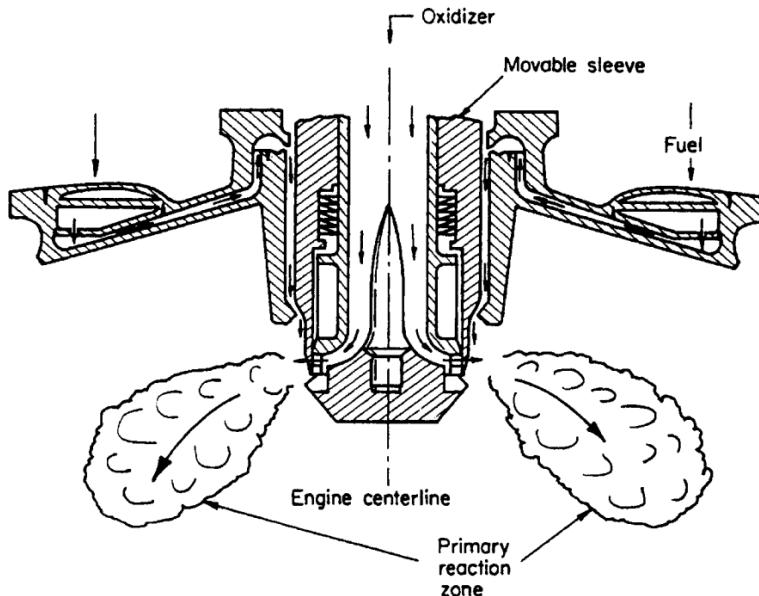


Figure 3 - Injector of the Lunar Module Descent Engine (LMDE) [1]

During the testing of the engine chamber and artificial initiation of instability, the development of the process did not occur, confirming the success of the chosen design solutions. One explanation for this effect likely involves the relative distribution of acoustic pressure and combustion energy release. Fuel components are distributed along the annular region between the chamber wall and the injector, which has a positive effect on the stability of the process. However, during further extensive testing programs, data were obtained indicating the occurrence of transient pressure pulsations during rapid throttling or operation of the chamber at maximum thrust with excess fuel. Overall, the developed engine chamber design is considered successful, fully ensuring process stability under the specified operating conditions.

Thus, it is evident that the problem of combustion instability arises in various designs of liquid rocket engines during their development and typically requires a significant amount of work to identify the cause of the problem and ways to overcome it.

When working with liquid rocket engines, it is important to understand the classification of types of combustion instability for effective implementation of means to overcome the occurrence of this phenomenon in the designs of rocket engines under development. Let's consider the proposed classification.

CLASSIFICATION OF COMBUSTION INSTABILITY TYPES IN LIQUID ROCKET ENGINES

Usually, the following types of combustion instability are distinguished as follows [1, 9–12]:

- *Low-frequency* oscillations, which are the simplest examples of combustion instability, where pressure oscillation amplitudes at all points within the combustion chamber volume are equal and typically range from 20 to 200 Hz.
- *High-frequency* combustion instability, which is the most destructive type of instability. It is also known as acoustic instability or resonant combustion, typically occurring at frequencies of 400 Hz and above.
- Instability at *intermediate (transient)* frequencies, encompassing all types of instability not classified into the first two categories, with oscillation frequencies ranging from 100 to 400 Hz.

CAUSES OF INSTABILITY IN THE COMBUSTION PROCESS

Low-frequency oscillations are often caused by:

- Interaction of the combustion process with the fuel injection process through the mixing head;
- Interaction of the combustion process with any of the rocket engine systems.

High-frequency combustion instability is typically caused by the combustion process itself, or more precisely by effects such as:

- Delayed ignition;
- Time for physical and chemical preparatory processes;
- Detonation;
- Change in the rate of chemical reactions due to pressure and temperature fluctuations;
- Disruption and mixing of jets, films, and droplets under the influence of gas pulsations.

Instability at intermediate frequencies is usually associated with increasing coupling of combustion noise at any frequency, with the amplitude of oscillations gradually increasing. Such combustion instability is often characteristic of rocket engines with adjustable thrust, as among the variables, there is usually a combination that contributes to its occurrence.

METHODS FOR PREVENTION OF COMBUSTION INSTABILITY

To suppress low-frequency oscillations, methods such as the following are often used:

- Increasing the pressure drop at the injectors;

- Increasing the volume of the combustion chamber.

To suppress high-frequency oscillations, methods such as the following are often used:

- Search for the optimal design of the mixing head and its parameters;
- Use of damping devices.

Among the types of instability mentioned above, **high-frequency instability is the most destructive**. There are longitudinal (axial) and transverse (radial, tangential, and combined) types of high-frequency oscillations (see Fig. 4).

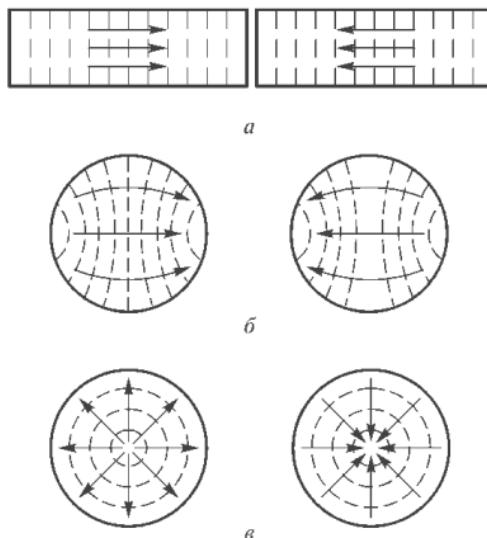


Figure 4 - Types of high-frequency oscillations in rocket engine combustion chambers [11]:

a – longitudinal; b – tangential; c – radial; - - - equal pressure lines.

High-frequency longitudinal oscillations occur along the axial direction of the combustion chamber. During these oscillations, gas parameters in the chamber change along its axis, while across the chamber's cross-sections perpendicular to the axis, gas parameters have the same values.

In transverse oscillations, gas parameters change across the chamber's cross-section, perpendicular to its axis, while remaining unchanged parallel to the axis. *Transverse* modes of high-frequency oscillations are usually the most dangerous type of high-frequency instability.

Combustion instability is also divided into linear and nonlinear types:

– Linear instability does not require initial excitation and can start from combustion process noise. In rocket engines prone to such instability, oscillations may appear immediately upon reaching nominal mode.

– Nonlinear instability is always caused by finite excitations. Such excitations in the combustion chamber manifest as "bursts" and "spikes." "Spikes" refer to pressure surges in the chamber during fuel ignition. "Bursts" refer to sudden pressure surges that appear during engine operation at nominal mode. These excitations can be inherent to the working process or induced externally.

ISSUES WITH COMBUSTION INSTABILITY IN THE DEVELOPMENT OF A PROSPECTIVE 200 N THRUST ENGINE

The authors have conducted the development of a prospective small-thrust liquid rocket engine (SLRE) at 200 N, manufactured using Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) additive technology. The fuel components used are a storable combination of N₂O₄ + UDMH, with a pressure-fed engine cycle. The mixing head is based on centrifugal injectors, and mixing and combustion occur on the chamber wall.

The chosen concept of maximum L-PBF technology utilization for engine chamber manufacturing mandated additional refinement of the mixture formation system elements due to insufficient statistical information. During development, the authors encountered the need for substantial research in terms of the quality of centrifugal injector spray—determining a combination of design parameters that would ensure the required uniformity of liquid distribution in the spray cone at the specified pressure drop. After confirming the selection of the complex of constructive parameters of the mixture system, work was done to find a rational variant ensuring high dynamic characteristics of the engine chamber.

The next stage, aiming to confirm the effectiveness of the embedded technical solutions, involved a series of ground firing tests of experimental chamber specimens. These samples were simplified versions to check the operability of the mixture system. The results of the firing tests showed high performance, confirming the effectiveness of the prospective engine chamber organization.

Further optimization of the design was aimed at integrating the mixture system with the chamber body. During the firing tests, *the authors encountered the problem of low-frequency combustion instability for the developed design*. The frequency of pressure oscillations was approximately **1 Hz**, resulting in significant pressure oscillation amplitudes in the engine chamber and decrease in process efficiency. Therefore, further development required determining the cause of pressure oscillations and

methods to prevent this phenomenon.

The influence of raw surface roughness of the chamber wall, typical for the L-PBF additive method, was identified as the main contributor to the low-frequency oscillation. Subsequent polishing of the wall surface and slight modification of its design resulted in the combustion process becoming stable, with the operating efficiency increasing to its nominal level, and the pressure oscillation amplitude reaching a minimum value acceptable during engine operation.

RESULTS

A review of combustion instability problem in liquid rocket engines described in available literature has been conducted. It has been shown that the problem of unstable operation of rocket engines is a complex multi-component phenomenon, typically characterized by individual features specific to each particular design under development.

Based on the conducted review of design problems in known liquid rocket engines, a classification of types of combustion instability, the main reasons for their occurrence, as well as methods of preventing such phenomena, have been considered.

The work on the development of the design of a prospective low-thrust engine chamber, manufactured using L-PBF additive technology, has yielded the following conclusions:

- The increased roughness characteristic of L-PBF technology, combined with the chosen mixture system on the chamber wall, can induce low-frequency pressure oscillations in the engine chamber.
- The possibility of applying design means to overcome and prevent low-frequency oscillations in the design of the low-thrust engine has been demonstrated.
- The possibility of obtaining an engine chamber design with high performance characteristics, manufactured using L-PBF technology, has been confirmed.

CONCLUSIONS

The work conducted can serve as a basis for further research on the peculiarities of combustion instability in modern liquid rocket engines manufactured using additive technologies. The obtained results demonstrate significant potential of the technology in designing prospective low-thrust engines and provide a basis for developing engineering recommendations for obtaining highly efficient designs of such engines.

REFERENCES

1. Yang, V., & Anderson, W. E. (Ред.). (1995). Liquid rocket engine combustion instability. AIAA (American Institute of Aeronautics & Ast. <https://doi.org/10.2514/4.866371>
2. Liquid Propellant Rocket Engines: NPO Energomash. (б. д.). Liquid Propellant Rocket Engines. <http://lpre.de/energomash/index.htm>
3. Rocketdyne H-1. (б. д.). <https://uk.wikipedia.org/>. https://uk.wikipedia.org/wiki/Rocketdyne_H-1
4. XLR132. (б. д.). Encyclopedia Astronautica. <http://www.astronautix.com/x/xlr132.html>
5. YF-1. (б. д.). Encyclopedia Astronautica. <http://www.astronautix.com/y/yf-1.html>
6. YF-20. (б. д.). Encyclopedia Astronautica. <http://www.astronautix.com/y/yf-20.html>
7. Instability phenomenology and case studies: Combustion instability in the RD-0110 engine. (1995). У Liquid rocket engine combustion instability (c. 89–112). American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/5.9781600866371.0089.0112>
8. Instability Phenomenology and Case Studies: Instability Phenomena in Earth Storable Bipropellant Rocket Engines. (1995). У Liquid Rocket Engine Combustion Instability (c. 113–142). American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/5.9781600866371.0113.0142>
9. Harrje, D. T. (1972). Liquid propellant rocket combustion instability (Reardon, Frederick H., joint author., Ред.). Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration; [for sale by the Supt. of Docs., U.S. Govt. Print. Off.].
10. Huzel, D. K. (1971). Design of liquid propellant rocket engines (2-ге вид.). Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration; [for sale by the National Technical Information Service, Springfield, Va.].
11. Bennewitz, J. W., & Frederick, R. A. (2013). Overview of combustion instabilities in liquid rocket engines - coupling mechanisms & control techniques. У 49th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2013-4106>
12. Махін, В. А. (2020). Рідинні ракетні двигуни. Теорія і проектні розрахунки камер (Л. В. Пронь, Г. А. Горбенко & М. А. Катренко, Ред.; 2-ге вид.). АРТ-Прес. (Оригінал опубліковано 1961 р.)

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ СОПЕЛ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ

Олександр Золотъко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5600-500X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Суттєво підвищити імпульсні характеристики ракетного двигуна можливо за рахунок використання ефективних сопел, в яких потік атмосферного повітря оптимізує реактивний струмінь.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Метою роботи є аналітично-розрахункове дослідження процесів у соплах ракетних двигунів. Завдання дослідження: аналіз характеристик щілинних сопел, сопел із земним та висотними контурами, сопел з центральним тілом, соплових блоків із соплами, охопленими загальним сопловим насадком; дослідження способів регулювання висотності сопла; розробка практичних рекомендацій по проектуванню ефективних сопел.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі використовуються метод експертних оцінок, розрахунково-аналітичний метод, метод ретроспективного аналізу.

РЕЗУЛЬТАТИ

Одним з пріоритетних напрямів удосконалення маршевих РРД перших ступенів ракет є підвищення висотності сопел. При використанні таких сопел виникають проблеми, обумовлені відривом газового потоку від стінки на режимах перерозширення. Відомі два основних типи відриву потоку: необмежений FSS (Free Shock Separation) та обмежений RSS (Restricted Shock Separation) [1]. Для ліквідації негативних наслідків відриву потоку застосовують різні способи керування режимними параметрами перерозширеного газового потоку. До найбільш ефективних способів відносять: а) поперечний та тангенційний малоінтенсивний вдув газу до приганичного шару у зоні перерозширеного надзвукового потоку; б) вдув газогенераторного газу до надзвукового соплового насадку; в) геометричне керування місцем

знаходження точки відриву потоку. Перші два газодинамічних способи регулювання висотності сопла реалізують у так званих щілинних соплах, третій – у висотних соплах із зламом контуру, наприклад, у двоконтурних дзвоноподібних соплах (Dual Bell Nozzle). Перший (земний) контур сопла дооснащується висотним насадком (другий контур). У районі стикування контурів з'являється можливість організації кільцевої щілини. Атмосферний тиск, який передається всередину сопла через кільцеву щілину у його надзвуковій частині, примусово відриває газ від його стінок, внаслідок чого ділянка сопла за щілиною «відключається», і сопло починає працювати на близькому до розрахункового режимі. Із збільшенням висоти польоту стрибки ущільнення виходять на зразок сопла, яке починає працювати в автомодельному режимі. Висотна характеристика сопла з кількома кільцевими щілинами, розташованими по довжині його надзвукової частини, є близькою до характеристики сопла з ідеально регулюємою висотністю. Ежекція атмосферного повітря сприяє тривалому утриманню стрибків ущільнення на зразі першого (земного) контуру сопла, що також підвищує його тягові характеристики. На тягові характеристики сопла помітно впливають такі конструктивні параметри: а) положення стінок щілини відносно вісі сопла (стінки можуть бути паралельними чи перпендикулярними вісі сопла); б) відстань, на якій знаходитьсь щілина на надзвуковій частині сопла (відносно критичного перерізу сопла); в) зсув контуру сопла за щілиною; г) наявність чи відсутність передачі атмосферного тиску через щілини всередину сопла (при відкритому чи закритому колекторі); д) кількість і ширина кільцевих щілин на надзвуковій частині сопла та деякі інші.

Радикально збільшити енергоефективність, ресурс, надійність РРД та зменшити його масогабаритні характеристики дозволяє використання авторегулюючих по висоті польоту сопел з центральним тілом (Aerospike Nozzle) [2]. Відомі чотири основні типи сопел з центральним тілом (ЦТ): кільцеве, тарілчасте, з повним зовнішнім та з частковим внутрішнім розширенням. У соплах із зовнішнім розширенням здійснюють керовану подачу продуктів згоряння до донної області (штильове аеродинамічне сопло). З метою покращення компактності та зниження маси розглядають усічені конічні, ізотропні та профільовані ізотропні сопла з ЦТ. Однак теплове навантаження конструкції при використанні усічених сопел з ЦТ збільшується [3]. Найбільшу ефективність забезпечує сопло з ЦТ, яке є вигнутим у двох напрямках. Завдяки викривленню контуру камери у двох площинах ефективність зростає приблизно на 2 % порівняно з ефективністю камери лінійної конфігурації. Перевагою багатокамерної компонувальної схеми є можливість ефективного керування вектором тяги

дроселюванням чи форсуванням окремих камер згоряння, розташованих по периметру профільованого центрального тіла. У перспективному десятикамерному РРД з центральним тілом Prospector 10 застосовані плоскі сопла [4]. Подальше покращення характеристик багатокамерних РРД з ЦТ дослідники пов'язують з переходом до круглих профільованих сопел, а також з профілюванням самого центрального тіла [5]. Розглядаються також сопла з ефектом підсилення тяги за рахунок застосування резонаторів.

Позитивний вплив на підвищення тягових характеристик двигуна має застосування соплового блоку, у якому вихідні перерізи розташовані за колом чи у ряд круглих сопел охоплені загальним сопловим насадком. Результати випробувань соплового блоку, оснащеного круглим сопловим насадком з поясом отворів, доводять, що збільшення приросту тяги відбувається за рахунок підвищення атмосферного тиску, який забезпечує краще відновлення тиску газу на режимі перевороту потоку. При розвороті тягових стінок насадка на шарнірі, закріпленим на зрізі насадка, відбувається ежекція атмосферного повітря всередину насадка, що супроводжується підвищенням тягових характеристик блока. У США продовжуються дослідження двигунної установки для ракети-носія нового покоління, яка складається з двох рядів двигунів (по десять камер згоряння у кожному ряду), охоплених загальним центральним плоским насадком з регульованим степенем розширення [6].

Суттєве скорочення лінійних розмірів двигуна стає можливим при розміщенні кільцевої циліндричної камери згоряння всередині сопла. Продукти згоряння у такій камері рухаються від змішувальної головки у напрямку до щілинного критичного перерізу, розгортаються на 180 градусів та витікають через тарілчасте надзвукове сопло.

Висновки

Щілинні сопла з високим степенем розширення здатні суттєво збільшити величину середньотраекторного імпульсу тяги ракетного двигуна. При старті ракети з поверхні Землі відрив потоку газу відбувається на кромці кільцевої щілини, тобто раніше, ніж при її відсутності. Тому частина зони переворотеної течії зникає, а імпульс сопла в умовах старту збільшується. Внаслідок ежекції повітря з навколошнього середовища додається до реактивного струменя, що збільшує імпульс тяги двигуна. Однак, щілинні висотні сопла з гладким контуром недоцільно використовувати на перших ступенях ракет внаслідок підвищеного рівня збитків тяги на розсіювання потоку.

Сопло з центральним тілом формує реактивний струмінь, що сходиться до вісі симетрії, внаслідок чого утворюється компактний газовий факел. Авторегулювання сопла із зовнішнім розширенням, тобто розрахунковий режим роботи сопла у широкому діапазоні висот, залишається завдяки наявності вільної зовнішньої границі реактивного потоку. Розглянуто нові варіанти схем соплового блоку з інтегральним сопловим насадком.

ПОСИЛАННЯ

1. Sreerag, V., Mohammad, F., Nandan, V., Pramod, A., Subhajayan, K., & Jash, S. (2021). Parametric study on a method to control flow separation in rocket nozzles. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.291>
2. Ferlauto, M., Ferrero, A., & Marsilio, R. (2020). Fluidic thrust vectoring for annular aerospike nozzle. In *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum* (p. 3777). <https://doi.org/10.2514/6.2020-3777>
3. Pradeep, R., UK, T., Prabhu, R., Kumar, K., KS, S. E., Mariappan, A., ... & Sanal Kumar, V. R. (2020). Conceptual design and contour optimization of altitude compensation nozzles for SSTO vehicles. In *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum* (p. 3922). <https://doi.org/10.2514/6.2020-3922>
4. Wilson, A., Clark, J., Besnard, E., & Baker, M. (2009). CFD performance analysis of a multi-chamber aerospike engine in over-expanded, slipstream conditions. In *45th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit* (p. 5486). <https://doi.org/10.2514/6.2009-5486>
5. Hakim, K., Toufik, H., & Mouloudj, Y. (2022). Study and simulation of the thrust vectoring in supersonic nozzles. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 93(1), 13-24. <https://doi.org/10.37934/arfmts.93.1.1324>
6. Meiss, J. H., & Besnard, E. (2013). Advanced design of a multi-thruster LOX/propylene aerospike engine. In *49th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference* (p. 3955). <https://doi.org/10.2514/6.2013-3955>

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИВИХ ТІЛ

Данило Снобко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8414-8825>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Галина Сокол

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6183-9155>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

В сей час накоплений доволі великий досвід з виявлення ознак негативного впливу звуку та інфразвуку с високим рівнем інтенсивності на живі організми [1-3]. Відоме використання негативного впливу на шкідників рослин та гризунів [4] Найголовнішим випадком тут є співпадіння резонансних частот окремих органів з деякими частотами акустичних полів і вібрацій. При дослідженні вібрації тіло слід розглядати як систему з механічних елементів, що володіють інерційними, пружними, демпфуючими та іншими властивостями.

Існуючі методи, такі як визначення резонансних частот тіл живих організмів та моделювання серця комах, мають свої недоліки [5]. Ці методи передбачають наявність точного знання об'ємів, мас, жорсткостей тканин, розмірів окремих органів. Але за цими методами неможливо визначити маси, резонансну частоту, жорсткість живих органів, з невизначеною внутрішньою структурою. Цим визначається актуальність обраної теми нових досліджень. Запатентована корисна модель належить до галузі механіки і спрямована на визначення механічних характеристик живих організмів.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Мета цієї роботи полягає у вдосконаленні методу визначення механічних характеристик живих тіл, що дозволяє застосовувати його до організмів з невідомою внутрішньою структурою.

Задачі полягають у наступному:

- на основі існуючої наукової літератури визначитися з можливістю використання негативного вібраційного впливу на живі організми;
- провести виміри розмірів, мас окремих живих істот (наприклад, колорадського хруща);
- визначитися з режимами (амплітуди, частоти), на яких буде

працювати вібростенд;

– визначити частоту, яка принесе загибель колорадського хруща після експерименту.

Огляд існуючих методів

Відомий спосіб визначення резонансних частот тіл живих організмів, розроблений професором І. К. Косько, являє собою передову методику, яка дозволяє моделювати складні механічні системи людського тіла. У цій роботі тіло людини розглядається як багатомасова механічна система, що має низку власних парціальних частот. Для проведення точних розрахунків спочатку створюється фізична модель живого організму, яка потім перетворюється на розрахункову схему.

Ця схема зображується у вигляді системи дискретних мас, пов'язаних між собою пружними зв'язками, що відображає реальні механічні властивості тканин та органів. Ключовим параметром у цій моделі є коефіцієнт жорсткості системи, який впливає на поведінку резонансних коливань. Метод, запропонований професором Косько, дозволяє точно визначити резонансні частоти коливань різних органів і систем тіла людини. Це особливо важливо, наприклад, для космонавтів, оскільки резонансні частоти можуть впливати на їхнє здоров'я та самопочуття під час перебування в космічному просторі. Результати розрахунків дають можливість прогнозувати і запобігати негативним наслідкам резонансних коливань на організм людини. [6].

Недоліком даного способу є те, що не завжди достатньо точно визначити маси та жорсткості живих органів істот чи усього живого тіла. Визначити механічні характеристики живих тіл з невизначеню внутрішньою структурою таким методом неможливо.

Відомий спосіб моделювання серця комахи багатокамерною акустичною системою [5]. У роботі наведено, що серце комахи - це механічна система яка складається з зосереджених мас, з'єднаних між собою пружними зв'язками, всередині яких розташовані трубки, що містять в'язку рідину. В основу розрахунку резонансної частоти серця комахи покладено метод електромеханічних аналогій.

Недоліком способу є те, що він дозволяє визначити механічні характеристики серця колорадського жука, тобто промоделювати тільки окремий орган живого організму, причому метод може бути використаний тільки для окремої структури істоти, типа серця колорадського жука, структуру якої можливо моделювати методом електромеханічних аналогій. Визначити механічні характеристики живих тіл з невизначеню внутрішньою структурою таким методом неможливо.

Найбільш близьким до даної корисної моделі є спосіб, що

розробив Ю.Ч. Фін [7]. Він отримав криві залежності подовження від навантаження зразка серцевої капілярної м'язи кролика.

Недоліком способу є те, що не завжди можливо узяти до експерименту орган чи тіло живого організму, прикладти до нього силу, виміряти подовження, чим скласти уявлення о механічних характеристиках цього тіла. Тим паче, визначити механічні характеристики живих тіл з невизначеню внутрішньою структурою таким методом неможливо.

ПРОПОНОВАНИЙ МЕТОД

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу для визначення механічних характеристик живих тіл [8].

Поставлена задача вирішується способом, що механічний вплив на тіло і тканини живої істоти здійснюють знакозмінною силою з частотою вібраційних коливань з амплітудою, яка дорівнює відношенню сили розриву сполучних тканин тіла до їх площин перерізу, і частотою рівній власній частоті живого тіла.

Спосіб здійснюється наступним чином.

Відомо, що резонансна частота f будь-якого жорсткого тіла масою m і жорсткістю C визначається з співвідношення:

$$f = 1/2\pi\sqrt{C/m} \quad (1)$$

де – число π , m – маса тіла, C – жорсткість тіла.

Тому, якщо на тіло живої істоти, внутрішня структура якої не визначена, впливати вібраціями з частотою, що приведе до загибелі живої істоти, то можна однозначно зробити висновок про визначення цієї резонансної частоти тіла та визначення жорсткості тіла, тобто провести визначення механічних характеристик тіла живої істоти.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

У Дніпровському національному університеті проведено науково-дослідну роботу з дослідження впливу вібраційних коливань на шкідливу комаху. В результаті експериментальних робіт були визначені механічні характеристики тіла шкідливої комахи: колорадського жука, тобто вдалося визначити масу тіла шкідливої комахи, жорсткість і резонансну частоту тіла.

Очевидно, що розрив тканин і біологічна смерть шкідливої комахи при впливі на неї вібраційних коливань повинні свідчити про те, що знайдена резонансна частота тіла f . Жорсткість тіла C шкідливої комахи визначається розрахунковим шляхом після визначення зважуванням маси тіла m і резонансної частоти f .

Експериментальне визначення жорсткості і резонансної частоти тіла в лабораторії проводилося наступним чином. Попередньо кожна з досліджуваних комах була зважена з точністю $\pm 0,005$ грама, маркована червоною фарбою. Кожна досліджувана комаха знаходилася в марлевому мішечку, який кріпився до столу вібростенда, УВЕ-100/5-3000. Після впливу вібрацій кожна комаха була оглянута і розкладена по ємкостях з іншими, ще двома, не підданими випробуванням, комахами. Горловини ємностей зав'язувалися марлевою тканиною. Випробуванню вібраційним впливом піддалися 8 шкідливих комах масою 100 – 200 мг у приміщені лабораторного бокса. Фіксована частота впливаючих коливань для окремих комах задавалася послідовно в межах частотного діапазону 500 до 2500 Гц. Тривалість впливу вібрацій становила приблизно 2 хвилини.

На основі даних зовнішнього огляду комах було встановлено, що біологічна смерть комахи масою 100 мг зареєстрована після впливу на неї вібрацій з частотою 1500 Гц через 4 години після припинення впливу. Безпосередній огляд цієї комахи одразу після впливу вібрацій показав, що всі її органи руху були сильно травмовані. На основі цих даних розрахована жорсткість тіла комахи, величина якої становила: $C = 8,86 \times 10^3$ Н/м.

Висновок

У результаті проведених досліджень та розробок був створений вдосконалений метод визначення механічних характеристик живих тіл за допомогою вібраційних коливань. Метод базується на принципі впливу знакозмінною силою з частотою, що відповідає власній резонансній частоті тіла, і амплітудою, що дорівнює відношенню сили розриву сполучних тканин до їх площини перерізу.

Перевагою цього методу є можливість визначення резонансних частот і жорсткості тіла навіть для живих організмів з невизначеною внутрішньою структурою. Це відкриває нові перспективи у вивчені механічних властивостей біологічних систем, особливо у тих випадках, коли традиційні методи не дають точних результатів.

Експериментальні дослідження, проведені в Дніпровському національному університеті, підтвердили ефективність методу. На прикладі колорадського жука було визначено механічні характеристики його тіла, зокрема, масу, жорсткість і резонансну частоту. Результати досліджень показали, що застосування вібраційних коливань дозволяє точно ідентифікувати резонансну частоту і жорсткість тіла комахи, що підтверджується біологічною смертю комахи при досягненні критичної частоти.

Таким чином, запропонований метод є надійним інструментом для дослідження механічних характеристик живих організмів, що має значний потенціал для подальшого розвитку та застосування в різних галузях науки і техніки.

ПОСИЛАННЯ

1. Broner, N. (1978). The effects of low frequency noise on people—a review. *Journal of Sound and Vibration*, 58(4), 483-500.
2. Almeida, J., Marques, L., Figueiredo, J. P., & Ferreira, A. (2023, May). Exposure to Infrasound and Low Frequency Noise—A Case Study of Guarda City Population (Portugal). In *International Conference on Water Energy Food and Sustainability* (pp. 513-523). Cham: Springer Nature Switzerland.
3. Sokol, G. I. ., Savchuk, T. L. ., & Snobko, D. O. (2021). Experimental Modeling of Mechanical Characteristics in Living Elastic Bodies. *New Visions in Science and Technology* Vol. 10, 91–95. <https://doi.org/10.9734/bpi/nvst/v10/1973C>
4. Sokol, G. I., Molnar, T. S., & Sokol, A. V. (2023). Realization of Acoustic Method of Colorado Beetle Elimination.
5. Савчук, Т. Л., Сокол, Г. І., Савчук, В. М., & Алхимов, О. В. (2020). Моделювання резонансних явищ у серці комах в космічних біологічних дослідженнях. *Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій*, (31), 89-99.
6. Сокол, Г. І., & Снобко, Д. О. (2023). Розрахунок механічних характеристик тіл космонавтів методом електромеханічних аналогій. У *Збірник тез XXV Міжнародна молодіжна науково-практична конференція "Людина і космос"* (с. 355).
7. Сокол, Г. І., Дуплицьєва, О. М., & Рибалка, Т. А. (2009). Вплив звукових і інфразвукових акустичних коливань на живі організми. У *Екологія та ноосферологія: Т. 20. № 3-4.*
8. Пугачов, А. С., Сокол, Г. І., Савчук, Т. Л., & Сокол, А. В. (2021). Спосіб визначення механічних характеристик живих тіл (Патент України № 029 1050 421).

ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ З ДВОФАЗНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Олексій Федосов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6269-5288>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Вступ

Стратегічним напрямком розвитку авіаційного та ракетно-космічного двигунобудування є розробка та серійне виробництво газотурбінних двигунів (ГТД) нового покоління, з підвищеним ресурсом та надійністю. Одним із шляхів зниження маси літальних апаратів є застосування в їх конструкціях нових перспективних матеріалів, нестандартних конструкторських і технологічних рішень, прогресивного промислового обладнання.

Одними з найбільш відповідних і навантажених деталей ГТД є деталі роторної частини компресора, за якими визначається загальний ресурс двигуна. Збільшення ресурсу двигуна безпосередньо пов'язано з можливістю ремонту основних вузлів і деталей. Деякі деталі, наприклад, барабани компресора, мають зварну конструкцію. При створенні таких конструкцій велику увагу необхідно приділити способам з'єднання їх елементів між собою. Основною вимогою, що пред'являється до процесу з'єднання заготовок, є забезпечення високої міцності та надійності без втрати стійкості з'єднуваних заготовок [1, 2].

Однак відомо, що двофазні титанові сплави є обмежено зварюваними. Вплив термічного циклу поширеніх методів зварювання плавленням, таких як аргонодугове (АДЗ) та електронно-променеве зварювання (ЕПЗ), призводить до значних структурних змін та зниження механічних властивостей зварних з'єднань. Для забезпечення надійної роботи деталей протягом ресурсу потрібно збільшення запасу міцності зварних з'єднань [3, 4].

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Мета роботи – забезпечення необхідного рівня механічних властивостей зварних з'єднань авіаційних та ракетно-космічних деталей із складнолегованих двофазних титанових сплавів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати механізми формування структури для

забезпечення необхідного рівня механічних властивостей зварних з'єднань з титанових сплавів;

– дослідити вплив зварювання плавленням на структуру та механічні властивості складнолегованих титанових сплавів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом досліджень є зварні з'єднання з складнолегованого високоміцного титанового сплаву ВТЗ-1. Зразки виготовляли з прутків, поковок та смуг. Зварні з'єднання виконували із застосуванням різних методів зварювання: електронним променем, аргоновою дугою.

Проводився аналіз поверхні руйнування зразків після механічних випробувань та оцінювалась достовірність експериментальних результатів. Апробацію результатів дослідження проводили в лабораторних умовах. При дослідженні зварних з'єднань з високоміцних сплавів були використані такі методи:

– металографічний метод. Отримані зразки розрізали вздовж осі на сегменти. З боку перетину розрізу готувалися шліфи для металографічних досліджень;

– методи вимірювання мікротвердості. Для виміру мікротвердості основного металу і зони термічного впливу, виготовляли поперечні мікрошліфи, що піддавалися механічному поліруванню;

– механічні випробування на розтяг та ударну в'язкість.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При аналізі хімічного складу дослідних зразків з різною вихідною структурою, виготовлених із прутків, поковок, встановлено, що вміст легуючих елементів усіх дослідних зразків відповідають вимогам нормативної документації. Аналіз механічних властивостей дослідних зразків із різною вихідною структурою показав, що значення межі міцності та відносного подовження відповідають вимогам нормативної документації.

Таким чином, хімічний склад, мікроструктура та механічні властивості дослідних зразків, виготовлених з прутків, поковок та отриманих прокаткою та порізкою смуг відповідають вимогам, що пред'являються до основного матеріалу деталей. На цій підставі дослідні зразки були використані для вивчення впливу процесів зварювання на механічні властивості зварних з'єднань зі сплаву ВТЗ-1 (табл. 1).

З вимірів твердості визначено межі зони термічного впливу (ЗТВ). Зона термічного впливу умовно розташована між зварним швом (ділянка з підвищеною твердістю) та основним металом

(ділянка зі зниженою твердістю). При цьому встановлено такі значення протяжності ЗТВ від 1 до 2 мм при ЕПЗ, та 4-6 мм при АДЗ.

У зварних швах виконаних методом ЕПЗ, також як і при зварюванні методом АДЗ утворилися великі первинні β -зерна розміром до 300 мкм із пластинчастою внутрішньозеренною структурою.

Таблиця 1 – Механічні властивості зварних з'єднань зі сплаву ВТ3-1

Вид зварювання	Межа міцності σ_b , МПа	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ²
Аргонодугове зварювання	1000-1040	47-50
	1080-1110	25-50
Електронно-променеве зварювання	1090-1110	33-38
	1170-1250	15-25

Внутрішньозерenna структура була пересиченим розчином α -фази з β -стабілізуючими елементами і за типом та розмірами не відповідала структурі основного металу. Незалежно від типу вихідних структур зварних з'єднань – рівновісної, бімодальної, чи їх комбінації, типи структур, отримані у зварних швах подібні.

Зміна розмірів структурних складових, а також фазові перетворення зі зміною типу структури від двофазної рівновісної до пластинчастої крупнозернистої структури стала однією з основних причин незначної зміни механічних властивостей.

Результати досліджень показали, що в різних ділянках зварної ванни, виконаної методом ЕПЗ, спостерігається розкид значень вмісту основних легуючих елементів. Так, мінімальний вміст алюмінію у шві становить 5%, максимальний вміст у ЗТВ становить 6%. Для молібдену мінімальний вміст у шві становить 2,1%, максимальний вміст у ЗТВ становить 3%. При аналізі результатів вимірювань встановлено, що вміст легуючих елементів знаходиться в межах технічних вимог на сплав ВТ3-1.

Аналіз результатів показує, що мікротвердість зварних швів, основного металу і ЗТВ, незалежно від способу зварювання і режиму термообробки, за винятком ЗТВ на зразках, виконаних АДЗ, коливається приблизно в одинакових межах, (3040-4120 МПа) що на перший погляд, пояснюється неоднорідністю структури. Мікротвердість ЗТВ на зразках, виконаних ЕПЗ, значно вище (4120-4920 МПа), що пов'язано, очевидь, з високими швидкостями охолодження (табл. 2).

ЗТВ має крупнозернисту будову з виділенням всередині зерен гольок або пластинок, форма, розміри і орієнтація яких змінюються в залежності від режиму термообробки.

Таблиця 2 – Мікротвердість зварних з'єднань МПа

Режим зміцнення	Вид зварювання	Шов, МПа	ЗТВ, МПа	Основний метал, МПа
Відпал	ЕПЗ	3520-3800	3650-4120	3650-4120
	ЕПЗ з присадкою	3380-3650	3650-3800	3380-3800
	АДЗ з присадкою	3260-4120	3380-4120	3150-4120
Гартування	ЕПЗ	3520-3960	4120-4920	3520-3800
	ЕПЗ з присадкою	3650-3800	4310-4920	3800-3960
	АДЗ з присадкою	3040-3960	3520-4120	3380-3960
	АДЗ	3380-3800	3260-3800	3380-3800

На підставі проведених досліджень встановлено наступні результати:

- структура та властивості вихідного матеріалу зразків ідентичні основному матеріалу деталей;
- у зварних швах виконаних методом ЕПЗ, утворилися великі первинні β -зерна розміром до 300 мкм з пластинчастою внутрішньозереною структурою;
- у навколошовній зоні та прилеглих до неї ділянках ЗТВ мікроструктура являє собою α' -фазу, що має пластинчато-гольчасту будову. Товщина пластин α -фази у зоні термічного впливу була дещо меншою, що може свідчити про менш тривале знаходження матеріалу цієї зони при температурах верхньої частини ($\alpha+\beta$) зони порівняно з матеріалом шва;
- при віддаленні від зварного шва максимальні температури падали, і мікроструктура поверталася до бімодального типу, тобто тут температура не перевищувала температуру α -перетворення, та залишилися частини первинної α -фази;
- для зварних з'єднань ЕПЗ матеріалу ВТ3-1 характерні зміни типу та розмірів структурних складових від двофазної рівновісної до пластинчастої крупнозернистої структури. Цей фактор, а також пластинчаста будова α' -фази визначили високу міцність і низьку пластичність ділянок з цією структурою і стали однією з основних причин зміни механічних властивостей;
- механічні властивості зварних з'єднань виконаних ЕПЗ для різних комбінацій структур склали до 1000-1100 МПа;
- вміст основних легуючих елементів у різних зонах зварних з'єднань, виконаних ЕПЗ, знаходиться в допустимих межах для даного сплаву. Протяжність ЗТВ при цьому коливається в межах 1-4 мм.

Висновки

На підставі досліджень структуроутворення зварних з'єднань з комбінаціями різних вихідних структур, виконаних методами зварювання плавленням (АДЗ та ЕПЗ) встановлено, що в зварних швах формується нерегламентована, крупнозерниста пластинчаста структура, при цьому розмір первинної β -фази становить в межах 180...300 мкм. При цьому розміри зони термічного впливу для аргонодугового зварювання становить 5 мм, для електронно-променевого зварювання - 2 мм.

Дослідженнями механічних властивостей та характеру руйнування зварних з'єднань встановлено, що структурні зміни при зварюванні плавленням призводять до зниження механічних властивостей, при цьому міцність отриманих зварних з'єднань становить не більше 80-85% по відношенню до міцності основного металу. Відсутність структурних змін при зварюванні електронним променем призводить до збереження рівня механічних властивостей, при цьому міцність отриманих зварних з'єднань становить більше 90% по відношенню до основного металу. Дослідженнями характеру руйнування встановлено, що механізми руйнування для різних видів зварювання мали різні характеристики, що пов'язано з типом та розмірами сформованої мікроструктури у зварному шві.

Посилання

1. Fedosov, O., & Karpovych, O. (2023). Determining the technological parameters of electron-beam welding of high-strength titanium alloys. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(12 (125), 47–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287679>.
2. Li, F. S., Wu, L. H., Zhao, H. B., Xue, P., Ni, D. R., Xiao, B. L., Ma, Z. Y. (2023). Realizing deep penetration and superior mechanical properties in a titanium alloy thick plate joint via vacuum laser beam welding. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 2254–2264. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.08.059>.
3. Kabasakaloglu, T. S., & Erdogan, M. (2020). Characterisation of figure-eight shaped oscillation laser welding behaviour of 5083 aluminium alloy. *Science and Technology of Welding and Joining*, 25 (7), 609–616. <https://doi.org/10.1080/13621718.2020.1794652>.
4. Zhao, X., Lu, X., Wang, K., & He, F. (2023). Microstructure and mechanical properties of electron beam welded TC4 titanium alloy structure with backing plate. *Materials Today Communications*, 35, 106160. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106160>.

КАСКАДНИЙ СПОСІБ ВСТАНОВЛЕННЯ КІЛЬКОХ РАДІАЛЬНО-УПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Володимир Дудніков

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7115-7086>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

До складу конструкцій сучасних технічних систем в машинобудуванні входить безліч підшипниковых вузлів з підшипниками кочення. Працездатність, а саме надійність і довговічність таких систем, значною мірою визначається працездатністю зазначених підшипниковых вузлів. Підшипникові вузли, як правило, навантажені комбінованим навантаженням, тобто радіальним й осьовим. Співвідношення цих навантажень міняється від вузла до вузла.

Практика проектування й експлуатації опор різних механізмів і машин показує, що в умовах дії значних по величині осьових навантажень добре себе виправдують послідовно здвоєні чи строені радіально-упорні кулькові підшипники зі спрямованими в них в одну сторону лініями контактних тисків тіл кочення. Найбільшу стійкість такий комплект підшипників здобуває в тих випадках, коли під дією осьового навантаження в кожнім окремо узятому підшипнику виникають більш-менш однакові контактні напруги.

Аналіз контактних напруг, що виникають у підшипниках здвоєного чи строеного комплекту, довільно складеного без попередньої добірки чи доведення їх по торцях додатковим шліфуванням, показує, що такий спосіб довільного комплектування неприпустимий, тому що в цьому випадку напруги розподіляються між підшипниками вкрай нерівномірно і стійкість комплексу мізерно мала.

МЕТА І ЗАДАЧА ДОСЛІДЖЕННЯ

Підвищення ефективності підшипникового вузла з багаторядною установкою радіально-упорних підшипників, а саме, підвищення навантажувальної здатності й довговічності за рахунок забезпечення більше рівномірного розподілу зовнішнього однобічного осьового навантаження між підшипниками.

За рахунок виключення впливу зношування підшипників у процесі експлуатації на стабільність цього розподілу, а також підвищення технологічності підшипниковых вузлів за рахунок зниження точності

виготовлення деталей і виключення деяких підготовчих операцій перед їх зборкою.

Основна частина дослідження

Відомий підшипниковий вузол, у якому використаний “каскадний” спосіб встановлення декількох однорядних радіально-упорних підшипників, коли вузький торець зовнішнього кільця одного підшипника вирається в широкий торець зовнішнього кільця іншого підшипника [1, с. 14, рис. в; 2, с. 39, рис. 20]. Рівномірний розподіл осьового навантаження між підшипниками досягається точністю розмірів й однаковістю осьової жорсткості підшипників.

Відомий також підшипниковий вузол, що містить корпус, вал, два й більше радіально-упорних підшипники кочення, встановлених за схемою “тандем” так, що їхні внутрішні кільця разом з розподільними дистанційними втулками жорстко змонтовані на валу, а між зовнішніми кільцями, розташованими між двома жорсткими упорами корпусу, встановлені проміжні елементи у вигляді твердих втулок, що забезпечують за рахунок підбора їхніх довжин розподіл зовнішнього осьового однобічного зусилля між підшипниками в комплекті [3, с. 240, фіг. VI.30].

При такій установці підшипників потрібне експериментальне визначення їх осьової контактної жорсткості, підбір підшипників з однаковою жорсткістю, узгодження довжин дистанційних втулок між внутрішніми й зовнішніми кільцями підшипників, висока точність їхнього виготовлення. Тільки за таких умов можна домогтися приблизно рівномірного розподілу осьового навантаження між підшипниками в комплекті. Все це знижує ефективність використання відомого підшипникового вузла з багаторядною установкою підшипників, робить регулювання підшипників утрудненим і нетехнологічним.

Поставлена задача вирішується тим, що в підшипниковому вузлі, що містить корпус, вал, два й більше радіально-упорних підшипники кочення, встановлених за схемою “тандем” так, що їх внутрішні кільця разом з розподільними дистанційними втулками жорстко змонтовані на валу, а між зовнішніми кільцями, розташованими між двома жорсткими упорами корпусу, встановлені проміжні елементи, що забезпечують розподіл зовнішнього осьового однобічного зусилля між підшипниками, проміжні елементи виконані пружними, наприклад, у вигляді пружин стиску, і попередньо стислі, створюючи на зовнішні кільця двох суміжних підшипників розпірне зусилля, що визначається за формулою:

$$F_k = \frac{A}{n} \cdot k,$$

де F_k – розпірне зусилля, яке створює k – та пружина;

A – зовнішнє осьове зусилля, що діє на підшипниковий вузол;

n – число підшипників у вузлі;

k – порядковий номер пружного проміжного елемента, що відріховується відносно валу в напрямку зовнішнього осьового зусилля, а самі зовнішні кільця встановлені в корпусі з можливістю осьового переміщення назустріч одне одному.

Суть пропонованого технічного рішення пояснюється кресленнями, на яких підшипниковий вузол зображені у поздовжньому розрізі. На рис. 1 показане взаємне розташування тіл кочення, зовнішніх і внутрішніх кілець підшипників під дією розпірних зусиль із боку пружин при відсутності зовнішнього осьового зусилля A . На рис. 2 показане взаємне розташування тих же елементів конструкції при навантаженні зовнішнім осьовим зусиллям A .

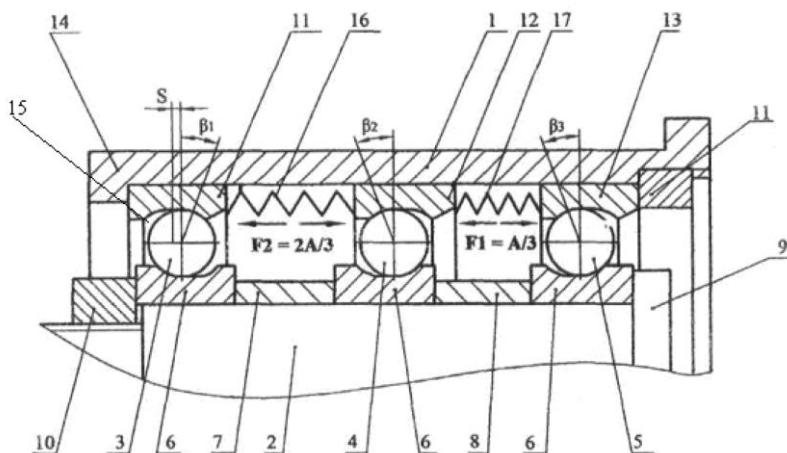


Рисунок 1 – Підшипниковий вузол без зовнішнього навантаження

Підшипниковий вузол складається з корпусу 1, валу 2, трьох радіально-упорних підшипників кочення 3, 4, 5. Внутрішні кільця 6 підшипників розділені між собою жорсткими дистанційними втулками 7, 8 і затиснуті на валу 2 між жорстким упором 9 і гайкою 10. Зовнішні кільця 11, 12, 13 підшипників 3, 4, 5 відповідно встановлені між жорстким упором 14 корпусу 1 і гайкою 15. Між зовнішніми кільцями 11, 12, 13 установлені попередньо стислі пружні проміжні елементи 16,

17, виконані у вигляді циліндричних пружин стиску. Елемент 17 створює розпірне зусилля на зовнішні кільця 12, 13 підшипників 4, 5, що дорівнює по величині $F_1 = A/3$, де A – експлуатаційне осьове зусилля на підшипниковий вузол. Елемент 16 створює розпірне зусилля на зовнішні кільця 11, 12 підшипників 3, 4, що дорівнює по величині $F_2 = 2A/3$. Як видно на рисунку, зовнішнє кільце 11 підшипника 3 навантажено зусиллям $F_2 = 2A/3$ і притискається до упору 14 корпусу 1, при цьому воно виявляється зміщеним уліво щодо свого внутрішнього кільця 6 на величину осьової гри S з утворенням кута контакту β_1 , який спрямований протиленко зовнішньому осьовому зусиллю A .

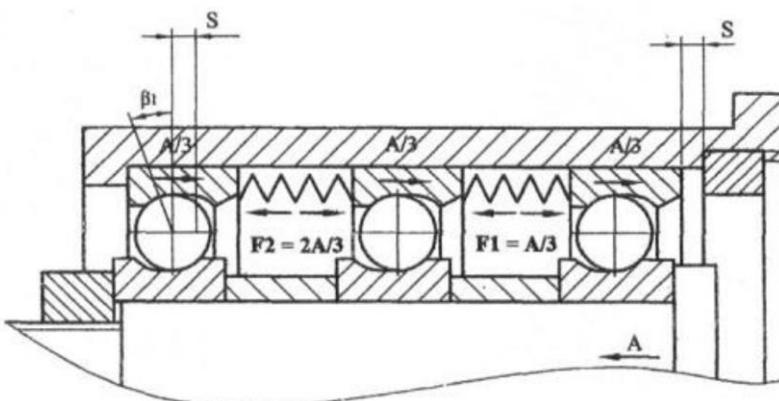


Рисунок 2 – Підшипниковий вузол під дією осьового навантаження

Зовнішнє кільце 12 підшипника 4 перебуває під дією двох розпірних зусиль, ліворуч $F_2 = 2A/3$, праворуч $F_1 = A/3$. Сумарне зусилля на це кільця становить $A/3$ і спрямоване в напрямку підшипника 5, тобто в напрямку, протиленко зовнішньому осьовому зусиллю A . Кут контакту β_2 у цьому підшипнику 4 спрямований в напрямку зовнішнього осьового зусилля A . Зовнішнє кільце 13 підшипника 5 навантажене зусиллям $F_1 = A/3$, притискується до гайки 15 з утворенням кута контакту β_3 , спрямованим в напрямку зовнішнього осьового зусилля A .

Працює вузол наступним чином. При навантаженні підшипникової вузла зовнішнім осьовим зусиллям A (рис. 2) воно через упор 9 валу 2 передається внутрішнім кільцям 6 підшипників 3, 4, 5. Зусилля A через внутрішні кільця 6 підшипників 4, 5, тіла кочення (кульки) передається зовнішнім кільцям 12, 13 відповідно. Кільця 12, 13, з

іншого боку, навантажені розпірними зусиллями з боку пружин 16, 17, що дорівнюють по величині А/3.

Якщо зовнішнє зусилля не перевершує величини 2А/3, то взаємне розташування елементів конструкції не змінюється. Якщо ж зовнішнє зусилля досягає величини А, то весь вал 2 із закріпленими на ньому внутрішніми кільцями 6 і дистанційними втулками 7, 8 переборює розпірні зусилля пружин, що діють на кільця 12, 13, і зміщується вліво на величину осьової гри S підшипника 3 до упору в зовнішнє кільце 11 з утворенням кута контакту β_1 , що спрямованій вже в напрямку зовнішнього осьового зусилля. При цьому кільце 13 відходить від гайки 15 і створює зазор розміром S. Кожен підшипник виявляється навантаженим осьовим зусиллям А/3, тобто зовнішнє навантаження розподіляється рівномірно.

Внаслідок цього довговічність комплекту із трьох радіально-упорних підшипників при дії тільки осьового навантаження збільшується в 27 (кулькові тіла кочення) й 39 (роликові тіла кочення) разів відповідно. При заданій довговічності L осьовому зусиллю A можуть бути зменшені габарити підшипникового вузла. Знос підшипників не впливає на рівномірність розподілу зовнішнього осьового зусилля між підшипниками в комплекті. Вал 2 зміщується вліво на величину зносу, при цьому довжини стислих пружин 16, 17 залишаються незмінними, а, отже, і величини створюваних ними розпірних зусиль.

Результати дослідження

Запропонований підшипниковий вузол забезпечує рівномірний розподіл зовнішнього осьового навантаження між підшипниками кочення в комплекті, внаслідок чого довговічність комплекту підшипників при дії тільки осьового зовнішнього навантаження збільшується в n^3 разів, де n – кількість підшипників.

Крім того, виключається вплив зносу підшипників на стабільність рівномірності цього розподілу. Усувається необхідність у витратних за часом підготовчих операціях по визначенням осьової жорсткості підшипників, комплектуванні їх за однаковою величиною осьової жорсткості, підборі й припасуванні за місцем довжин дистанційних втулок, що дозволяє знизити вимоги до точності виготовлення втулок, а, отже, знизити їхню вартість.

Все це досягається за рахунок виконання проміжних елементів між зовнішніми кільцями пружними, наприклад, у вигляді пружин стиску, і попередньо стислими, які, особливо при пологій механічній характеристиці, добре компенсують всі погрішності виготовлення, забезпечують самовстановлення елементів конструкції, а також

пружний зв'язок підшипників, крім одного, з корпусом, що сприяє зм'якшенню ударних навантажень.

Таким чином, запропонований пристрій перевершує прототип по ефективності, надійності, простоті реалізації, тобто технологічності.

Висновки

Розроблено конструкція підшипникового вузла, що відрізняється значним підвищеннем довговічності і здатності навантаження при дії зовнішньої осьового навантаження. Це забезпечується за рахунок багаторядний установки підшипників кочення і рівномірності розподілу зовнішньої осьового навантаження між ними. Основним елементом системи, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження, є пружини стиснення. Пружини встановлюються при складанні підшипникового вузла в попередньо стиснутому стані. Наведено рекомендації по вибору величини зусилля попереднього стиснення пружин. Конструкція підшипникового вузла захищена патентом на корисну модель [4].

Посилання

1. Скуратовський, А. К. (2018). *Підшипники кочення: Ч.1. Кулькові підшипники*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/582c501b-4764-43f0-b6f0-c7be435056bd/content>
2. Проектування обладнання галузевого машинобудування: Шпиндельні вузли на опорах кочення. (2020). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38401>
3. Бейзельман, Р. Д., & Цыпкин, Б. В. (1960). *Подшипники качения. Справочник*.
4. Дудніков, В. С. (2015). *Підшипниковий вузол* (патент України №99440). Державна служба інтелектуальної власності України. <https://uapatents.com/6-99440-pidshipnikovij-vuzol.html>
5. Дудніков, В. (2023). Підшипникові вузли робототехнічних систем. *Виклики та проблеми сучасної науки*, 1, 276-282. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/53>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ РІДИНИ В ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ 3D MAX

Олег Колесніченко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6115-1481>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

У сучасному світі космічні літальні апарати відіграють ключову роль в дослідженні космосу та забезпечені людства новими знаннями і можливостями. Одним із важливих аспектів функціонування космічних апаратів є керування та моніторинг паливних систем. Тут виникає потреба в реалістичному моделюванні поведінки компоненту палива в баках, що дозволяє прогнозувати його рух і взаємодію з оточуючими елементами. Один із потужних інструментів для досягнення цієї мети - це програмний продукт 3D Max.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ 3D МОДЕЛЮВАННЯ

Моделювання рідини є важливим та складним завданням у комп'ютерній графіці, яка знайшла широке застосування в різних галузях, включаючи фільми, рекламу, ігри та наукові дослідження. Програма - 3ds Max, одне з найпопулярніших програмних забезпечення для три-вимірного моделювання та анімації, надає інструменти для створення реалістичного візуального представлення рідин.

В якості переваг моделювання рідини в 3D Max вважаю наступні:

По перше це реалістичність: Однією з основних переваг моделювання рідини в 3D Max є можливість створення вражаюче реалістичних візуальних ефектів. За допомогою різних параметрів, таких як в'язкість, щільність та поверхневий натяг можна досягти високого ступеня реалізму візуалізації рідини.

Друге – це гнучкість та контроль: 3D Max надає широкий спектр інструментів та параметрів, які дозволяють контролювати поведінку рідини. Моделювання рідини в 3D Max дозволяє налаштовувати фізичні властивості рідини, такі як швидкість, напрямок потоку, зіткнення з об'єктами та поверхнями. Це дає художникам та дизайнерам повний контроль над створюваними ефектами.

До третьої переваги належить інтеграція з іншими інструментами: 3D Max дозволяє інтегрувати моделювання рідини з іншими процесами створення 3D-сцен, такими як моделювання об'єктів,

створення текстур та освітлення. Це спрощує робочий процес та полегшує створення комплексних сцен із взаємодіючими об'єктами та рідинами.

Що стосується недоліків моделювання рідини в 3D Max то також зупинюсь на трьох головних:

Першим мабуть варто поставити обчислювальну складність: Обчислення до створення реалістичної анімації рідини вимагають значних обчислювальних ресурсів. Для досягнення високоякісних результатів може знадобитися використання потужного обладнання та тривалий часрендерингу.

Наступний - складність налаштування: Створення переконливої анімації рідини в 3D Max вимагає глибокого розуміння фізичних властивостей та параметрів рідини. Налаштування цих параметрів може бути складним завданням і потребує досвіду та експертизи.

Нарешті - обмежені можливості фізичного моделювання: 3D Max надає базові інструменти для моделювання рідини, але їх можливості не завжди дозволяють досягти повної фізичної точності. Деякі складні фізичні явища, такі як взаємодія з плаваючими об'єктами або турбулентність потоку, можуть бути складними для відтворення в програмі.

Незважаючи на недоліки хочу зазначити, що застосування 3D Max в контексті поведінки компоненту палива в баках космічних літальних апаратів має великий потенціал і може надати декілька значущих переваг.

По-перше, використання 3D Max дозволяє створювати детальні тривимірні моделі баків з точними геометричними параметрами. Це дозволяє розрахувати об'єм і форму бака з високою точністю, враховуючи всі його особливості. Такі деталізовані моделі підвищують достовірність результатів і дозволяють здійснювати більш точні прогнози поведінки палива.

По-друге, 3D Max має розширені можливості анімації, що дозволяють моделювати рух компоненту палива в баках. Це дозволяє симулювати різні ситуації, наприклад, рух палива під час прискорення або гальмування космічного апарату. Такі симуляції дозволяють інженерам оцінити вплив різних факторів на поведінку палива та приймати відповідні заходи для оптимізації систем.

По-третє, 3D Max надає можливість візуалізувати результати моделювання в реальному часі. Це дозволяє не тільки спостерігати за рухом палива в баках, але і аналізувати дані у реальному часі. Інженери можуть спостерігати за різними параметрами, такими як рівень палива, температура або тиск, і вносити необхідні корективи для підтримки оптимального функціонування паливної системи.

Однак, варто відзначити, що використання 3D Max для моделювання поведінки компоненту палива в баках космічних літальних апаратів також має деякі виклики. Один з них - це складність створення реалістичної фізичної моделі руху палива, що враховує всі фактори, такі як вплив сили тяжіння, поведінка палива при нульовій гравітації тощо. Також, точність результатів може залежати від якості початкових даних, що використовуються при створенні моделі.

У підсумку, використання 3D Max для моделювання поведінки компоненту палива в баках космічних літальних апаратів є перспективним напрямом. Цей програмний продукт дозволяє створювати деталізовані тривимірні моделі баків з високою точністю, анімувати рух палива і візуалізувати результати моделювання у реальному часі. Це забезпечує можливість детального аналізу і оптимізації системи паливних баків на етапі проектування і експлуатації космічного апарату.

Крім того, використання 3D Max у поєднанні з іншими програмними засобами та модулями може дозволити інженерам проводити комплексні симуляції і враховувати додаткові фактори, такі як температурні зміни, взаємодія з іншими системами космічного апарату, тиск тощо. Це дозволяє отримати більш повну і точну картину поведінки компоненту палива в реальних умовах.

У майбутньому, з розвитком технологій і удосконаленням програмних засобів, можна очікувати подальшого розширення можливостей 3D Max у моделюванні поведінки компоненту палива в баках космічних літальних апаратів. Завдяки швидкому росту в області комп'ютерної графіки і симуляцій, можливо виникнення нових інструментів, які забезпечать ще більшу точність і реалістичність моделей, а також дозволять враховувати більшу кількість фізичних взаємодій та ефектів, які впливають на поведінку палива в космічних баках.

Зростаюча потужність обчислювальних систем і розвиток хмарних технологій можуть відкрити нові можливості для використання 3D Max у моделюванні поведінки компоненту палива. Масштабні обчислення та розподілені обчислювання дозволять обробляти великі обсяги даних і виконувати більш складні симуляції, що підвищить рівень деталізації та точність моделей.

Інтеграція 3D Max з іншими програмними засобами та системами управління може забезпечити більш ефективний процес моделювання та аналізу поведінки палива в баках.

Отже, перспективи використання 3D Max у моделюванні поведінки компоненту палива в баках космічних літальних апаратів є досить обіцяючими. Цей графічний редактор надає можливість створювати деталізовані тривимірні моделі, анімувати рух палива та візуалізувати результати моделювання у реальному часі. З його допомогою

інженери можуть отримувати більш точну і повну інформацію про поведінку палива в космічних баках, що сприятиме розвитку космічних систем та покращенню безпеки і ефективності їх функціонування.

Однак, важливо враховувати деякі потенційні виклики та обмеження при використанні 3D Max для моделювання поведінки компоненту палива в баках. По-перше, це складність створення точних фізичних моделей, яка вимагає глибоких знань і розуміння фізики руху рідин та взаємодії з оточуючим середовищем. Також, обробка великих обсягів даних та складні обчислення можуть вимагати потужних обчислювальних ресурсів і тривалого часу.

До інших можливих викликів належить необхідність точних початкових даних для моделювання. Неправильні або неточні дані можуть призводити до недостовірних результатів моделювання.

Висновок

Використання 3D Max не замінює реальних експериментів і перевірок. Хоча програмне забезпечення дозволяє проводити віртуальні симуляції, важливо пам'ятати, що реальна поведінка палива може відрізнятися від модельованої. Тому реальні експерименти та перевірки в реальних умовах залишаються необхідним етапом в процесі розробки та валідації паливних систем.

У підсумку, використання 3D Max для моделювання поведінки компоненту палива в баках космічних літальних апаратів відкриває широкі перспективи для покращення проектування та оптимізації паливних систем.

ПОСИЛАННЯ

1. Колесніченко, О. В. (2020). Моделювання поведінки рідини у баках літальних апаратів з використанням 3D моделей виконаних у пакеті - 3D MAX. У *Наукова конференція за підсумками НДР*. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.
2. Колесніченко, О. В. (2021). Особливості використання стандартних засобів пакету 3D MAX з метою візуалізації поведінки рідин різної щільноті в баках літальних апаратів. У *Наукова конференція за підсумками НДР*. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТАКАН» ЗА УМОВ РІЗНИХ ТИПІВ ВИРОБНИЦТВА

Михайло Селютін

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6016-1033>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Олег Бондаренко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4958-1777>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Вступ

Деталі типу «стакан» мають дуже широке застосування у різноманітних технічних системах. Вони використовуються в конструкціях клапанів різного призначення, корпусів та кришок редукторів, коробок швидкостей, насосів і компресорів. Завдяки своїй універсальності і важливим технічним характеристикам, такі деталі є невід'ємною частиною багатьох механізмів і агрегатів.

Однією з ключових переваг деталей типу «стакан» є можливість виготовлення їх з високоміцніх матеріалів, що дозволяє забезпечити надійність і довговічність роботи механізмів. Особливо важливо це при розташуванні посадочних місць під підшипники. Використання високоміцніх матеріалів для таких посадочних місць дозволяє виготовляти корпусні деталі з легких сплавів, що має кілька важомих переваг. По-перше, це значно знижує загальну масу технічних систем, що є особливо важливим для транспортних засобів різного призначення. Легкі сплави дозволяють зменшити вагу без втрати міцності і надійності, що позитивно впливає на економічність і ефективність експлуатації таких систем. Для літальних апаратів зниження маси є критично важливим аспектом, оскільки це дозволяє зменшити витрати пального і збільшити вантажопідйомність. Легкі і міцні деталі, такі як «стакан», роблять можливим створення конструкцій, що відповідають суворим вимогам авіаційної та космічної промисловості. Також для автомобільної техніки зниження маси є значущим фактором, оскільки це впливає на зниження витрат пального і поліпшення динамічних характеристик транспортних засобів.

Деталі типу «стакан» також важливі для насосів і компресорів, де вони забезпечують необхідну міцність і герметичність з'єднань. В умовах високого тиску і великих навантажень, високоміцні матеріали забезпечують надійну роботу всіх компонентів системи. Крім того,

зменшення маси таких деталей позитивно впливає на загальну вагу обладнання, що робить його більш мобільним і зручним у використанні.

МАТЕРІАЛ

Для виготовлення деталей типу «стакан» можуть бути використані різноманітні матеріали. Серед них, у першу чергу, варто виділити вуглецеві сталі. Вони забезпечують високу міцність і зносостійкість, що робить їх ідеальними для багатьох застосувань. Крім вуглецевих сталей, широко використовуються леговані сталі, які завдяки додатковим елементам у своєму складі мають покращені механічні властивості. Це дозволяє застосовувати їх у більш складних умовах експлуатації, де важлива не лише міцність, але й інші характеристики, такі як жаростійкість чи корозійна стійкість.

Крім сталей, часто використовуються різні марки чавуну. Чавун є економічно вигідним матеріалом, оскільки має добре механічні властивості при відносно низькій вартості. Він широко застосовується в багатьох галузях промисловості завдяки своїй міцності та зносостійкості. Також варто згадати титанові сплави. Вони відомі своєю легкою вагою, що робить їх незамінними в авіаційній і космічній промисловості, а також високою корозійною стійкістю, що дозволяє використовувати їх у агресивних середовищах. Okрім цих матеріалів, для виготовлення деталей типу «стакан» можуть застосовуватися й інші конструкційні матеріали, що підходять для специфічних умов експлуатації. Це можуть бути, наприклад, алюмінієві сплави, нержавіючі сталі та інші спеціалізовані матеріали.

Заготовками для виготовлення деталей типу «стакан» можуть служити різноманітні профілі та поковки. Одним з найпоширеніших типів заготовок є катані та пресовані профілі. Вони відрізняються високою точністю і стабільністю розмірів, що забезпечує якісну подальшу обробку. Крім цього, широко використовуються ковані та штамповані поковки, які мають високу щільність матеріалу і однорідність структури. Це дуже важливо для забезпечення надійності та довговічності деталей в умовах експлуатації. Додатково застосовуються пресовані та спеченні заготовки з порошкових матеріалів. Ці заготовки дозволяють отримати деталі з особливо високими механічними характеристиками, що є важливим для спеціальних застосувань. Виливки, отримані різними способами ліття, також є розповсюдженими заготовками. Вони дозволяють виготовляти деталі складної форми з мінімальними відходами матеріалу, що робить їх економічно вигідними для масового виробництва.

Залежно від умов виробництва, обираються різні типи заготовок. В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва зазвичай використовуються заготовки з катаних і пресованих профілів, кованих поковок та виливків простої форми. Це дозволяє швидко і економічно виготовляти невелику кількість деталей без значних витрат на інструментальне обладнання. Такі заготовки легко піддаються механічній обробці і забезпечують необхідну якість готових виробів.

У випадку середньосерійного, великосерійного та масового виробництва доцільніше використовувати штамповані поковки і виливки, отримані високопродуктивними точними способами ліття. Такі заготовки забезпечують високу точність розмірів і мінімальну потребу в подальшій механічній обробці. Це дозволяє значно знизити виробничі витрати і підвищити продуктивність. Також у таких умовах широко застосовуються порошкові заготовки, які дозволяють досягти високої щільності матеріалу і однорідності його структури. Це особливо важливо для масового виробництва високоякісних деталей, де необхідна висока стабільність характеристик.

Таким чином, вибір матеріалів і типів заготовок для виготовлення деталей типу «стакан» є ключовим етапом у забезпеченні їхніх експлуатаційних характеристик та економічної ефективності виробництва. Враховуючи різноманітність доступних матеріалів і технологій виготовлення заготовок, можна підібрати оптимальні рішення для будь-яких умов експлуатації і типів виробництва. Це дозволяє забезпечити високу якість готових виробів і їхню відповідність вимогам замовників, що є важливим фактором успіху на ринку.

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА

Основний обсяг робіт з формоутворення деталей типу «стакан» здійснюється механічною обробкою. Це означає, що деталі проходять через різноманітні механічні процеси, такі як точіння, фрезерування, свердління та шліфування. При цьому обробляються як зовнішні, так і внутрішні поверхні деталей. Наприклад, обробляються циліндричні та конічні поверхні, торцеві поверхні, зовнішні та внутрішні різьби. Крім того, на зовнішніх та внутрішніх поверхнях можуть бути виконані канавки різного профілю. Особливий інтерес становить обробка торцевих поверхонь, яка може бути виконана різними способами, зокрема на токарних, фрезерних та інших верстатах.

Для виготовлення деталей типу «стакан» використовуються різні типи верстатів в залежності від серійності виробництва. Якщо мова йде про одиничне виробництво, то використовуються універсальні металорізальні верстати. Вони дозволяють виконувати широкий

спектр операцій і підходять для виготовлення невеликої кількості деталей. Для середньосерійного виробництва застосовуються верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Ці верстати дозволяють автоматизувати процес обробки, забезпечуючи високу точність і повторюваність операцій. У випадку великосерійного та масового виробництва використовуються високопродуктивні автомати та напівавтомати, які дозволяють значно підвищити продуктивність та знизити витрати на виробництво.

Організаційно ці верстати можуть бути застосовані як поодинці, так і в складі виробничих дільниць, модулів, автоматичних ліній та гнучких виробничих систем. Наприклад, в рамках виробничого модуля «верстат-робот» можна об'єднати кілька верстатів, які працюватимуть у тісній взаємодії, забезпечуючи високу ефективність виробничого процесу. Це дозволяє зменшити час на переналаштування обладнання і підвищити загальну продуктивність виробництва.

На ринку України присутні верстати як вітчизняного, так і іноземного виробництва. Вітчизняні виробники, такі як ТОВ «Станкін», пропонують широкий асортимент металорізальних верстатів, включаючи токарні багатошпиндельні автомати та напівавтомати, оснащені системами числового програмного управління. Ці верстати відрізняються високою надійністю, точністю та продуктивністю, що робить їх конкурентоспроможними на ринку. Іноземні виробники також пропонують широкий вибір обладнання, що дозволяє задовільнити потреби різних підприємств.

Таким чином, механічна обробка деталей типу «стакан» є складним і багатогранним процесом, який вимагає використання різноманітних технологій та обладнання. Вибір конкретних методів і засобів обробки залежить від багатьох факторів, включаючи серійність виробництва, вимоги до точності та якості поверхні, а також економічні міркування. У сучасних умовах, коли ринок вимагає все більшої гнучкості та ефективності, використання сучасних верстатів і технологій стає ключовим фактором успіху в виробництві деталей типу «стакан».

Механічна обробка деталей типу «стакан» включає в себе різні етапи і процеси. На першому етапі зазвичай здійснюється груба обробка, яка включає видалення більшої частини матеріалу для надання деталі загальної форми. Потім виконується чистова обробка, яка забезпечує точні розміри і високу якість поверхні. Це може включати точіння, фрезерування, свердління та шліфування. Обробка може бути виконана як на універсальних верстатах, так і на спеціалізованих автоматах і напівавтоматах, в залежності від вимог до точності і серійності виробництва.

Використання сучасних верстатів з числовим програмним управлінням дозволяє значно підвищити ефективність обробки і забезпечити високу точність виготовлення деталей. Такі верстати можуть автоматично виконувати складні операції, зменшуючи час на переналаштування і підвищуючи продуктивність. Це особливо важливо при великосерійному і масовому виробництві, де важлива кожна секунда виробничого часу. Високопродуктивні автомати і напівавтомати дозволяють знизити витрати на виробництво і підвищити рентабельність виготовлення деталей.

На сучасному ринку існує велика кількість різноманітних верстатів, які дозволяють задовольнити потреби будь-якого виробництва. Вибір обладнання залежить від багатьох факторів, включаючи обсяги виробництва, вимоги до точності і якості обробки, а також економічні міркування. Вітчизняні і іноземні виробники пропонують широкий асортимент верстатів, які відрізняються за характеристиками, ціною і функціональними можливостями. Це дозволяє кожному підприємству знайти оптимальне рішення для своїх потреб.

ЛАЗЕРНА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

В разі необхідності деталі типу «стакан» можуть бути піддані різним видам термічної та хіміко-термічної обробки. Це можуть бути як звичайні методи термічної обробки, так і більш складні процеси, наприклад, самопідтримуючий високотемпературний синтез. Кожен з цих методів має свої особливості та переваги, і вибір конкретного способу обробки залежить від вимог до кінцевого виробу. Крім того, на поверхню деталей можуть наноситися різноманітні покриття. Це можуть бути електролітичні, плазмові, лакофарбові, металополімерні та інші покриття, які надають деталям додаткові властивості, такі як підвищена зносостійкість або корозійна стійкість.

Дуже ефективним методом термічної обробки, особливо для сталевих деталей, є лазерна обробка. Лазерна обробка дозволяє здійснювати термічне зміцнення поверхні деталей з високою точністю і ефективністю. Залежно від режиму обробки та вимог до оброблюваної поверхні, лазерна обробка може здійснюватися з оплавленням або без оплавлення поверхні. Це дає можливість значно розширити діапазон застосування даного методу і забезпечити необхідні властивості поверхні деталей. Вибір способу зміцнення залежить від конструктивних особливостей конкретної деталі та її окремих поверхонь.

Найголовнішими особливостями лазерної термічної обробки є поверхневе, а не об'ємне нагрівання та швидкісний характер нагрівання. Цей метод відрізняється від інших методів поверхневого

зміцнення тим, що забезпечує високу концентрацію енергії в невеликій зоні нагрівання. Концентрація енергії в зоні нагрівання може становити від 10^4 Вт/см 2 до 10^9 Вт/см 2 . Швидкість нагрівання і охолодження також дуже висока і знаходитьться в межах від 10^6 К/с до 10^8 К/с. Це дозволяє проводити загартування на повітрі без використання спеціальних охолоджуючих середовищ. Завдяки високій концентрації енергії і великій швидкості нагрівання та охолодження, обробка торкається лише поверхневої частини матеріалу, без нагрівання всього об'єму деталі. Це забезпечує збереження структури і властивостей основного об'єму матеріалу деталі, що є важливим для мінімізації жолоблення деталей. Для таких сталей, як сталь 45, це дуже важливо, оскільки вони мають високу чутливість до режиму термічної обробки і схильність до жолоблення.

Для здійснення лазерної термічної обробки найчастіше використовуються оптоволоконні лазери та лазери неперервної дії на вуглеводневому газі (CO_2). Ці типи лазерів забезпечують високу ефективність обробки і дозволяють досягти необхідних результатів з мінімальними витратами. Особливо цінним є те, що лазерна обробка дозволяє зміцнювати внутрішні поверхні деталей типу «стакан», які важко зміцнити іншими способами термічної обробки, наприклад, загартуванням струмом високої частоти.

Таким чином, сучасні машинобудівні підприємства мають широкі можливості для виготовлення деталей типу «стакан». Вони можуть використовувати різні методи термічної та хіміко-термічної обробки, а також різноманітні покриття, що дозволяє досягти високої якості виробів та відповідати вимогам різних типів виробництва. Завдяки впровадженню сучасних технологій, таких як лазерна обробка, можна значно підвищити ефективність виробництва та забезпечити високу точність і надійність готових виробів.

Посилання

1. Боженко, Л. (1996). Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Навчальний посібник. "Світ".
2. Руденко П.(1993). Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Навчальний посібник. «Вища школа».
3. Бочков М. (2000). Обладнання автоматизованого виробництва. Навчальний посібник «Львівська політехніка».
4. Черненко В. (2008). Променеві методи обробки. Навчальний посібник. «Кондор».
5. Головна - STANKIN. (б. д.). STANKIN. <https://stankin.com.ua>

УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ І РАКЕТ ПРИ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ НА МІЦНІСТЬ І ЖОРСТКІСТЬ

Володимир Дудніков

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7115-7086>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Валерій Ігнаткін

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3332-1105>

Міжрегіональна академія управління персоналом: Прикарпатський інститут
імені Михайла Грушевського, Трускавець, Україна

Вступ

Процес проектування та створення літальних апаратів і ракет складається із складного комплексу розрахункових та експериментальних досліджень. Необхідність обґрунтування міцності конструкції є одним із ключових завдань під час проведення сертифікації та введення в експлуатацію. Незважаючи на стрімкий розвиток розрахункових методів та зростання обчислювальних потужностей сучасних комп'ютерів, віртуальне моделювання навантаження не здатне передбачити всі особливості поведінки конструкції. Тому остаточним етапом у ході підготовки висновку про льотну придатність є повномасштабні статичні випробування дослідного зразка апарату. Досвідчені зразки виробів є дорогими, які ремонт займає тривалий час. Тому випробування є відповідальним процесом не лише з погляду моделювання реальних умов експлуатації, але й точності дотримання методології проведення експерименту, ризик здійснення помилки має бути зведений до мінімуму.

Одне з найважливіших завдань у тому, щоб запобігти передчасне незаплановане руйнація конструкції. Тому особливо важливим є постійний аналіз даних, що отримуються в ході експерименту, а також їх зіставлення з розрахунковою моделлю. При проектуванні застосовується розрахунково-експериментальний метод відпрацювання міцності, в основі якого лежить принцип тісного взаємозв'язку розрахункових та експериментальних технологій.

Для супроводу експериментальних досліджень готується розрахункова модель, де проводиться віртуальне моделювання майбутніх випробувань. При цьому виявляються найбільш навантажені області конструкції, а також критичні за міцністю та стійкістю елементи. Далі

відбувається складання та налагодження випробувального стенду, проводяться попередні навантаження конструкції, повірюється контрольно-вимірювальне обладнання, налагоджуються системи управління експериментом. Випробування здійснюються поетапно, від найменш небезпечних з погляду ризику руйнування виробу випадків навантаження до найбільш критичних. При цьому на всіх стадіях експериментального відпрацювання міцності конструкції необхідно безперервно контролювати її стан, щоб унеможливити виникнення передчасних руйнувань. За результатами випробувань проводиться аналіз даних, виконується валідація створених раніше розрахункових моделей. Удосконалена математична модель використовується щодо віртуального моделювання наступних випадків навантаження, надаючи цим достовірні дані. Таким чином, розрахунково-експериментальний підхід є безперервним і взаємопов'язаним процесом відпрацювання міцності.

ЦІЛЬ І ЗАДАЧА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробити конструкцію універсального стенду для статичних випробувань на міцність і жорсткість оболонкових конструкцій натурних відсіків літальних апаратів і ракет.

ОСНОВНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ

Відомий універсальний стенд, що імітує випадок вантаження сучасних відсіків ракет [1, с. 283-284]. Схема містить чотири гідроциліндри, один з яких розташований усередині відсіку по його осі і створює стискаюче зусилля, два інших розташовані за межами відсіку, консольно закріпленого на силовій залізобетонній підлозі, і прикріплені зустрічно одним кінцем до верхнього торця відсіку через технологічне кільце, створюючи пару сил, що вигинає відсік в площині їх розташування. У цій же площині розташований четвертий гідроциліндр, що створює перерізальну силу.

Оскільки гідроциліндри зазвичай експлуатують в режимі витягування штоків (для виключення втрати стійкості штоків і зростання опору їх переміщенню), то на цьому стенді неможливе реверсування (zmіна напряму) створюваного гідроциліндрами зусилля. Гідроциліндр, що створює стискаюче зусилля, не може бути розташований усередині бакового відсіку.

Відома також установка для комбінованого навантаження оболонок при випробуваннях на міцність і жорсткість, що містить основу, на якій консольно закріплена оболонка, що випробовується, чотири

навантажуючих пристрой, що шарнірно приєднані до основи та верхнього торця оболонки, розташовуючись при цьому попарно в двох пересічних площинах, однаково нахилені до основи [2, с. 120, рис. 3]. При усій універсальності такої схеми навантаження вона має наступні істотні недоліки:

– оскільки навантажуючі пристрой встановлені під кутом один до одного і до подовжньої вісі навантажуваної оболонки, то має місце не ефективне використання їх потужності. Дійсно, при куті між навантажуючими пристроями в 90° на розтягування-стискування оболонки передається тільки 70 % зусилля, що розвивається ними;

– в процесі створення того або іншого виду навантаження, навіть простого, постійно беруть участь усі чотири навантажуючі пристрой, від яких потрібно строга синхронність спрацьування в часі. При чутливому зворотному зв'язку по зусиллю за рахунок взаємовпливу навантажуючих пристроя, особливо при електромеханічному варіанті їх виконання і жорсткій навантажуваній оболонці, система управління не встигає відстежувати програму навантаження, з'являється перерегулювання і автоколивання;

– схема навантаження забезпечує тільки постійне співвідношення між силовими чинниками при комбінованому навантаженні, що визначається первинними кутами між навантажуючими пристроями та оболонкою; зміна цього співвідношення під час навантаження неможлива, для цього необхідно міняти кути в процесі монтажу при підготовці випробувань. Це звужує технологічні можливості при імітації реальних умов навантаження конструкцій;

– установка не дозволяє робити комбіноване навантаження послідовно в часі. Наприклад, після розтягування не можна робити кручення, вигин, оскільки при цьому два з чотирьох навантажуючих пристроя повинні змінити напрям зусилля, що розвивається, на протилежне, що можливо тільки після розвантаження від первинного зусилля, при цьому первинна величина розтягування не зберігається. Це не дозволяє імітувати черговість прикладення в часі реальних експлуатаційних навантажень до систем ракет;

– із-за постійного використання чотирьох взаємовпливаючих навантажуючих пристрояв система управління складна та ненадійна;

– у разі виходу з ладу навіть одного навантажуючого пристроя жоден вид простого навантаження не може бути реалізований.

Поставлено задачу підвищення економічності установки внаслідок ефективнішого використання потужності навантажуючих пристрояв і розширення можливостей в реалізації реальних умов навантаження конструкцій за рахунок забезпечення можливості зміни в часі співвідношення між силовими чинниками безпосередньо в ході

комбінованого навантаження, а також спрощення системи управління.

Поставлена задача вирішується тим, що в установці для комбінованого навантаження оболонок при випробуваннях на міцність і жорсткість, що містить основу, на який консольно закріплена оболонка, що випробовується, чотири навантажуючих пристрої, що шарнірно приєднані до основи та верхнього торця оболонки, розташовані при цьому попарно в двох пересічних площинах, однаково нахилені до основи, згідно з корисною моделлю, між основою і оболонкою встановлено переходник, який має нахилену під кутом 45° опорну поверхню під нижній торець оболонки, а площини розташування навантажуючих пристроїв до основи та оболонки розташовані так, що одна пара навантажуючих пристроїв розташована в площині, яка проходить через вісь оболонки, а інша пара - у перпендикулярній площині на рівні верхнього торця оболонки.

Суть технічного рішення пояснюється кресленнями. На рис. 1 показаний зовнішній вигляд установки. На рис. 2 показаний вигляд по стрілці А на рис. 1. На рис. 3 показаний вигляд по стрілці Б на рис. 1.

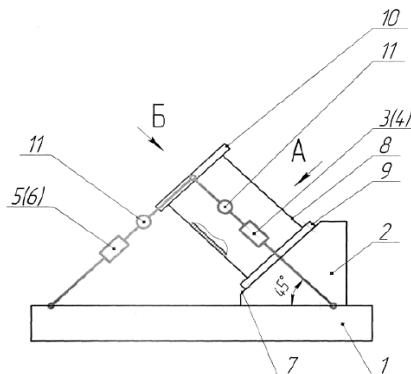


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд установки

Установка містить основу 1, переходник 2, чотири навантажуючих пристрої 3, 4, 5, 6, виконаних, наприклад, у вигляді гіdraulичних або електромеханічних домкратів, керованих 5 дистанційно за допомогою системи управління. Переходник 2 має опорну поверхню 7, нахилену під кутом 45 до основи 1. Оболонка 8 за допомогою технологічного кільця 9 консольно закріплюється на поверхні 7 переходника 2. Навантажуючі пристрої одним кінцем приєднуються шарнірно до основи 1, іншим кінцем до технологічного кільця 10 верхнього торця оболонки. Місця приєднання навантажуючих пристроїв до основи 1 і

оболонці 8 вибрані так, що одна пара 10 навантажуючих пристройів 3, 4 розташовується в площині, що проходить через вісь нахиленої оболонки, а інша пара 5, 6 розташовується в іншій площині, перпендикулярній першій площині, на рівні верхнього торця оболонки.

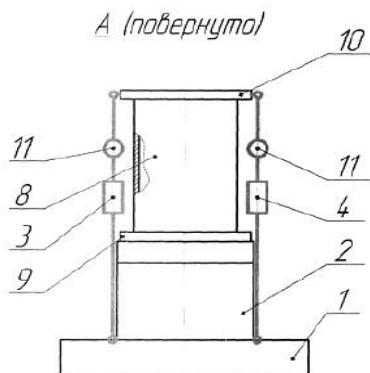


Рисунок 2 - Вид по стрілці А на рис. 1

Таким чином, площини розташування пар навантажуючих пристройів перетинаються між собою під кутом 90° , при цьому кожна з площин утворює з основою 1 кут в 45° . Усі навантажуючі пристройі забезпечені силовимірювальними пристроями 15 11, які використовуються як датчики зворотного зв'язку в системі управління взаємодією навантажуючих пристройів.

Установка працює наступним чином. По команді від системи управління навантажуючі пристройі включаються в роботу в певній послідовності або одночасно, створюючи зусилля того або іншого напряму і величини. Розтягування-стискування оболонки 8 забезпечується синхронним спрацьовуванням навантажуючих пристройів 3, 4, при цьому пристройі 5, 6 не створюють ніяких зусиль і тільки лише відстежують положення оболонки. Для вигину оболонки в площині розташування навантажуючих пристройів 3, 4 останнім задаються протилежні по напряму, але однакові за величиною, зусилля (чи переміщення). Один 25 з навантажуючих пристройів працює на втягування штока, інший - на виштовхування, залежно від напряму вигину.

Для вигину оболонки в перпендикулярному напрямі синхронно на втягуванні або виштовхуванні штоків працюють навантажуючі пристройі 5, 6. Якщо шток пристрою 5 втягується, а шток пристрою 6 виштовхується, то оболонка випробовує закручування. При зміні напряму переміщення штоків навантажуючих пристройів 5, 6 оболонка 8 закручується в інший бік.

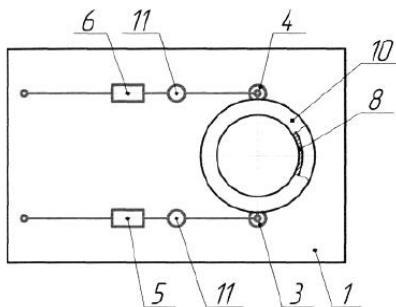
Б (повернуто)

Рисунок 3 – Вид Б на рис. 1

При розузгодженні в широких межах навантажуючих пристройів 5, 6 за величиною і напрямом зусилля, що розвивається, оболонка випробовуватиме спільну дію вигину і кручення в ту або іншу сторону. При зміні співвідношення між величинами і напрямом зусиль пристройів 3, 4 оболонка випробовуватиме позацентрове розтягування-стискування або спільну дію розтягування-стискування і вигину в ту або іншу сторону. Одночасна дія навантажуючих пристройів 3, 4, 5, 6 забезпечує таке комбіноване вантаження як розтягування-стискування з крученням і вигином в двох взаємно перпендикулярних площинах.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Комбіновані види навантаження можуть бути здійснені в двох незалежних етапах навантаження зі збереженням величини і напряму попереднього знаку або одночасно. Оскільки чотири навантажуючі пристройі розбиті на дві пари, розташовані в двох взаємно перпендикулярних площинах, то ці пари можуть працювати незалежно один від одного. Це дозволяє зменшити взаємний вплив пристройів на роботу один одного. Таким чином це спрощує програму і систему управління ними. Зменшується вірогідність перерегулювання і автоколивань, що дає можливість підвищити точність датчиків зворотного зв'язку системи управління.

Комбіноване навантаження конструкції може здійснюватися шляхом послідовних в часі етапів простих вантажень. Незалежність роботи пар навантажуючих пристройів дозволяє безпосередньо в процесі навантаження міняти в широких межах співвідношення між

силовими чинниками комбінованого навантаження. Усе це разом дає можливість точніше імітувати в процесі випробувань черговість прикладення в часі реальних експлуатаційних навантажень.

Відмітною особливістю такої установки є можливість проведення усіх вказаних простих і комбінованих навантажень послідовно в часі на одній і тій же оболонці без перемонтажу установки. Установка дозволяє проводити випробування по одному з простих видів навантаження (роздягування - стискування, кручення, вигин) навіть у разі виходу з ладу одного або двох навантажуючих пристройів шляхом швидкої їх заміни з перпендикулярної пари, значно підвищуючи ремонтноспроможність і надійність установки, економить час і засоби на підготовку випробувань.

Висновки

Ефективність розглянутої установки полягає в можливості на одній і тій же матеріальній частині проімітувати послідовно в часі різні розрахункові випадки експлуатаційного навантаження. Це, з одного боку, підвищує достовірність отриманої експериментальної інформації про напруженено-деформований стан оболонкової конструкції і, з іншого боку, зменшує кількість виробів, що використовуються для експериментальної відробітки міцності і надійності, що зберігає матеріальні і фінансові засоби.

Посилання

1. Грабин, Б. В., Давыдов, В. И., & Жихарев, В. И. (1991) Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов.
2. Ганенко, Б. И., & Аверин, Л. В. (1985) Система управления электромеханическими силовозбудителями. Расчет, конструирование и испытание машин в экстремальных условиях, 112-121.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ АРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ FDM 3D-ДРУКУ

Максим Сіренко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0417-2661>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олена Карпович

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-5822>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Використання деталей, отриманих методами адитивного виробництва, а саме – FDM 3D-друком, набуває все більшого поширення. В авіаційній та космічній галузі переваги адитивного виробництва полягають у можливості як дешевої ітеративної розробки та прототипування, так і виробництва готових виробів без потреби створення спеціального устаткування, особливо для одиничних деталей. Так само, FDM 3D-друк може використовуватися для вироблення оснащення та устаткування. В авіа- та ракетобудуванні можливо виготовляти методами 3D-друку такі деталі, які не мають значного температурного навантаження та у випадках, коли деталі з традиційних металевих чи композиційних матеріалів використовувати недоцільно через їх недонаvantаженність відповідно до розрахунків та технічних умов. Також перевага FDM 3D-друку як способу виробництва у можливості отримання складних форм, через що раціонально об'єднувати декілька деталей однієї складальної одиниці в одну деталь чи спрощувати і полегшувати деталь через оптимізацію топології.

Для підвищення експлуатаційних характеристик виробів можливо використовувати інженерні пластики з більш високими фізико-механічними властивостями чи застосовувати армування. Армування дозволяє, в залежності від способу, посилювати виріб у вибіркових місцях, відповідно до досліджень оптимізації топології, або покращувати експлуатаційні характеристики за рахунок гетерогенності кінцевого матеріалу виробу.

Популярним і ефективним типом армування є використання довгих або неперервних композиційних волокон. Порівнюючи популярні способи армування (рисунок 1), були розглянуті їх переваги і недоліки.

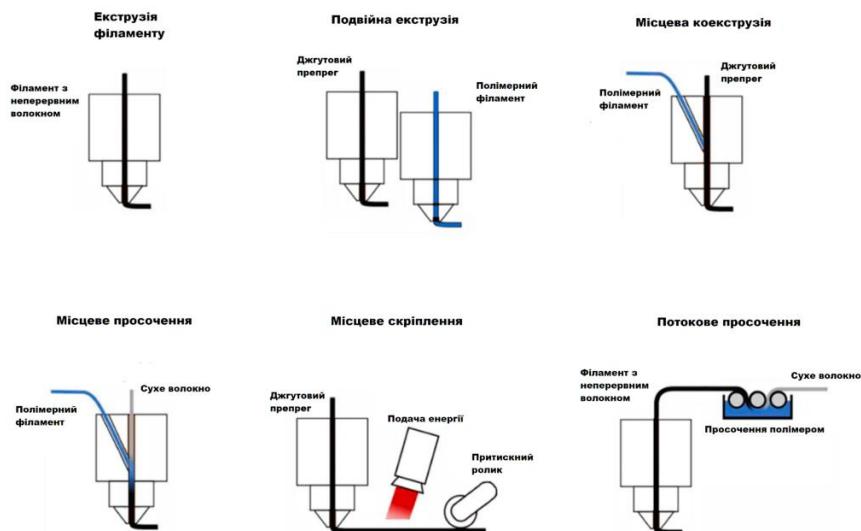


Рисунок 1- Способи армування деталей при FDM 3D-друку

Найбільш поширений спосіб – екструзія філаменту з вмістом полімерного армуючого волокна – має простоту керування процесом друку та потребує мінімальних змін до конструкції 3D-принтеру. Філаменти з домішками армуючих волокон чи гранул доволі широко представлені на ринку. Недоліками способу є неможливість вибіркового армування деталі, неможливість зміни частки волокна чи гранул в процесі друкування.

Спосіб подвійної екструзії полягає у використанні двох окремих друкувальних головок чи сопел для подавання полімерного філаменту і армуючого підготовленого волокна - препрегу. Це дозволяє проводити вибіркове армування деталі. Проте, складність системи та алгоритму зміни сопла чи друкувальної головки та відсутність неперервності армуючого волокна є недоліками даного способу.

Способи місцевої коекструзії та місцевого просочення полягають у поєднанні полімерного філаменту і композиційного волокна, підготовленого чи у вихідному вигляді, безпосередньо у друкувальній головці. Перевагами цих способів є незалежність швидкості та об'єму подачі обох компонентів і великий вибір філаментів та волокон. Недоліки – складність системи подавання волокна та неможливість повного контролю процесу взаємодії полімеру і волокна, а також відсутність неперервності волокна.

Місцеве скріplення – спосіб, що полягає у друкуванні за

допомогою підготовлених препрегів з полімерної складової та волокна, з'єднання шарів та препрегів здійснюється за допомогою зовнішнього джерела енергії та притискового валику. Перевагами є можливість друку деталей великого об'єму та висока щільність кінцевих виробів. Недоліки – низька точність друку, у порівнянні з іншими способами, неможливість вибіркового армування чи зміни частки волокна відносно полімеру в процесі друку.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Мета роботи – вдосконалення та/або розробка нового способу армування для подолання основних недоліків проаналізованих способів армування деталей в процесі FDM 3D-друку. Відповідно до цієї цілі, задачі роботи – розробка схеми і методу армування, та технологічних рішень для пристосування такого способу армування до використання в наявних поширеніх типах FDM 3D-принтерах.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Матеріали дослідження, а саме – полімери (у виді філаменту для FDM 3D-друку) та композиційні волокна, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості матеріалів

Матеріал	Міцність на розтяг, МПа	Відносне подовження, %	Модуль пружності, МПа	Ударна в'язкість по Шарпі, Дж/м ²	Температура експлуатації, °C
PLA пластик	50	15	2300	1020	-10 - +50
coPET пластик	50	24	1920	1100	-20 - +80
Базальтове волокно	3700	3	8500×103	-	-260 - +500

РЕЗУЛЬТАТИ

В рамках дослідження було запропоновано армування деталей в процесі друкування за допомогою викладання ниток композиційного волокна між шарами під час друку. Після друкування кожного шару волокно накладається на надрукований шар, з заданим кроком та розташуванням ниток та з натягуванням, що забезпечується закріплennям кінців волокна перед початком друку першого шару деталі. Після накладання волокна відбувається друк наступного шару. Після

задркування кожного шару волокна, набір композиційних ниток перегортается на 180° і фіксується, з збереженням положення ниток та натягу. Обрізання волокна не допускається. Процес перегортання волокна продовжується впродовж усього друку деталі, після кожного шару або з певним кроком шарів. Армування можливе як в одному напрямку, так і в двох, під кутами що задаються конструкцією технологічного обладнання. Загальна спрощена методика армування наведена на рисунку 2.

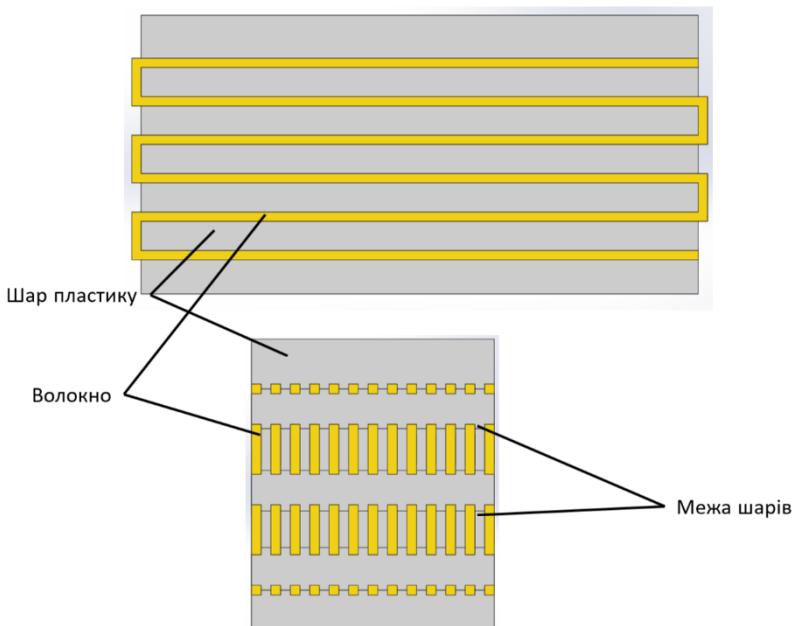


Рисунок 2 – Схема армування накладанням волокна

Також, для пристосування такого способу армування було розроблено обладнання для встановлення на FDM 3D-принтер з кінематикою типу Delta. Обладнання дозволяє утримувати кінці волокна на рамі, що закріплюється до друкувального столу принтера, а рухома частина може фіксуватися в одному з двох положень, що забезпечує перегортання набору ниток на 180° . Також, обладнання забезпечує утримання волокна в заданій позиції з заданим кроком. CAD-модель обладнання в позиції початкового шару зображена на рисунку 3.

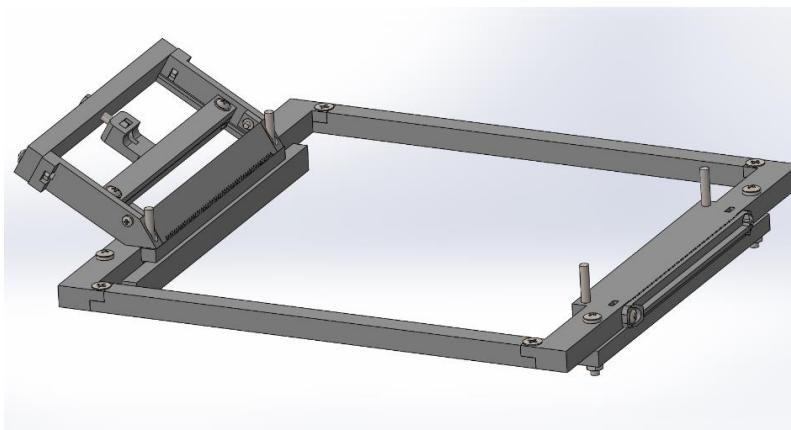


Рисунок 3 – Модель технологічного обладнання

Висновки

За результатами досліджень:

- Було запропоновано спосіб армування деталей при друку для FDM 3D-принтера, який забезпечує неперервність волокна армування та забезпечує можливість абсолютної орієнтації та контролю положення армувальної нитки по кожному окремому треку,
- Для виконання способу було розроблено технологічне обладнання для встановлення на принтер.

ПОСИЛАННЯ

1. Nehls, G. (2023, January 27) Weber State applies composite-based 3D printing for aerospace support, research. *CompositesWorld*. <https://www.compositesworld.com/news/weber-state-applies-composite-based-3d-printing-for-aerospace-support-research>
2. Mason, H., & Gardiner, G. (2022, July 13) 3D printing with continuous fiber: A landscape. *CompositesWorld*. <https://www.compositesworld.com/articles/3d-printing-with-continuous-fiber-a-landscape>
3. Mashayekhi, F., Bardon, J., Berthé, V., Perrin, H., Westermann, S., & Addiego, F. (2021). Fused Filament Fabrication of Polymers and Continuous Fiber-Reinforced Polymer Composites: Advances in Structure Optimization and Health Monitoring. *Polymers*, 13(5), 789. <https://doi.org/10.3390/polym13050789>

Розробка фізичної та математичної моделі потоків газу в потрійному коаксіальному соплі

Олена Карпович

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-5822>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Євген Каракаш

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3833-2396>

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Денис Жумар

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0381-7114>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олександр Таран

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3744-9155>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Основною тенденцією сучасних машинобудівних підприємств є скорочення часу виробництва від створення комп'ютерної моделі до отримання тривимірного металевого функціонального виробу за рахунок підвищення продуктивності процесу вирошування деталей. Методи вирошування заготовок за допомогою лазерного випромінювання, порівняно з традиційними, мають такі переваги:

- мінімальне теплове вкладення в матеріал, що дозволяє отримати високі фізико-механічні властивості готового виробу;
- малі припуски на механічну обробку;
- виготовлення об'єктів з декількох матеріалів з пошаровою зміною складу;
- виготовлення об'єктів високої складності геометрії, включаючи піднутрення, приховані порожнини;
- висока автоматизація процесу, що знижує вплив людського фактору та дозволяє отримати високу відтворюваність траєкторії обробки при вирошуванні об'єктів [1].

Метод коаксіальної лазерної обробки порошкових матеріалів є високопродуктивним та відбувається у захисній атмосфері. За допомогою захисного газу коаксіально з лазерним променем в зону обробки подається порошковий матеріал. У зоні їхньої взаємодії виникає валік нанесеного металу. Таким чином, переміщуючи промінь

заданою траєкторією шару, вирощується заготовка майбутньої деталі.

На продуктивність процесу, окрім потужності лазерного випромінювання, впливає ще один параметр – ефективність подачі порошкового матеріалу. Коаксіальна подача присадного матеріалу (рис. 1) дозволяє отримати максимально «гострий» розподіл порошкових частинок, завдяки чому застосовується для обробки променями діаметром менше 1 мм з високим коефіцієнтом використання порошку [1].



Рисунок 1 – Коаксіальна подача порошку

Проведено багато теоретичних та експериментальних досліджень потоків газу з частинками в коаксіальному соплі при лазерному наплавленні. Результати досліджень показали, що потік частинок в діо променю має форму внутрішнього конуса (рис. 2), кут якого відповідає куту розташування каналів в коаксіальному соплі. Швидкість частинок складає 1,5...2 м/с [1].

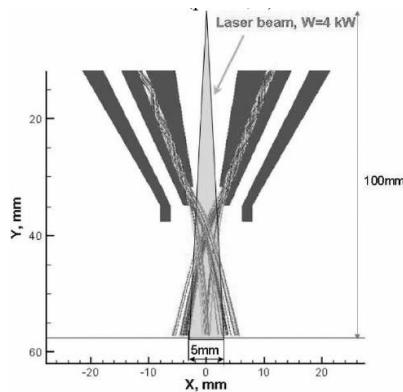


Рисунок 2 – Потік частинок в області дії променю

Потоки захисного газу формують форму і структуру конуса частинок таким чином, що зі збільшенням витрати осьового потоку захисного газу всередині потоку частинок утворюється циліндрична порожнина, крім того, газ динамічно впливає на ванну розплавленого металу, і наплавлений валик буде формуватися тільки по краях потоку, з западиною по середині, що призведе до виникнення несплавлення шарів у матеріалі. Зовнішній захисний потік газу стискатиме потік частинок і при перевищенні деякого критичного значення може перекрити його зі зміщенням фокусу від поверхні наплавлення.

У зв'язку з цим потоки транспортуючого та захисних газів повинні подаватися в зону обробки у певному співвідношенні для отримання наплавленого металу з мінімальною кількістю дефектів. При цьому необхідно забезпечити подачу захисного газу з величиною витрати, що забезпечує захист наплавленого металу до моменту його кристалізації.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Метою даного дослідження є визначення параметрів потоків газів у потрійному коаксіальному соплі та геометричних параметрів захищеної зони на поверхні для заданих умов наплавлення.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Модель потрійного коаксіального сопла виконана у програмному комплексі SolidWorks (рис. 3). Геометричні параметри приймалися згідно з літературними даними для такого типу сопел.

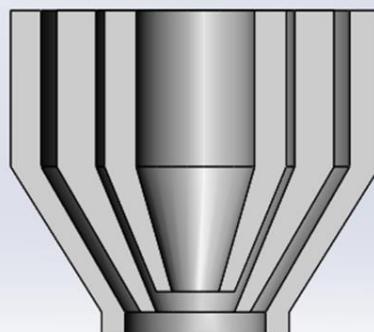


Рисунок 3 – Геометрична модель сопла

Як вихідні дані були прийняті такі масові витрати в каналах:

- осевий потік – $Q_1 = 0,11 \cdot 10^{-3}$ кг/с;
- транспортувальний потік – $Q_2 = 0,16 \cdot 10^{-3}$ кг/с;
- захисний зовнішній потік – $Q_3 = 0,54 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Моделювання течії газу у каналах сопла виконувалося у програмному комплексі Ansys. На основі моделі сопла було визначено розрахункову зону та сформовано канали для визначення поверхонь входу та выходу газового потоку (рис. 4).

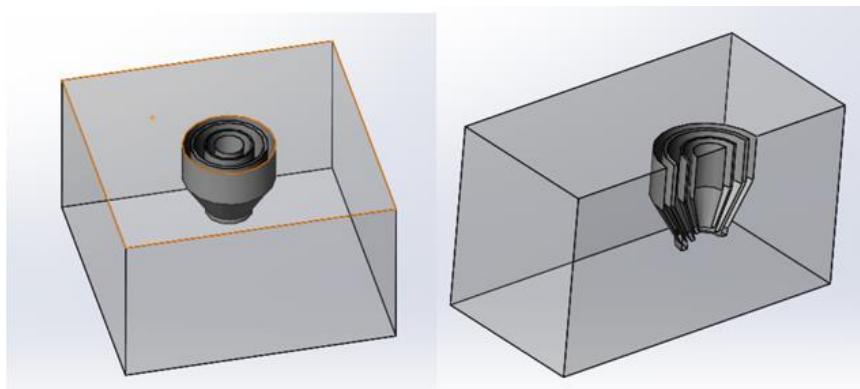


Рисунок 4 – Геометрична модель сопла:
а – канали і розрахункова зона; б – осьовий перетин

Задача вирішувалася з такими припущеннями:

1. Вирішення задачі виконується у 3D постановці з обмеженням Symmetry.
2. Розглядається дозвуковий потік газів з урахуванням нестационарних процесів.
3. Модель турбулентності - Standard k-e; текуча середовище - газ аргон.

РЕЗУЛЬТАТИ

В результаті розрахунку було визначено швидкість потоків у каналах, лінії струму, розподіл тисків та густин у розрахунковій області (рис. 5 – 8).

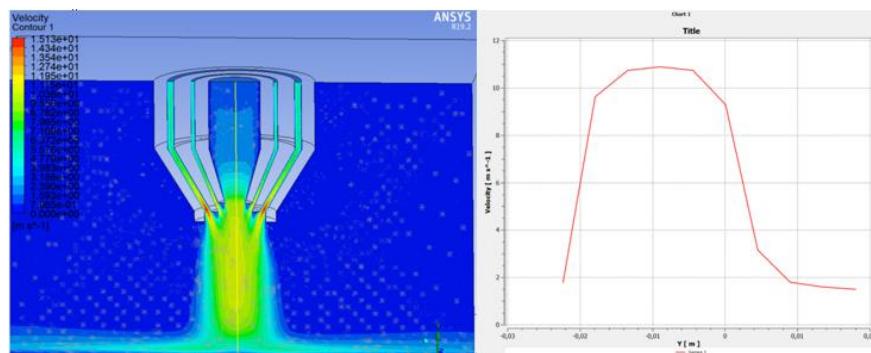


Рисунок 5 – Картина швидкостей: а – картина швидкостей у каналах; б – швидкість потоку по осі в центральному каналі

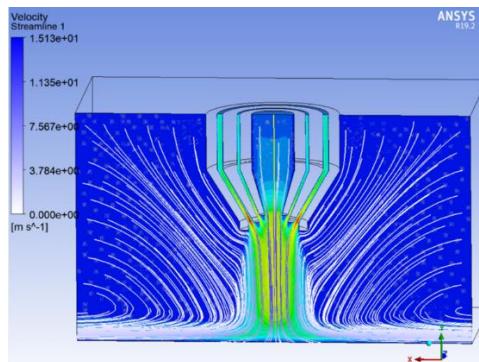


Рисунок 6 – Лінії потоку в розрахунковій області

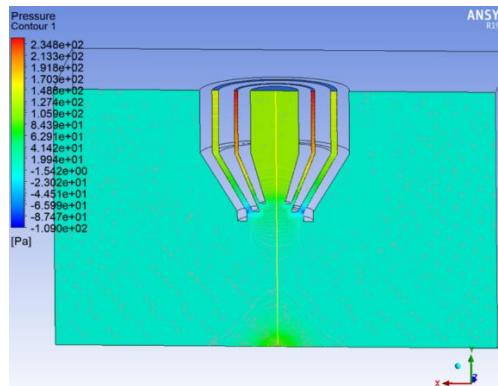


Рисунок 7 – Розподіл тиску в розрахунковій галузі

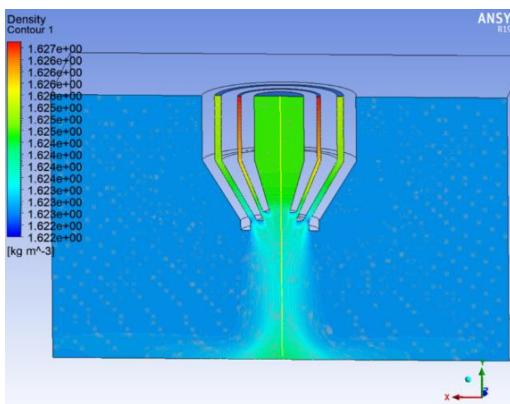


Рисунок 8 – Розподіл щільності у розрахунковій області

Висновки

На основі проведених розрахунків можна зробити такі висновки:

1. Швидкості потоків у середній частині області течії вирівнюються. У центральній частині швидкість потоку досягає 12 м/с, до периферії швидкість знижується до 4 м/с.

2. Розміри захищеної області потоком газу на поверхні, становить не більше одного діаметра вихідного перерізу від осі сопла, тобто розмір захищеної області дорівнює $2d_{\text{сопла}}$.

ПОСИЛАННЯ

1. Sebastian, J. S. G. N. J., Nuñez, G., Perilla, D. A. R., de los Rios, G. A. B., & Coelho, R. T. (2021). Numerical and Experimental Analysis of Gas Flow in a Coaxial Nozzle Applied to Directed Energy Deposition (DED). *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, 6(3), 102-113. <https://doi.org/10.26776/ijemm.06.03.2021.0>

ІНФОРМАЦІЙНО-МАТЕМАТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МАРОК СТАЛЕЙ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПРИКЛАДНІЙ МЕХАНІЦІ

Олег Юшкевич

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-8424>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Валерій Ігнаткін

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3332-1105>

Прикарпатський інститут ім. Грушевського ПрАТ «ВНЗ Міжрегіональна Академія управління персоналом», Трускавець, Україна

Вступ

В роботі [1] було розглянуто виявлення на промислових підприємствах марок сталей, близьких за механічними властивостями, тобто двійників та взаємо-замінників. Розглянута можливість об'єднання сталей в нетрадиційні групи та підвищення спеціалізованості класів сталей; упорядкування марочного сортаменту металопрокату за різними критеріями.

Для потреб машинобудівної промисловості часто виплавляють сталі різних марок, рівноцінні за механічними властивостями, але різні по призначенню і собівартості свого виробництва. Тому з'являється необхідність розробки універсальних класифікаційних ознак, за якими можна об'єднувати сталі в групи і в них далі знаходити дуже близькі за властивостями. Таки сталі двійники можуть бути взаємо-замінниками при розробці різних конструктивних елементів пристрій прикладної механіки аерокосмічної техніки.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Розробити показник ємності технічної інформації марок сталей, що мають різне призначення і виробляються, обробляються різними способами та представляються сукупністю одержаних механічних властивостей.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Аналізу піддавалась реальна номенклатура сталей [1]: 1) вуглецевих звичайної якості (Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст5пс, Ст5сп та інш.); 2) якісних вуглецевих (10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50); 3) легованих (20Х, 35Х, 45Х, 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 14Г2, 19Г2, 50Г, 10ХСНД,

15ХСНД, 10ХНДП, 14Г2АФ, 15Г2А та інш.). Відібрані характеристики сталей для металовиробів узагальнювали у вигляді таблиць, які мають наступну структуру колонок: марка стали; завод-виробник; профіль перерізу металопрокату; типорозміри; характерний розмір; σ_v ; σ_t ; δ ; ψ ; КСУ; Секв.; σ_v / σ_t ; δ / σ_v та інш. Дані про механічні властивості металопрокату були одержані з 9 підприємств України (Алчевський МК, "Запоріжсталь", М3 ім. Петровського, Єнакіївський М3, Дніпровський МК ім. Дзержинського, Криворізький МК, Донецький М3, Макіївський М3, АТ "Дніпропротсталь").

Теоретичні математичні залежності виводились на базі роботи [1], формул комбінаторики та теорії інформації.

РЕЗУЛЬТАТИ

Виходячи з того, що викладено в роботах [1, 2, 3, 4, 5], марка сталі як інформаційний об'єкт може бути представлена системою позначень

$$T_v M_{mfcpn}, \quad (1)$$

з цього виходе, що сталь заданого хімічного складу можна позначити аналогічно

$$T_v S_m(X_s)_{fcptn}, \quad (2)$$

де T – префікс обробки, призначеної згідно з ДСТУ, ТУ або за іншими нормативними документами для сталі;

v – індекс виду обробки: термічної – 1, зміцнюючої – 2 або розміцнюючої – 3 і т. інш.;

M – позначення марок сталей відповідно до ДСТУ, ТУ або іншім нормативним документам;

S – позначення сталей в необробленому стані;

m – індекс (умовний порядковий номер) марки сталі;

f – умовний індекс підприємства;

c – індекс стану металу: лите, холоднодеформоване, гаряче-деформоване;

p – індекс геометричного профілю елементу конструкції;

t – індекс розміру профілю, якому також відповідає величина площи поперечного перерізу металевого виробу;

n – індекс цільового призначення;

X_s – вектор фактичного хімічного складу;

s – індекс плавочного хімічного складу сталі, що відповідає номеру в журналі лабораторних випробувань підприємства-виробника або в сертифікаті якості на металопродукцію.

Таким чином, можна ввести наступне визначення.

Визначення. Геометричне представлення у просторах показників і плавочних хімічних складів X_s марок сталей $T_v M_{mfcptn}$, різних виробників f , різного призначення n і стану металу c будемо називати об'єктами інформаційного моделювання $T_v S_m(X_s)_{fcptn}$.

При цьому кожна марка може включати в себе C різних “елементарних” станів сталей. Під елементарним станом будемо розуміти варіант поєднання різних індексів (класифікаційних ознак) інформаційного представлення сталі. Загальна кількість індексів (елементів різних станів)

$$E = V + M + F + C + P + T + N + S. \quad (3)$$

Число станів по признаком m позначимо C_m , за ознакою f дорівнюватиме C_f і т.д. З цього виходить, що число станів сталі

$$C = C_v + C_m + C_f + C_c + C_p + C_t + C_n + C_s. \quad (4)$$

Кількість станів визначається для однієї марки стали, тобто в її межах, таким чином показник m має одне значення. Звідси, для любої марки стали C_m з $m = 1$. Решту станів можна визначити, застосовуючи відому формулу числа комбінацій

$$C_L^l = \frac{l!}{l!(L-l)!}, \quad (5)$$

де l – узагальнений індекс, який може бути рівним v, m, f, c, p, t, n або s ;

L – найбільше число узагальнених індексів, яке може бути рівним V, M, F, C, P, T, N або S .

Таким чином, існує $C!$ [4, 6] варіантів впорядкування C елементарних станів сталей. Тобто $C!$ - це число можливих комбінацій індексів $\{vmfcptns\}$ інформаційного об'єкта для представлення марки сталі або число фактичних варіантів їх комбінації, зафікованих при виробництві сталі у всіх розглянутих виробників f . Однак не всі ці способи перестановки елементарних станів відрізняються один від одного, так як в розглянутих кластерах, що позначаються v, m, f, c, p, t, n або s , можна зустріти сталі марки S' з аналогічним набором механічних властивостей

$$\{\sigma_{vmfcptns}^1, \sigma_{vmfcptns}^2, \dots, \sigma_{vmfcptns}^i, \dots, \sigma_{vmfcptns}^\rho\}, \quad (6)$$

де $\sigma_{vmfcptns}^i$ – позначення механічних властивостей сталі σ з

номером i , означененою сукупністю індексів $\{vmfcptns\}$. Причому

$$\sigma^1 = \sigma_B, \sigma^2 = \sigma_T, \sigma^3 = \delta_5, \sigma^4 = \psi, \sigma^5 = \text{KCU}, \dots \quad (7)$$

Тобто взаємна перестановка двійників сталей всередині кластера не змінить ступінь їх впорядкованості в ряду уподобання елементарних станів всередині марки. Іншими словами, якщо в ансамблі сталей, вироблених на різних підприємствах, і презентуючи одну марку, є фіксоване число станів сталей різних сортів: v ($v \in [I; V]$), m ($m \in [I; M]$), f ($f \in [I; F]$), c ($c \in [I; C]$), p ($p \in [I; P]$), t ($t \in [I; T]$), n ($n \in [I; N]$) або s ($s \in [I; S]$) – з близькими всередині кластерів v, m, f, c, p, t, n або s величинами механічних властивостей тоді існує $C_v!, C_m!, C_f!, C_c!, C_p!, C_t!, C_n!$ або $C_s!$ способів їх упорядкування, які не змінюють ступінь впорядкованості, сталей-об'єктів в складі марки. У зв'язку з цим існують тільки W способів впорядкування елементарних станів сталей, які дійсно відрізняються один від одного в межах марки

$$W = C! / (C_v! C_m! C_f! C_c! C_p! C_t! C_n! C_s!). \quad (7)$$

Параметр W відображає статистичну вагу сталі, і він може бути характеристикою впорядкованості в межах марки сталі або кластера. Однак для оцінки ступеня важливості марки сталі зручніше використовувати інформаційну ентропію Шеннона [7]

$$H = \log_2 W, \quad (8)$$

вимірюєму в бітах.

Беручи до уваги відношення (6), цей вираз набуває вигляду

$$H = \log_2 C! - \sum_l \log_2 C_l!. \quad (9)$$

Розробка нової технології виробництва металовиробів приводить або до кількісних змін в сторону оптимізації характеристик сталі, або до появи додаткових ознак. На кожному етапі обробки сталі також додаються додаткові характеристики. З кожним додаванням нової характеристики буде відбуватися зміна ступеня впорядкування сталей і прирошення ентропії

$$\Delta H = H_{max} - H, \quad (10)$$

де H_{max} – максимальне значення ентропії Шеннона для безлічі невпорядкованих сталей різних варіантів виробництва,

репрезентуючих марку з максимально можливою кількістю індексів (класифікаційних ознак) $\{vmfcptns\}$

$$H_{max} = \log_2 C!, \quad (11)$$

H - ентропія для сталей S з мінімально можливим числом індексів $\{mpt\}$, які визначають початковий стан, який буде змінюватися.

Отже, на кожному етапі обробки буде відбуватися прирощування ентропії. Беручи до уваги (9), (10) і (11), отримуємо приріст

$$\Delta H = \Sigma \log_2 (C_l!), \quad (12)$$

що визначає кількість пов'язаної з маркою сталі інформацією про її змінні стани. Отже, питома величина приросту ентропії після наступного етапу обробки сталі у виробничому циклі або в результаті розробки нової технології

$$E = \Delta H / C = (1/C) \Sigma \log_2 (C_l!), \quad (13)$$

де C - число можливих станів марки сталі. Відношення пов'язаної інформації про стани марки сталі до кількості її статків (станів) можна трактувати як ємність інформаційного об'єкта - сталі, а образ самої сталі як об'єкт інформаційного моделювання. Чим вище упорядкованість всередині марки стали, тим менше можливість зміни інформаційної ємності.

Таким чином, незбалансований розвиток марки сталі призводить до максимізації приросту інформаційної ємності, що ускладнює впорядкування сталей за рахунок збільшення числа ознак в ансамблі.

Отримані математичні вирази дозволяють визначити обсяг інформації, що міститься в інформаційних об'єктах, що визначають марку сталі в просторі ознак.

Практичне застосування розробленого аналітичного опису дає можливість, на базі одержаних математичних залежностей, якісно і кількісно упорядкувати марки сталі, в тому числі при уніфікації сортаменту, що дозволить знизити виробничі витрати і підвищити налагодженість технологічних процесів на виробництві [8].

Висновки

- Представлено математичний опис в підході до оцінки інформативності марок сталей для конструктивних елементів в машинобудуванні.

2. Розроблено метод оцінки ємності інформації, яка містиця в понятті марка сталі, як предмету прикладної механіки.

3. Для підвищення ефективності використання матеріальних ресурсів необхідно поступово проводити науково обґрунтовану класифікацію та уніфікацію марок сталей на основі опису інформаційних особливостей металопродукції.

ПОСИЛАННЯ

1. Юшкевич, О., & Ігнаткін, В. (2023). Обґрунтування аналітичного представлення марок сталей для конструктивних елементів в прикладній механіці. *Виклики та проблеми сучасної науки*, 1, 165-175. <https://cims.fti.dp.ua/article/view/32>
2. Юшкевич, О.П., & Михалёв, А.И. (1999). Информационное моделирование предметной области представления марочного сортамента металлопроката. *Системні технології. Регіональний межзвузівський збірник наукових праць*. (6), 149–153.
3. Юшкевич, О. П., Флоров, В. К., Калиновский, С. К., & Власова, Е. Н. (1999). Концептуальные основы классификации и унификации марочного сортамента металлопроката из конструкционных сталей *Металлургическая и горнорудная промышленность*, (8–9), 412–414.
4. Калиновский, С.К., & Юшкевич, О.П. (2001). Упорядочение марочного сортамента конструкционных сталей методами классификации и унификации. *Металловедение и термическая обработка металлов*, (1), 42 - 50.
5. Михалев, А.И., Юшкевич, О.П., Власова, Е.Н., & Николаев, В.А. (1997). Модель системы автоматизированного проектирования процессов термического упрочнения металлоизделий для машиностроения. *Системные технологии: Автоматизация вспомогательных процессов в машиностроении: Региональный межвузовский сборник научных трудов*, (1), 51-53.
6. Мартинюк, О. М., & Попіна, С. Ю. (2003). Елементи комбінаторики й класичне означення ймовірності. *Тернопіль*, 40 с.
7. Голдман, С. Теорія інформації. (2007). К.: Видавн. інозем. літ., 446 с.
8. Мазур, В. Л., Деркач, Д. А., & Иванов, А.П. (2000). Состояние и перспективы прокатного производства Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность. Научно-технический и производственный журнал: Спецвыпуск*, (8-9), 8-11.

СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ У ПОВОСІННІЙ ЧАСІ (2014 – 2023)

Єгор Лук'яненко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3326-7767>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

У розвинених країнах машинобудування належить до найважливіших галузей промисловості. Розвиток машинобудування – основа науково-технічного прогресу в усіх галузях народного господарства. Розвиток галузі забезпечує конкурентоздатність товарів на ринку, що підвищує рівень економічного розвитку держави. Сучасна економіка України розвивається в складних економічних умовах, які зумовлені падінням обсягів експорту, зміною зовнішніх експортних ринків, низькими цінами на сировину на світових ринках, трансформаційними процесами в економіці. Саме тому, досить актуальним є питанням перспектив розвитку високотехнологічної промисловості яка являється одним з важливих джерел доходів державного бюджету та запоруки економічної і соціальної стабільності нашої держави.

Метою статті є аналіз повоєнного стану машинобудування України, дослідження ролі та місця машинобудівного комплексу серед інших галузей економіки України та визначення подальших тенденцій його розвитку.

Розвиток машинобудівної галузі являється однією з найважливіших напрямків високотехнологічної промисловості, що має визначальну роль для інших галузей виробництва України.

Машинобудування забезпечує обладнання для роботи інших галузей промисловості та впливає на підвищення продуктивності праці, у результаті випуску обладнання та машин, нових приладів, які не поступаються за якістю світовим зразкам, а також впливає на технічне переобладнання виробництва держави, забезпечує основу для найбільш економічного споживання матеріалів, енергії та сировини, що сприяє зниженню енергомісткості та матеріалоємності товарів, а також забезпечує підвищення конкурентоспроможності виробництва. Саме тому проблема формування ефективних тенденцій та передумов розвитку підприємств машинобудування в наш час є досить актуальну, від її вирішення залежить шлях розвитку України в напрямку високотехнологічної промисловості та побудови нової структури економіки.

Аналізу проблем в машинобудуванні незалежної України приділяється увага з боку таких вітчизняних науковців як: Великий Ю. В. [1], Захарова Д. С. [2], Пігуль Н. Г. [3], Нечепуренко Д. С. [4], Прохорова Ю. В. [5], Супрун В. О. [6], Герасимчук В. Г. [7], Шандра В. М. [8], Соколова Л. В. [9]. Проблемами розвитку підприємств машинобудівної галузі України у повоєнний час займається Остапюк Б. Я. [10]. , Васіна А. Ю. [11]. , Чупир О. М. [12]. , Короткий Ю. В. [13]. , Сокотун Г. О. [14].

Ю. Великий аналізує причини кризового стану машинобудівної галузі, Д. Захарова аналізує проблеми машинобудівної галузі та пропонує шляхи підвищення конкурентоспроможності та поліпшення стану підприємств галузі машинобудування, Д. Нечепуренко сформулював концептуальні підходи до оптимізації систем управління підприємствами машинобудування в умовах зміни векторів розвитку економіки України, О. Чупир охарактеризував необхідні напрями дій щодо прискорення розвитку машинобудівного комплексу України. У своїх працях Б. Данилишин та Д. Стеченко зазначають важливість розвитку машинобудування, аналізують проблеми галузі, пропонують шляхи вирішення проблем, що виникають на шляху розвитку машинобудування в цілому. Але зважаючи на динаміку розвитку та виникнення нових проблем, залишаються не вирішенні питання сучасного стану машинобудівної галузі України.

Великий і малий бізнес сучасної України в межах машинобудівного комплексу виконує важливу роль в економічному розвитку країни, її стабільності, оскільки він є не тільки важливим джерелом інвестицій та інновацій, але й виконує важливу функцію забезпечення зайнятості населення. Кількість підприємств машинобудування в повоєнний час Україні, як суб'єктів великого і малого бізнесу збільшувалося в період 2017 – 2021 рр. (табл.1).

Таблиця 1. Кількість підприємств машинобудування в Україні (2014-2023)

Показники	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Кількість підприємств	6479	6865	6602	6682	6969	7178	7538	8266	7023	5862
Суб'єкти великого підприємництва	33	23	19	17	25	28	30	33	27	24
Суб'єкти середнього підприємництва	786	721	718	738	738	745	751	756	727	692
Суб'єкти малого підприємництва	5660	6121	5865	5927	6206	6405	6757	7477	6269	5146

Згідно даних, починаючи з 2016 р. відбувається скорочення кількості підприємств машинобудування, як малого, середнього так і великого підприємництва. В період 2017 – 2021 рр. поступово відбувається підвищення кількості підприємств. З початком

повномасштабної війни, обстрілами всієї території України, з 2022 р. починається різке зменшення кількості підприємств машинобудівної галузі [15]. На розвиток машинобудівного комплексу України протягом 2014–2021 рр. впливала певна сукупність чинників, які найчастіше стримували його, і які продовжують здійснювати свій негативний вплив і на сьогодні. У своїх працях науковець Б. Остапюк вказує, що основними факторами негативного впливу були: економічні кризи, падіння інвестиційних вкладень у виробництво, як промислових підприємств, так і машинобудування, відкриття внутрішнього ринку для зарубіжних підприємств, спад виробництва металургійних підприємств, розрив в функціонуванні єдиного машинобудівного комплексу [10, с. 47].

Дослідниця Васіна А. стверджує, що в останні роки продукцію українського машинобудування як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках істотно потіснили великі зарубіжні корпорації, особливо в наукомісткому секторі. Європейський союз є найбільшим світовим центром машинобудування за загальним валовим випуском продукції, виробництво продукція вітчизняного машинобудування не конкурентоспроможна в порівнянні з зарубіжними лідерами [11, с. 12]. Нauковець Авдей О. вказує що в останні роки спостерігається значна втрата технологічного та кадрового потенціалу, питома вага продукції машинобудування в промисловому виробництві скоротилася більш ніж в два рази, відзначається підвищення собівартості продукції, зниження активності в інноваційно-інвестиційній діяльності та інше [12, с. 32].

У 2014–2021 рр. середні темпи приросту обсягів виробленої продукції машинобудування становили 16,5%, при зростанні середнього обсягу промислового виробництва за цей же період на 7,35%. Отже, машинобудування розвивалося більш вищими темпами, ніж промисловість. В 2022-2023 рр. обсяг виробленої продукції машинобудування становить 14,2% [16].

У 2014–2021 рр. обсяг реалізації машинобудівної продукції поступово зростає, проте на обсяг реалізації промислової продукції машинобудування негативно впливають, насамперед, приховані інфляційні процеси і не завжди виправдане підвищення цін, особливо враховуючи малу трудомісткість продукції та значну матеріало-енергомісткість останньої [10, с. 29], що негативно впливає економічний потенціал машинобудівної галузі та уповільнює їх інноваційну активність.

Обсяги виробництва комп'ютерів, електронної та оптичної продукції в загальній структурі машинобудування в Україні незначні і становлять 6–8%. Завдяки виробництву обладнання зв'язку,

інструментів і обладнання для вимірювання, дослідження та навігації в 2015–2019 рр. у підгрупі спостерігалось пожвавлення. Значна за обсягами група – виробництво електричного устаткування показує зростання як у вартісних так і в відносних даних, її частка зросла на 77,53% від рівня 2014 р. Збільшення в групі виробництв машин і устаткування, не віднесені до інших угруповань відбулось, в основному, завдяки виробництву машин і устаткування загального та спеціального призначення, а також для харчової промисловості сільського і господарства. Важливою тенденцією у підгрупі автотранспортних засобів, причепів і напівпричепів є її стабільне зростання з темпами в 6,2% річних, основне зростання спостерігається у виробництві вузлів, деталей і приладдя для ремонту та обслуговування автотранспортних засобів. Однак, у виробництві повітряних і космічних літальних апаратів, супутнього устаткування та, особливо, виробництві військових транспортних засобів випуск значно збільшився за рахунок внутрішнього попиту [17]. В машинобудівній галузі України поряд зі зростанням обсягу виробництва основних видів продукції спостерігається збільшення фінансових результатів до оподаткування (табл. 2).

Таблиця 2. Фінансові результати підприємств машинобудування до оподаткування за групами виробництва у 2014–2023 рр., млн. грн.

Рік	Машинобудування млн. грн.	Вироб-во комп'ютерів, електронної та оптичної продукції	Вироб-во електротехнічного устаткування	Вироб-во машин і устаткування не віднесені до інших угруповань	Виробництво автотранспортних засобів та інших транспортних засобів
2014	-20501,5	-16,15,1	-4413,1	-3890,9	-10582,4
2015	-12651,7	783,4	-4133,4	-2802,5	-6499,1
2016	1696,2	1701,6	-136,5	1519,1	-1387,8
2017	9770	1817,3	1072,8	1711,9	5168,1
2018	11411,2	2567	4790,9	2023,3	2030,8
2019	15367,4	3355,4	7037,2	3099,8	1875
2020	18153,7	4012,8	8665,1	3853,3	1622,5
2021	21582,1	4168,4	11433,7	4642,8	1337,2
2022	19277,3	3947,1	10443,4	3907,6	979,2
2023	17844,6	3755,6	9572,3	3332	1084,7

Як вказує науковець Шандра В., одним із вагомих негативних факторів впливу на фінансові результати підприємств машинобудування є падіння світових цін на сировинні товари та метал, що привело до скорочення інвестиційних програм металургійних, хімічних та гірничих підприємств, які є основними споживачами продукції важкого

машинобудування [8, с. 6]. Погіршення умов кредитування негативно вплинуло на підприємства машинобудівної галузі, шляхом зменшення доступності коштів для інвестицій в технологічне обладнання підприємств, а також інвестиційні можливості споживачів машинобудівної продукції, що призвело до зменшення попиту на продукцію. Конфлікт з Російською Федерацією, розрив технологічних ланцюгів з підприємствами Криму та Донбасу негативно вплинуло на виробництво продукції підприємств машинобудування. Але це сприяло поживленню деяких сегментів внутрішнього ринку, у тому числі у виробництві товарів оборонного призначення. Так, у 2014 р. збитки підприємств досягли 12651,7 млн грн, а кількість прибуткових підприємств зменшилась до 25,9 %. Такі результати позначились і на фінансових результатах, збиток становив 28602,2 млн. грн. В 2016-2021 рр. спостерігається поліпшення фінансових результатів (1696,2 млн. грн. у 2016 р., 21582,1 млн. грн. – 2021 р.), збільшивши частку прибуткових підприємств із 77,2 % до 77,0 % [15].

З 2022 р. – знову відбувається зменшення фінансових результатів підприємств машинобудування (2023 р. - 17844,6 млн. грн) (табл. 3).

Таблиця 3. Фінансові результати підприємств машинобудування до оподаткування в Україні у 2014–2023 рр., млн. грн.

Рік	Фінансовий результат (сальдо) до оподаткування тис. грн.	Підприємства які одержали прибуток		Підприємства які одержали збитки	
		У % до загальної кількості підприємств	Фінансовий результат тис. грн.	У % до загальної кількості підприємств	Фінансовий результат тис. грн.
2014	-20501470,4	64,7	9841581,5	35,3	30343051,9
2015	-12651659,5	74,1	15950588,7	25,9	28602248,2
2016	1696216,1	77,2	14522377,3	22,8	12826161,2
2017	9770037,8	77,7	18965622,5	22,3	9195584,7
2018	11411150,4	77	22885576,2	23	11474425,8
2019	13537824	77,5	24287594,8	22,5	10749770,8
2020	15298466,5	77,7	25676319,7	22,3	10377853,2
2021	17968335,8	77,9	27974271,4	22,1	10005935,6
2022	15035638,2	70,4	28982548,2	29,6	13946910
2023	12574367,3	63,6	29725297,2	36,4	17150929,9

Як видно із наведених даних, 2016 р. завершили зі збитком 22,8% машинобудівних підприємств України. Найбільш успішною діяльністю підприємств машинобудівного комплексу була у 2021 р., коли загальний фінансовий результат до оподаткування склав 17968,3 млрд грн.

Рівень рентабельності підприємства є одним із найбільш важових показників під час оцінювання ефективності функціонування підприємств, незалежно від сфери їх діяльності.

Протягом 2015–2017 рр. рентабельність машинобудівних підприємств стабільно зростала. Проте у 2018 р. відбувся різкий спад цього показника до 3,3 %. Найвищий рівень рентабельності машинобудівних підприємств в аналізованому періоді був на рівні 10,8 % у 2021 р. З 2021 р., з початком повномасштабної війни в Україні, показники суттєво зменшуються [16].

Науковець Д. Зиз класифікує фактори впливу на підприємства машинобудування, які поділено на фактори появи конкурентоспроможності продукції, фактори збереження набутого рівня конкурентоспроможності та фактори впливу на якісні характеристики продукції машинобудування [17], які зображені на рис. 1.

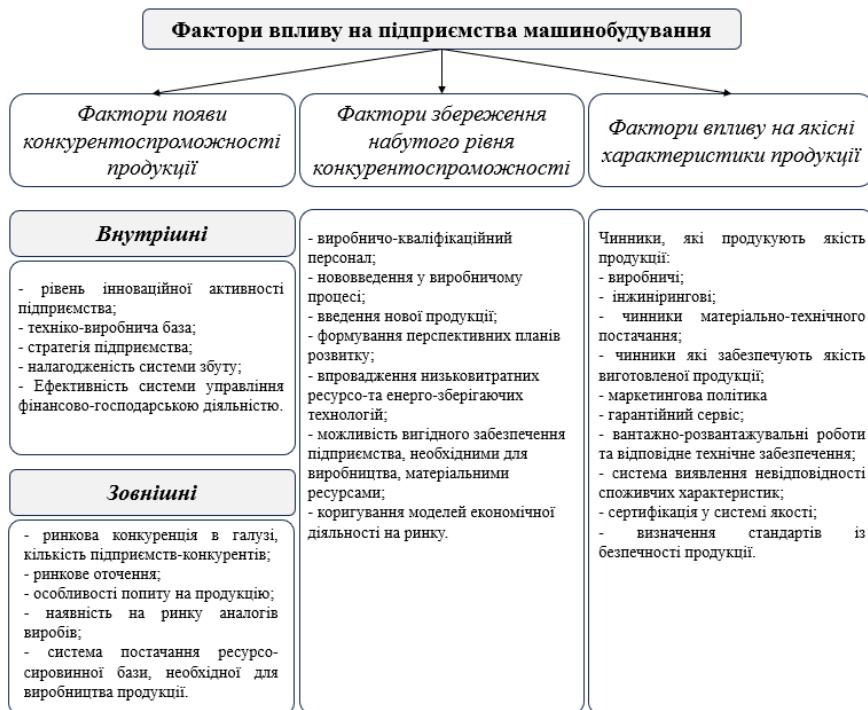


Рисунок 1. Фактори забезпечення конкурентоспроможності продукції машинобудування в умовах розширення внутрішніх і зовнішніх ринків.

Таким чином, аналіз стану та тенденцій розвитку внутрішнього ринку продукції машинобудування дає змогу окреслити внутрішні та зовнішні чинники, що впливатимуть на розвиток галузі у довгостроковій перспективі. Серед основних чинників, які гальмують розвиток

машинобудування, слід виділити неповну завантаженість виробничої потужності, зношеність основних засобів, значне зниження інноваційної активності підприємств, низький попит на продукцію українського машинобудування на зовнішньому ринку. Перед вітчизняними підприємствами машинобудівної галузі постали проблеми, які потребують найшвидшого розв'язання, а саме: – залучення інвестицій та підвищення рівня конкурентоспроможності і збуту продукції; – впровадження нових технологій та інновацій; – формування й реалізація мотивів здійснення інноваційної діяльності як на основі ринкових механізмів саморозвитку, так і під впливом держави; – налагодження інтересів та об'єднання зусиль щодо створення й залучення інноваційного потенціалу органів влади, суб'єктів підприємництва, елементів інфраструктури; – координація діяльності суб'єктів інноваційної діяльності і виявлення на цій основі можливостей розв'язання структурних проблем [18, с. 12].

Вплив держави в галузі машинобудування має бути системно побудованим і науково обґрунтованим, а також включати в себе:

- аналіз стану кожної підгалузі машинобудування;
- забезпечення доступу до кредитування за прийнятними відсотковими ставками для оновлення основних фондів;
- поліпшення інноваційної діяльності підприємств шляхом створення дослідно-конструкторських установ;
- підтримку інновацій через мережу венчурних підприємств;
- підтримку поліпшення маркетингової та рекламної діяльності підприємств;
- допомогу при виході на нові ринки збуту з боку торговельних представництв України за кордоном та ін. [19].

Тільки за умов виваженої та системної промислової політики та реалізації вищезазначених дій стане можливим підвищення конкурентоспроможності продукції машинобудування на світових ринках, підвищення якості та зменшення її собівартості, залучення іноземних інвестицій, вихід виробників продукції машинобудування на нові зовнішні ринки, створення нових робочих місць і, як наслідок, підвищення рівня життя населення. Подальшим напрямом досліджень є розробка прикладів індикативних планів розвитку підгалузей машинобудування, які мають включати аналіз стану підгалузі, шляхи поліпшення продуктивності праці, перспективні напрямки інноваційної діяльності, способи здешевлення продукції, методи удосконалення організації виробництва та збуту [20]. В умовах швидкого розвитку економіки знань, поширення соціальної орієнтації нових технологій, посилення технологічної й організаційної конкуренції на внутрішніх і зовнішніх ринках, досягнення цілей структурного оновлення,

розв'язання проблем щодо структурних характеристик національної економічної системи може бути ефективним за умови якомога повнішого використання інновацій в галузі машинобудування [21, с. 25]. При цьому важливим моментом, який повинен враховуватись при формуванні методологічних зasad структурних перетворень, є те, що проблема обмеженості пропозиції капіталу і праці може бути вирішена через спрямування інвестицій в інновації в машинобудуванні, і насамперед ті, що стосуються розвитку знань й технологій. Слід брати до уваги, що в умовах, коли у світі чітко проступає ядро нового технологічного укладу (нано-, біо- й інфотехнології, виробництво яких зростає у світі з темпами 35 % у рік), технологічна політика багатьох провідних країн полягає в тому, щоб залучити фінансові засоби саме у розвиток нового технологічного укладу [5, с. 80]. Одним із головних науково-технологічних факторів, що обумовлюють виживання машинобудівних підприємств як на внутрішньому, так і на світових конкурентних ринках стає впровадження інновацій як у виробництво, так і у сферу управління підприємством й організації господарської діяльності та формують відповідний напрям реструктуризації [22].

Таким чином, аналіз ринку машинобудування України повоєнного періоду 2014-2023 рр. дозволив виявити основні тенденції розвитку галузі. До сприятливих тенденцій можна віднести: приріст обсягів реалізованої продукції електричного, електронного та оптичного устаткування; збільшення кількості малих промислових підприємств та питомої ваги реалізованої ними продукції у загальному обсязі реалізованої промислової продукції; збільшення обсягів експорту продукції машинобудування у загальній структурі експорту товарів. Проте, поряд із сприятливими тенденціями, існують негативні, серед яких: зменшення кількості машинобудівних підприємств; погіршення фінансових результатів їхньої діяльності; зниження питомої ваги інноваційно активних підприємств машинобудування.

Негативні тенденції розвитку машинобудування України обумовлені впливом військового стану, що сприяє загальної економічної кризи та певних диспропорцій у розвитку цієї галузі в Україні, з одного боку, та низкою внутрішніх проблем, що характерні для більшості машинобудівних підприємств, саме тому формування передумов розвитку підприємств машинобудування є досить актуальним і важливим напрямом їхнього сучасного перетворення у поєднанні з ефективними формами державної підтримки по відношенню до вітчизняних підприємств галузі.

ПОСИЛАННЯ

1. Великий, Ю. В. (2010). Сучасне машинобудування: криза і її причини. Вісник Донецького національного університет імені МТ Барановського, (4), 48.
2. Захарова, Д. С. Конкурентоспроможність вітчизняних підприємств галузі машинобудування на світовому ринку. ББК 65.01 Е 45, 95.
3. Пігуль, Н. Г., & Пігуль, Є. І. (2018). Сучасний стан та перспективи розвитку машинобудівного комплексу України. 2018. Вип, 15, 444-448.
4. Нечепуренко, Д. С. (2016). Концептуальні підходи до оптимізації систем управління підприємствами машинобудування в умовах зміни векторів розвитку економіки України. Економічний форум, (1), 185-189.
5. Ареф'єва, О. В., & Прохорова, Ю. В. (2008). Діагностика ймовірності банкрутства за допомогою ідентифікації підприємств машинобудівної галузі в залежності від видів фінансової кризи. Віsn. економіки транспорту і промисловості: зб. наук.-практ. ст, (21), 76-81.
6. Супрун, В. О. (2015). Економічний стан і проблеми розвитку підприємств галузі машинобудування в Україні. Вісник Університету банківської справи, (1), 49-53.
7. Герасимчук, В. Г., & Липисіенко, А. П. (2018). Тенденції розвитку машинобудівного комплексу України. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство, (19 (1)), 75-79.
8. Шандра, В. М. (2006). Стратегічні напрями розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу. Техніка АПК, (5), 6-7.
9. Соколова, Л. В., & Стойка, О. В. (2019). Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку за умов незбалансованої економіки.
10. Остапюк, Б. Я., Грунік, І. С., Легенький, М. І., & Легенький, Ю. І. (2018). Особливості розвитку промисловості України в сучасних умовах. Вісник економіки транспорту і промисловості, (62).
11. Васіна, А. Ю. (2016). Інноваційний механізм структурних петретворень національної економіки. Економічний аналіз, (26, № 1), 9-18.
12. Чупир, О. М. (2013). Тенденції розвитку машинобудівного комплексу України: сучасний стан і перспективи. Вісник економіки транспорту і промисловості, (43), 99-103.
13. Короткий, Ю. В. (2015). Машинобудівна промисловість

України: здобутки та перспективи. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Економіка і менеджмент, (11), 117-120.

14. Сокотун, Г. О. (2013). Конкурентоспроможність машинобудівних підприємств України у порівнянні з іноземними/ГО Сокотун [Електронний ресурс]/Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка». Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua>.
15. Служба статистики України, Д., & статистичних видань Держстату, Р. (2018). Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 29.12.2020).
16. Комітет статистики України, Д. (2008). Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. 8. Газові ринки ЄС і України: проблеми розвитку та інтеграції. Національна безпека і оборона, (8), 2-32.
17. Зиз, Д. О. (2020). Основні тенденції функціонування та передумови розвитку підприємств машинобудування; Main trends and prerequisites for the development of machine building enterprises. Науковий журнал Економічний вісник Національного гірничого університету; Научный журнал Экономический вестник Национального горного университета; Scientific journal Economic Bulletin of the National Mining University.
18. Петришина, Н. В. (2015). Пріоритетні галузі економіки України: стан та перспективи розвитку.
19. Ходирєва, О. О. (2022). Обґрунтування необхідності впровадження стратегічного контролінгу для управління розвитком підприємства (Doctoral dissertation, Полтавський державний аграрний університет).
20. Павлов, П. С. (2024). Шляхи та перспективи експорту продукції машинобудування України на європейський ринок.
21. Борилюк, О. Р. (2022). Формування міжнародної маркетингової політики.
22. Райко, В. Ф., Семенов, Є. О., Новожилова, Т. Б., & Нечипоренко, Д. І. (2023). Вплив техногенно-екологічних факторів на економічний стан машинобудівної галузі. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (6), 246-260.

MODERN AIR DEFENSE METHODS AND COUNTERMEASURES FOR USE IN OPERATIONAL-TACTICAL MISSILES

Mykola Bondarenko

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8421-8408>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Mykhailo Vorobei

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9173-8564>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

Currently, in modern military conflicts, one of the most significant types of weaponry is operational-tactical missile systems. To protect against operational-tactical missile systems, modern missile defense methods are being developed and constantly improved. These methods encompass a wide range of technologies and strategies, from classic anti-aircraft missile systems to innovative control algorithms and artificial intelligence. The methods examined can aid in the development of countermeasures against air defense systems to enhance the effectiveness and accuracy of operational-tactical missile flights in combat conditions.

OBJECTIVE AND TASKS

The goal of this work is to examine existing methods of protecting military equipment and ways to counter high-precision weapons. The information obtained from this research will help identify the most effective and priority technologies that can be employed as countermeasures against missile defense systems for operational-tactical missiles.

MATERIALS AND METHODS

Undoubtedly, the most reliable method of protecting military equipment from high-precision weapons is to thwart the attack through a counter-force impact on the attacking munition, or if possible, on the carrier of this munition – known as "hard kill" in the terminology of Western specialists. The range of systems implementing this protection method is extremely broad, encompassing everything from complex systems that include combat units from several different branches of the military to specialized onboard devices designed to protect a single combat vehicle. The choice of protection system structure is determined by the value of the

protected object and the types of high-precision weapons that may be used against it.

Let's consider an attack scenario on a strategically important object. It may involve the use of cruise missiles or aircraft equipped with air-to-ground missiles and glide bombs. The defense of the object may involve the deployment of military units consisting of radar systems, air defense forces, and aviation.

It should be noted that a characteristic feature complicating the defense process is the effective scattering area of attacking munitions, which, thanks to advancements in STEALTH technology, can be reduced to less than 0.1 square meters. Control of the airspace around the strategic object is conducted by radar surveillance. An example of such radar system is the AN/TPS-43E station by Northrop Grumman (see Figure 1). The detection range of an airborne object with an effective scattering area of 1 square meter is 450 km.



Figure 1 – AN/TPS-43E Radar

The station has been in service with the US Army for about 30 years. Currently, it has been replaced by the AN/TPS-75 radar system, also developed by the same company, which utilizes phased array antennas (see Figure 2).



Figure 2 – AN/TPS-75 Radar

As means of defense, standard radar and air defense systems can be used, tasked with intercepting approaching enemy munitions.

Once the decision to intercept the attack is made, the command to engage the target (aircraft or missile) is issued to the fighter aircraft covering the defended object, employing air-to-air missiles for this purpose. The task can be accomplished using long and medium-range missiles with active seeker head, such as the AIM-54C Phoenix with a range of over 180 km (see Figure 3).



Figure 3 – The AIM-54C Phoenix missile mounted on the pylon of an F-14 fighter jet

An alternative defense option is the use of air defense systems. Depending on the nature of the defended object, medium or short-range surface-to-air missile systems may be employed. In this case, the list of defended objects, in addition to those mentioned above, may include military stationary objects (groups and headquarters of radar and air defense systems), and the list of intercepted munitions may include all means of individual guidance (missiles, glide bombs, aviation containers, large-caliber projectiles). As an example of a system capable of fulfilling the defense task, the Tor-M1 surface-to-air missile system can be considered (see Figure 4).



Figure 4 – The Tor-M1 surface-to-air missile system

The reconnaissance and targeting station is a three-coordinate Doppler radar with digital signal processing, mounted on a tower in a gyro-stabilized suspension and capable of operating while the vehicle is in motion. The radar system can detect up to 48 targets and track 10 of them simultaneously. The surveillance range is 25 km, and the target altitude ranges from 50 m to 6 km. The information processing algorithm involves prioritizing and ranking targets based on their level of danger and priority. The processed results are displayed on the commander's display and the missile guidance station.

In addition to surface-to-air missile systems for air defense, close-in weapon systems (CIWS) can also be successfully employed to combat incoming threats. For example, there is information about the successful use of the Phalanx close-in weapon system by the US Army in Iraq to protect

military camps during artillery and mortar attacks. The Phalanx CIWS installation consists of a six-barrel 20mm gun capable of firing at a rate of 3000 rounds per minute, two radar systems, and a mount with high-speed drives (see Figure 5). The installation provided protection for a radius of 1470 m around the camp, effectively countering single mines.



Figure 5 – Mark 15 Phalanx CIWS System

Active protection systems include onboard technical systems designed to exert force on incoming munitions aimed at a combat vehicle, with the aim of preventing them from hitting the vehicle or at least mitigating the consequences of such impacts.

This goal is achieved by destroying or prematurely detonating the warhead of the incoming munition and by altering the kinematic parameters of the penetrator. A simplified yet effective form of active protection systems can be close-in defense complexes, where the mere detection of an incoming threat triggers the defense system, and the entire protection cycle lasts less than 1 millisecond.

An example of such development is the Ukrainian "Zaslon" active protection system by "Microtek" company. The system features a modular design (see Figure 6), with each module containing two extendable rods.

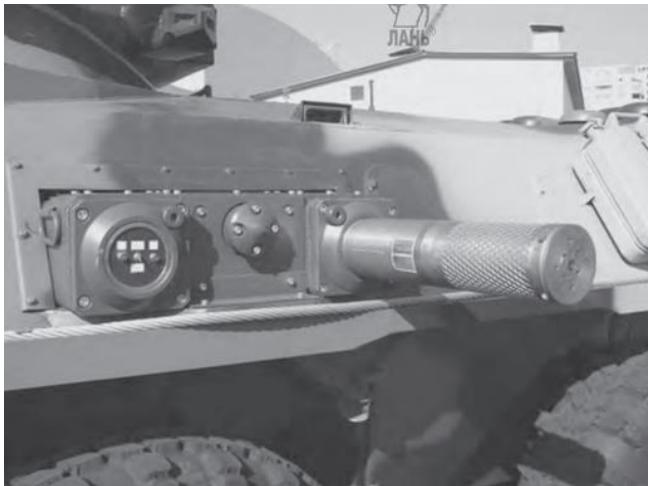


Figure 6 – “Zaslon” active protection system

The sensor detects the passage of the munition and issues a command to detonate the fragmentation warhead installed on the stand in front of it. The circular fragmentation pattern (see Figure 7) is coordinated with the sector of emission with an adjustment for the projectile's removal time when the system is activated. Fragments hit the lateral projection of the passing munition, destroying it and initiating the premature detonation of its warhead.

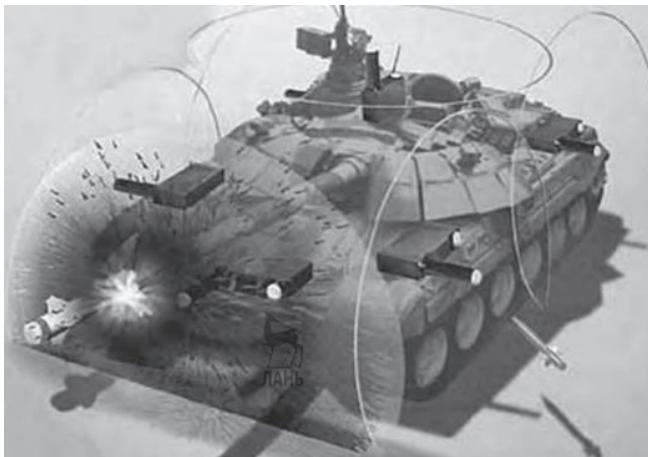


Figure 7 – The operational scheme of the "Zaslon" active protection system

It is known that powerful electromagnetic actions pose a danger to electronic equipment. The more complex the equipment, the higher the likelihood of functional disruptions. The amplitudes of current impulses induced by external radiation in the closed circuits of the equipment can reach hundreds of amperes. This leads to breakdown and destruction of semiconductor elements, burning out of circuits, and even detonation of explosive munitions. Sensory devices of munitions and reconnaissance means are most susceptible to the action of electromagnetic pulses (see Figure 8). By their functional purpose, they are highly sensitive and fundamentally impossible to protect. Even in well-shielded products, every conductor leading into the block is similar to an antenna and can become a source of equipment damage.



Figure 8 – The Vigilant Eagle jamming station

For successful radar operations, it is crucial to recognize the adversary's use of false air targets (see Figure 9). Such radar countermeasures are intended to reduce the probability of hitting combat aircraft by diverting the attention of air surveillance and missile guidance systems, allowing the simulation of mass air raids on diversionary routes. While designers of attacking missiles employing stealth technology aim to minimize emitted and scattered radiation, the reverse task is addressed in the design of radar countermeasures like the Miniature Air-Launched Decoy (MALD). In this case, the goal is to develop an inexpensive (and therefore small and lightweight) device capable of emitting and scattering radiation, mimicking the characteristics of "large" combat vehicles.



Figure 9 – The installation of the ADM-160B false radar target

RESULTS

The methods discussed have allowed for the identification of the most priority directions in the development of countermeasures against missile defense systems.

CONCLUSIONS

Minimizing ESA: Tactical missiles can be designed using STEALTH technology to reduce their effective scattering area, making them harder to detect by radars.

Maneuvering Navigation: Tactical missiles can be programmed to execute complex maneuvers during flight to evade detection and destruction by enemy radars and air defense systems.

Electronic Jamming: Rockets can be equipped with electronic jamming systems that interfere with the operation of enemy radar systems, complicating their ability to detect and engage targets.

Group Attack: Instead of individual attacks, tactical missiles can be used in large groups to overwhelm enemy defense systems and create additional difficulties in their detection and interception.

Electromagnetic Protection: Missiles can be equipped with special protective systems that reduce the sensitivity of their electronic equipment to electromagnetic pulses, using shielding, filtering, or isolation.

Backup Systems: To prevent missile failure due to damage to primary components from electromagnetic influences, backup power and guidance systems can be used to ensure reliable missile operation even under

electromagnetic pulse.

Experimental Research: It is important to conduct research and experiments on the impact of electromagnetic pulses on missiles to understand their vulnerability and develop effective protection measures.

Structural Analysis: Conducting a structural analysis of the missile considering its potential vulnerability to electromagnetic pulses will help identify weaknesses and develop strategies for improving protection.

REFERENCES

1. Bondarenko, M., & Habrinets, V. (2023). Thrust Vector Control of Solid Propellant Operative-Tactical Rockets. *Challenges and Issues of Modern Science*, 1, 68-73. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/14>
2. Gordić, M., Petrović, I., & Cvetković, K. (2014). The role of air defense missile units in the air space control and protection. *Vojno delo*, 66(2), 210-231.
3. Giare, V., & Miller, G. A. (2021). Air and Missile Defense: Defining the Future. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 35(4), 505-510.
4. Karako, T. (2019). The missile defense review. *Strategic Studies Quarterly*, 13(2), 3-15.
5. Karako, T., & Dahlgren, M. (2022). Complex air defense: *Countering the hypersonic missile threat*. Rowman & Littlefield.
6. O'Haver, K. W., Barker, C. K., Dockery, G. D., & Huffaker, J. D. (2018). Radar development for air and missile defense. *Johns Hopkins APL Tech. Digest*, 34(2), 140-153.
7. Garwin, R. L., & Bethe, H. A. (1968). Anti-ballistic-missile systems. *Scientific American*, 218(3), 21-31.
8. Abdi, J., Kharazian, P., & Partovi, M. T. (2020). Air Defense Challenges to Discover Cruise Missiles. *Military Science and Tactics*, 16(53), 57-77.
9. Ingwersen, P. A., & Lemnios, W. Z. (2000). Radars for ballistic missile defense research. *Lincoln laboratory journal*, 12(2), 245-266.

Розробка програмного забезпечення для управлюючої програми намотки віссесиметричних оболонок із полімерних композитних матеріалів

Юхим Мигович

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9773-0751>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Іван Карпович

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3633-8532>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Світлана Клименко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-9993>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Розробка програмного забезпечення для верстату з намотки віссесиметричних оболонок з полімерних композитних матеріалів є актуальну темою в контексті сучасного виробництва високотехнологічних матеріалів. Зростаючий попит на легкі та міцні композитні матеріали в різних галузях промисловості, таких як авіація, автомобілебудування, суднобудування та будівництво, підкреслює важливість удосконалення технологій їх виготовлення. Однією з ключових технологій є намотка віссесиметричних оболонок, що дозволяє створювати високоякісні вироби зі складною геометрією.

Однак, незважаючи на значний прогрес у технології намотки, існує ряд викликів, пов'язаних із точністю та ефективністю процесу, що може бути вирішено за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. В цьому контексті, розробка програмного забезпечення для управління верстатом з намотки є критично важливою для забезпечення високої якості кінцевих виробів, зниження відходів матеріалу та оптимізації виробничих процесів. Сучасні програмні рішення для намотування композитних матеріалів повинні враховувати широкий спектр параметрів, щоб забезпечити однорідність і цілісність композитної оболонки. Перш за все, необхідно враховувати натяг нитки, який безпосередньо впливає на рівномірність укладки матеріалу та запобігає утворенню напружень і дефектів в готовій оболонці. Важливо, щоб програмне забезпечення могло динамічно контролювати та регулювати натяг джгута в реальному часі, реагуючи на зміни в умовах процесу.

Швидкість обертання шпинделя верстата також є важливим параметром, оскільки вона визначає швидкість подачі матеріалу та впливає на якість і точність укладки шарів композиту. Програмне забезпечення повинно забезпечувати точний контроль над швидкістю обертання, враховуючи при цьому інерційні характеристики системи та механічні властивості матеріалу.

Точність укладки матеріалу є ще одним важливим аспектом, що впливає на структурну цілісність і механічні властивості готового виробу. Програмне забезпечення має забезпечувати високу точність позиціонування укладального елемента, мінімізуючи відхилення від заданих траекторій. Це включає інтеграцію сенсорних систем для моніторингу положення та корекцію траекторій в режимі реального часу.

Метою цього дослідження є створення ефективного програмного забезпечення отримання програмного коду для намотки віссесиметричних оболонок, яке в майбутньому дозволить покращити процес виробництва композитних матеріалів. На початковому етапі використовується комплексний підхід, що включає моделювання процесу намотки, та їх попереднє тестування. Особливу увагу потрібно приділити розробці інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача, який дозволить операторам легко налаштовувати і контролювати параметри намотки в режимі реального часу.

Очікується, що результати цього дослідження сприятимуть підвищенню ефективності виробництва композитних оболонок, зменшенню виробничих витрат і покращенню якості кінцевих виробів. Теоретичні напрацювання та практичні результати можуть бути використані для подальшого розвитку технологій намотки композитних матеріалів та їх впровадження в різних галузях промисловості. Таким чином, це дослідження має значну теоретичну і практичну цінність, оскільки воно пропонує інноваційні рішення для актуальних проблем сучасного виробництва композитних матеріалів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

На початковому етапі розробки програмного забезпечення важливо здійснити детальний аналіз вимог. Насамперед потрібно визначитися з типом намотувального верстата та допоміжних систем, що складає виробничий комплекс. Це надає інформацію щодо розміру та ваги намотувальних виробів, а також визначає швидкісні та динамічні характеристики, технологічні параметри виготовлення деталей. Потрібно враховувати кількість одночасно керуемых осей, їх кінематичні характеристики та точність.

До прикладу візьмемо лабораторні верстати компанії X-Winder

(див. Рис. 1-2), на основі яких виведемо початкові обмеження та вимоги до програмного забезпечення:



Рисунок 1 – Верстат 2-осьовий, модель 2Х-23

Характеристики 2Х-23:

Довжина: до 20 футів (3 м), ширина оправки: до 8 дюймів (200 мм). Максимальна частота обертання оправки: 90 обертів. Максимальна швидкість каретки: 8 дюймів/с (200 мм/с). Натяг нитки: регульований фрикційний механізм ременя. Електроніка: блок контролера перемикання та блок контролера 2 осей з USB-кабелями.

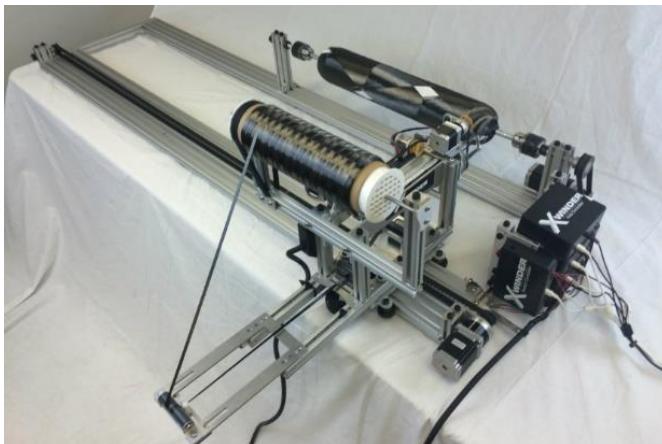


Рисунок 2 – Верстат 4-осьовий, модель 4Х-23

Характеристики 4Х-23:

Довжина: до 20 футів (3 м). Ширина оправки: до 10 дюймів (250 мм). Максимальна швидкість обертання оправки: 90 обертів. Максимальна швидкість переміщення: 8 дюймів/с (200 мм/с). Натяг нитки: регульований фрикційний механізм ременя. Електроніка: блок контролера перемикання та блок контролера 4 осей з USB-кабелями.

Інформація про ці станки надає кілька обмежень для програмного забезпечення. Типи верстатів (з фіксованою головкою, дво- та тривісні, багатовісні) мають свої особливості управління та руху, що вимагає від програмного забезпечення здатності працювати з різними типами верстатів. Габаритні обмеження станків впливають на оптимізацію траєкторій руху, щоб виготовлені деталі відповідали встановленим габаритам. Висока швидкість руху та потреба в точності вимагають ефективного керування швидкістю та надійного контролю над рухом верстатів. Програмне забезпечення також повинно враховувати електричні та механічні параметри станків, а також заходи безпеки при роботі з обладнанням. Також важливо, щоб програмне забезпечення було сумісним з електронікою верстатів, для правильного функціонування всього комплексу обладнання.

Наступним кроком є розрахунок траєкторії вкладання джгута та подальше моделювання процесу намотки. Це включає створення математичних і комп'ютерних моделей, які дозволяють симулювати процес намотки і оцінити вплив різних параметрів на якість і ефективність виробництва. Моделювання також допоможе у визначенні вимог до програмного забезпечення та його функціональних можливостей.

Типи програм намотування (назви умовні, відповідно до призначення шарів, див. Рис. 3):

1. Геодезичні силові: забезпечують осьову міцність намотуваних виробів, намотування здійснюється по основному контуру виробу.

2. Геодезичні армуючі: забезпечують міцність з'єднання вузлів з основним корпусом, намотування виконується за допомогою фальш-днищ. Армуючі шари підвищують міцність лише циліндричної частини корпусу.

3. Кільцеві: забезпечують окружну міцність циліндричної частини виробу.

4. Перехідні: служать для безперервного переходу від геодезичної намотки до кільцевої і навпаки.

5. Програми сухого намотування: використовуються для посилення корпусу в потрібних місцях і при формуванні вузлів з'єднання.

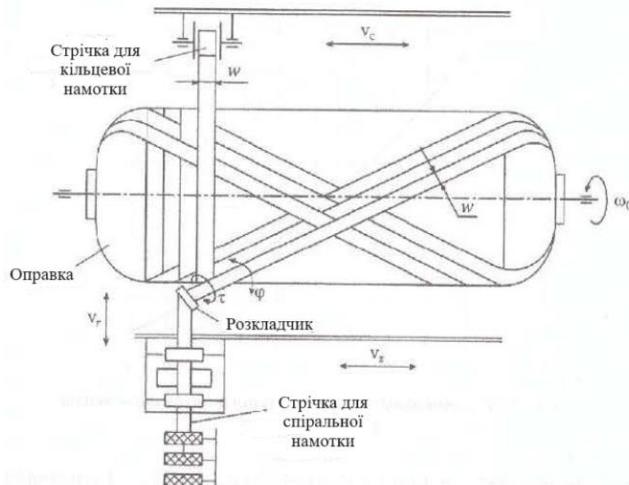


Рисунок 3 – Схема кільцевої та спіральної намотки

Геодезична лінія з кутом намотки α на поверхні тіла обертання з рівними полюсними отворами однозначно визначається параметром ρ_o – радіусом полюсного отвору (називається сталою Клеро, див. Рис. 4). При цьому кут намотки α на поверхні обертання визначається (1):

$$\alpha(z) = \arcsin\left(\frac{\rho_o}{\rho(z)}\right) \quad (1)$$

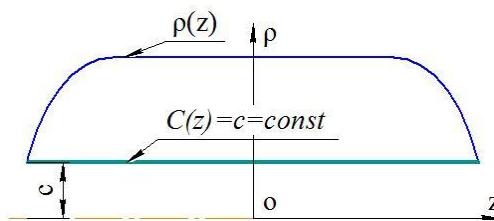


Рисунок 4 – Стала Клеро

При нерівнополюсній оправці (рис. 5) не існує цілісної геодезичної лінії в межах геометрії оправки (геодезичні лінії зі сталою Клеро ліворуч і праворуч існують, але не з'єднуються). У таких випадках намотка здійснюється з відхиленням від геодезичних траєкторій. Допустима величина такого відхилення $\operatorname{tg}(\theta) \leq \mu$ входить як параметр до диференціального рівняння (2) для розрахунку функції Клеро (рис. 6):

$$C'(z) = \mu \left(\frac{C^2}{\rho^2} - \rho \rho'' \left(1 - \frac{C^2}{\rho^2} \right) / (1 + \rho'^2) \right) \quad (2)$$

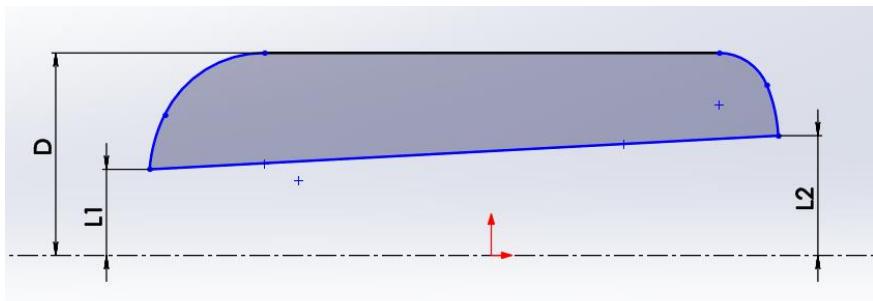


Рисунок 5 – Нерівнополюсна оправка

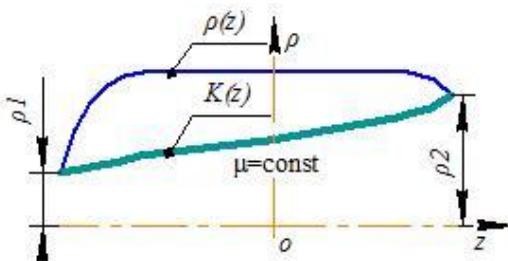


Рисунок 6 – Функція Клеро

Після цього слід перейти до розробки алгоритмів управління верстатом. Ці алгоритми повинні забезпечувати точний контроль над параметрами намотки, такими як натяг нитки, швидкість обертання та кут намотки. Важливо розробити алгоритми, які будуть адаптивними і зможуть автоматично коригувати параметри у разі виявлення відхилень від заданих значень. Це забезпечить високу якість і однорідність композитних оболонок.

Програмне забезпечення повинно включати основні функції управління верстатом і мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача. Важливо, щоб оператори могли легко налаштовувати і контролювати параметри намотки в режимі реального часу (див. Рис. 7). На цьому етапі також необхідно передбачити можливості для інтеграції програмного забезпечення з іншими системами автоматизації виробництва.

Тестування є заключним етапом початкової фази розробки. Тестування повинно проводитись як в лабораторних умовах, так і на

реальних виробничих установках. Це дозволить виявити та віправити можливі помилки, оцінити ефективність і надійність програмного забезпечення, а також перевірити його відповідність вимогам. За результатами тестування можуть бути внесені необхідні зміни і вдосконалення в програмне забезпечення.

Висновки

В результаті дослідження вимог та обмежень для створення необхідного програмного забезпечення було розроблено технічне завдання та визначено етапи виконання робіт при розробці програмного забезпечення.

Завершення початкового етапу створить міцну основу для подальшого розвитку програмного забезпечення, його впровадження та вдосконалення у процесі експлуатації. Це дозволить забезпечити високу якість виробництва віссесиметричних оболонок з полімерних композитних матеріалів та задоволити зростаючий попит на ці високотехнологічні вироби.

ПОСИЛАННЯ

1. Wu, X., Tang, Y., & Li, W. (2023). Advanced Design and Analysis of Composite Cylinders for High-Performance Applications. *Journal of Composite Materials*, 57(3), 345-362. <https://doi.org/10.1177/00219983221112743>
2. Schmidt, H., & Ma, L. (2021). Winding Technology and Its Applications in Composite Manufacturing. *Materials*, 14(15), 4123. <https://doi.org/10.3390/ma14154123>
3. Brown, D., & Wilson, J. (2022). Simulation and Optimization of Filament Winding Processes Using CAD/CAM Systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(4), 1829-1845. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09221-3>
4. Chen, L., & Zhang, Y. (2020). Integrated Software Solutions for Automated Winding Machines. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(5), 3010-3019. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2954967>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АУСТЕНІТНОЇ СТАЛІ У ВИХІДНОМУ СТАНІ

Сергій Божко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0736-4968>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Анатолій Санін

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5614-3882>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Юрій Ткачов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1556-2463>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Віктор Хутормий

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6013-5167>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Сьогодення висуває перед дослідниками нові виклики та завдання щодо вдосконалення існуючих матеріалів і технологій. Додаткові ускладнення, обумовлені війною, вимагають швидкого прийняття рішень, максимально повного використання існуючих можливостей, пошуку та застосування додаткового ресурсу для забезпечення стабільно високого рівня механічних властивостей матеріалів.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Високомарганцева сталь є дуже перспективною для застосування в ракетно-космічній та оборонній галузях, завдяки малій питомій вазі, стабільній аустенітній структурі у широкому діапазоні температур та здатності зміцнюватися при механічній деформації [1]. Але широке застосування таких сталей обмежене нестабільністю механічних властивостей у вихідному стані й дуже поганою оброблюваністю. Тому в роботі поставлені та вирішені такі задачі:

- установити причини окрихчування сталі та визначити закономірності формування специфічної смугастої структури.
- розробити рекомендації спрямовані на покращення надійності конструкцій і виробів.
- розробити заходи щодо покращання оброблюваності різанням.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження мікроструктури сталі проводили на травлених шліфах за допомогою світлої оптичної мікроскопії (СОМ) та на зламах зразків після випробувань на ударну в'язкість за допомогою растрової електронної мікроскопії (РЕМ) у вторинних електронах. Для виявлення дрібних складових мікроструктури були розроблені спеціальні методики приготування та травлення шліфів.

РЕЗУЛЬТАТИ

Розроблена наприкінці минулого століття аустенітна складнолегована сталь 9Г28Ю9МВХ характеризується високим комплексом механічних та експлуатаційних властивостей, але широкому її використанню перешкоджає значна анізотропія, яка формується внаслідок розвитку ліквацийній хімічній неоднорідності та її наслідуванні при подальшій термомеханічній обробці (рис. 1). Значення коефіцієнта анізотропії у прутках різного сортаменту досягає значень від 1,5 для прутка перетином 105 x 105 мм до 3,9 одиниць для прутка діаметром 120 мм. Коефіцієнт анізотропії розраховували за формулою

$$\eta = 1/3 \left(\frac{\delta_{\text{вздовж}}}{\delta_{\text{поперек}}} + \frac{\psi_{\text{вздовж}}}{\Psi_{\text{поперек}}} + \frac{a_{\text{нвздовж}}}{a_{\text{нпоперек}}} \right) \quad (1)$$

де δ і Ψ – відновідно відносні подовження і звуження, %; a_n – ударна в'язкість, МДж/м².

Дослідження за допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу дозволили встановити, що різні смуги мають різний вміст легуючих елементів. Хімічний склад, зазвичай, можна вирівняти за допомогою високотемпературного відпалу [2]. Тому були виконані дослідження впливу температури відпалу на однорідність аустенітної сталі, які дозволили розробити режим термічної обробки аустенітної сталі 9Г28Ю9МВХ, який складається з нагрівання до 1250°C, витримки протягом 2 год за цієї температури й наступного охолодження у воді з метою фіксації однорідного пересиченого твердого розчину. Після такої термообробки смугаста мікрохімічна неоднорідність значно зменшується, коефіцієнт анізотропії не перевищує 1,1 одиницю для всіх видів сортаменту сталі (рис. 2).

Також широкому використанню легованої аустенітної сталі 9Г28Ю9МВХ перешкоджає значна нестабільність механічних властивостей у вихідному стані. Значення ударної в'язкості гарячекатаних прутків коливаються в межах від 0,5 до 5,5 МДж/м². Тому в роботі розглянуті причини такої нестабільності, процеси, які ініціюють її

виникнення та способи підвищення стабільності механічних властивостей, що дозволять максимально повно використати потенційні можливості такої сталі.

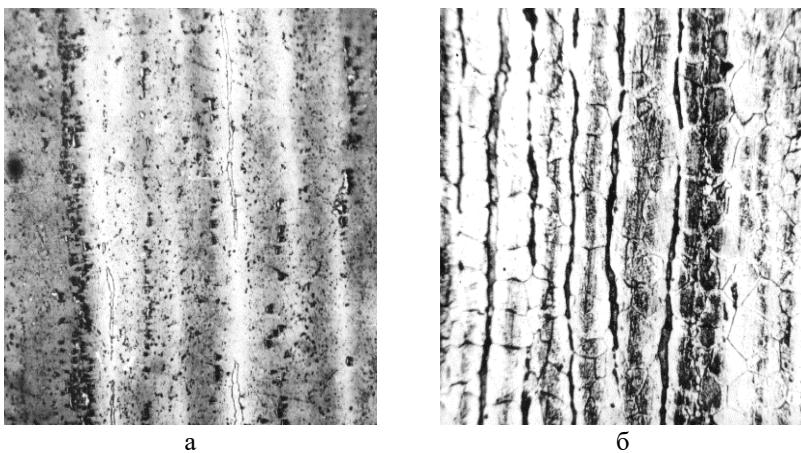


Рисунок 1 – Смугаста мікрохімічна неоднорідність аустенітної сталі у вихідному стані. а, б – СОМ, х 300

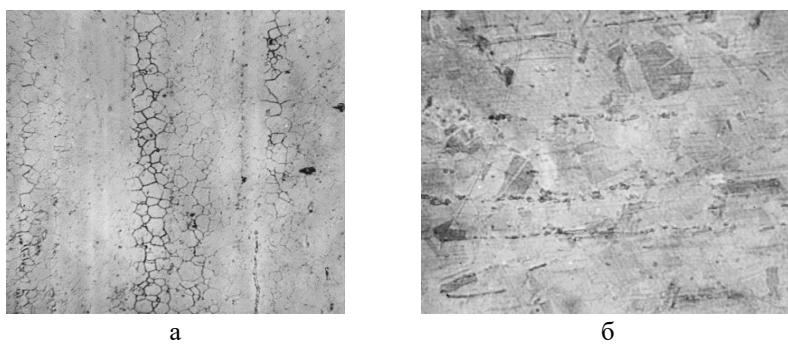


Рисунок 2 – Структура сталі після термічної обробки. а, б -СОМ, х 300

Аустенітна складнолегована сталь 9Г28Ю9МВБ характеризується високим вмістом легуючих елементів і фактично є сильно пересиченим твердим розчином. Сумарний вміст легуючих елементів перевищує 40%. Тому, проаналізувавши технологію виготовлення напівфабрикатів цієї сталі, ми зробили припущення, що в процесі заготівлі сталі вона перебуває за підвищеної температури достатньо довго, щоб відбувся розпад пересиченого твердого розчину. При цьому

відбувається виділення частинок другої фази [2], в основному по границях зерен. Поверхня зламів зразків після випробувань на ударну в'язкість має виражений крихкий нафталіноподібний вигляд (рис. 3).

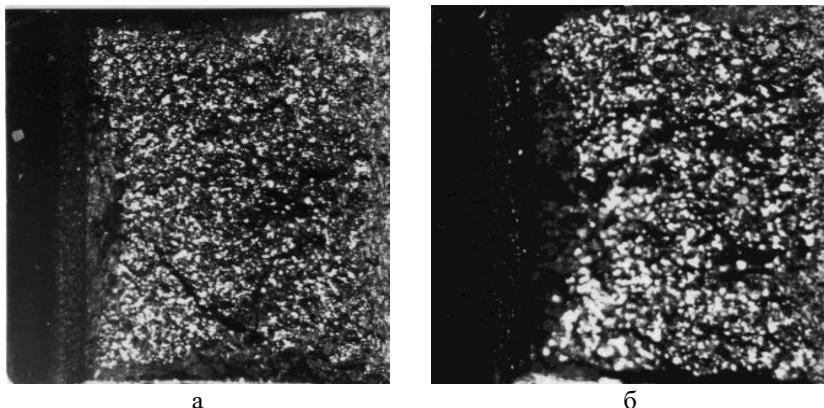


Рисунок 3 – Крихкий злам аустенітної сталі у вихідному стані. а, б – СОМ, х 5

Це припущення підтверджено дослідженнями впливу швидкості охолодження на властивості сталі (табл. 1). З метою дослідження особливостей процесів, які відбуваються протягом виготовлення напівфабрикатів сталі, вивчали вплив швидкості охолодження від температур гарячої деформації на структуру і властивості сталі. Для цього зразки нагрівали до 1250°C, витримували за цієї температури протягом 1 години і потім охолоджували до кімнатної температури з різними швидкостями – у воді, у маслі, на повітрі та разом із піччю. Швидкості охолодження становили відповідно 60, 4, 0,6 та 0,33 °C. Результати, наведені у табл. 1, свідчать про те, що зниження швидкості охолодження на два порядки від 60 °C до 0,6 °C майже не впливає на показник ударної в'язкості, проте за менших швидкостей охолодження відбувається різке окрихчування сталі – ударна в'язкість зменшується майже в 4 рази.

Таблиця 1 – Залежність ударної в'язкості від швидкості охолодження

Вохол., °C.	60	4	0,6	0,33
а _н , МДж/м ²	2,04	2,01	2,01	0,58

Дослідження за допомогою скануючого, або растроного електронного мікроскопа (РЕМ), дозволили встановити, що руйнування металу відбувається в основному по границях зерен (рис. 4, а, б) і

субзерен (рис. 4, в), послаблених виділеннями другої фази (рис. 5).

Дослідження мікроструктури показали, що в разі зменшення швидкості охолодження в сталі відбувається збільшення інтенсивності процесів виділення частинок другої фази на границях зерен. За високих швидкостей охолодження ця фаза дрібнодисперсна у вигляді тонких видіlenь по границям зерен (рис. 5, а). Зі зменшенням швидкості охолодження частки фази збільшуються (рис. 5, б) та за мінімальної швидкості охолодження вони мають крупний грубий вигляд і розташовані щільним ланцюжком на границях зерен (рис. 5, в). Це й призводить до сильного окрихчування сталі.

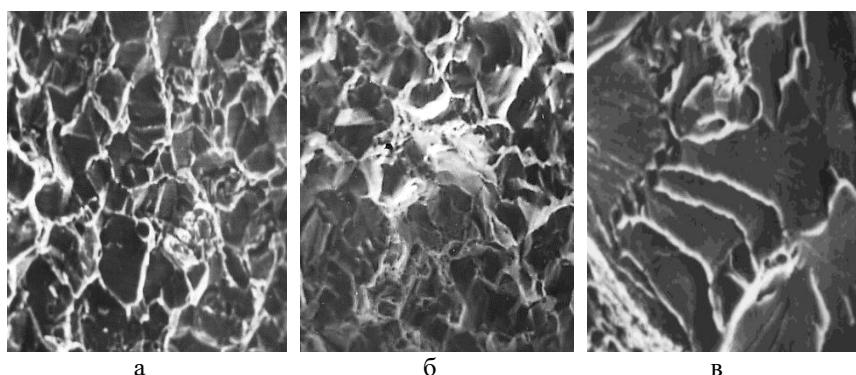


Рисунок 4 – Фрактограми зламу аустенітної сталі. РЕМ, а, б - х500, в - х1200

Із метою детальнішого дослідження процесів окрихчування проведений наступний експеримент. Партию зразків сталі з одного і того ж прутка вносили у піч, нагріту до 1250°C, і витримували за цієї температури протягом 1 години для забезпечення вирівнювання структури різних зразків. Потім зразки охолоджували разом із піччю зі швидкістю 0,17 °C/s. За цих умов зниження температури на кожні 50°C частину зразків (по 3 на точку) вимали з печі й загартовували у воді. Таким чином фіксували структурно-фазові перетворення залежно від температури кінця уповільненого охолодження. Вимірювали твердість, ударну в'язкість і вивчали мікроструктуру, одержаних таким чином зразків сталі. Графіки залежності твердості і ударної в'язкості наведені на рис. 6.

Ударна в'язкість зразків, уповільнено охолоджених до 1050 °C практично залишається на одному рівні. Зі зниженням температури кінця уповільненого охолодження до 950 °C значення ударної в'язкості стрімко знижувались від 1,96 МДж/m² до 1,2 МДж/m². При подальшому зменшенні температури кінця уповільненого охолодження

швидкість зниження в'язкості зменшується. Зміні твердості зразків сталі мають прямо протилежний характер – вона практично не зростає до 950°C; різко зростає з 13 до 28 HRC при охолодженні до 950 – 650°C. Подальше зниження температури кінця уповільненого охолодження зумовлює менш інтенсивне зміщення – твердість зростає лише на 2 HRC. Дослідження поверхонь зламів ударних зразків показали, що характер руйнування змінюється від в'язкого, ямкового, який відбувається шляхом злиття мікропор (рис. 7, а), до крихкого, коли тріщина проходить по поверхні зерен (рис. 7, б). Поверхні зерен декоровані виділеннями часток другої фази.

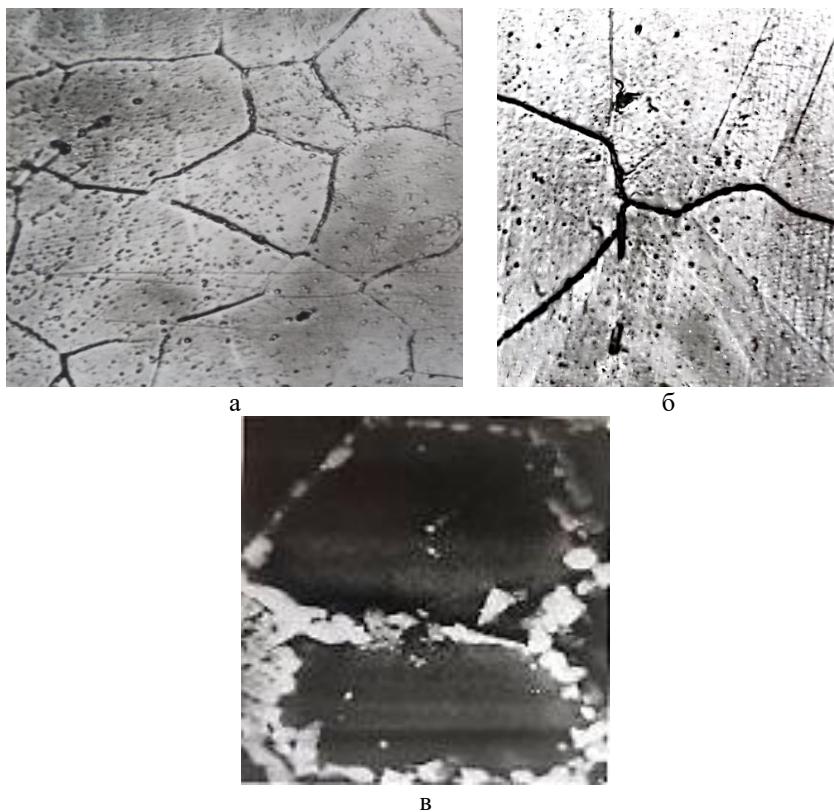


Рисунок 5 – Локальні виділення часток другої фази. а – СОМ, x1000, б – РЕМ, x1300, в – x2500

За допомогою спеціального селективного травлення нам вдалося виявити частки грубих виділень другої фази сіро-блакитного кольору

по границях зерен зразків, уповільнено охолоджених до температури 550 – 650 °C (рис. 4 в), що й призводить до різкого окрихчування аустенітної сталі.

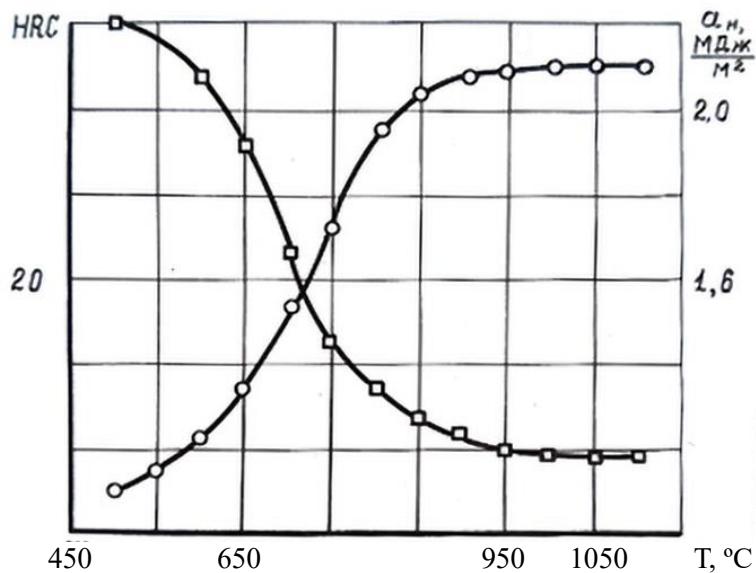


Рисунок 6 – Залежність твердості і ударної в'язкості від кінця температури уповільненого охолодження

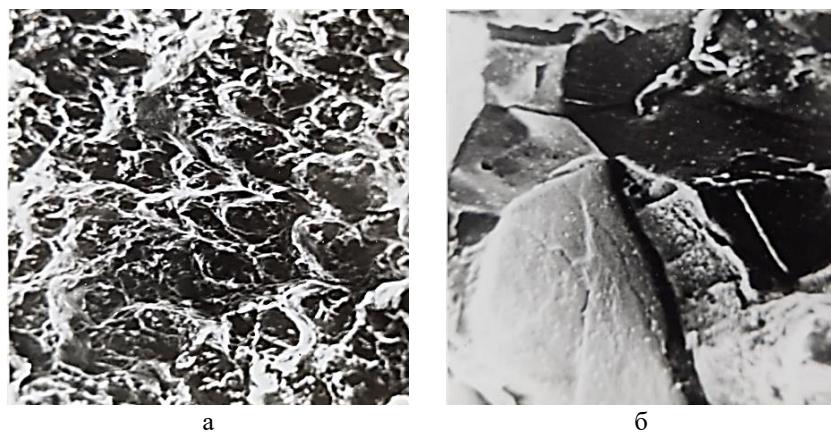


Рисунок 7 – Фрактограми зламів зразків, уповільнено охолоджених до: а – 950 x 900, б – 650 °C, x 2000

Таким чином, ми з'ясували механізм теплового окрихчування сталі 9Г28Ю9МВБ. При уповільненному охолодженні від температур гарячої деформації зі швидкостями порядку 0,03 °C/с у сталі відбувається виділення великої кількості часток грубої фази сіро-блакитного кольору, які розташовані на границях зерен, що й обумовлює різке зниження ударної в'язкості. Згідно літературних даних [2, 3], в інтервалі температур 500 – 800 °C відбувається розпад твердого розчину з виділенням часток зміцнювальної К-фази, склад якої можна представити як, $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{AL}_x\text{C}_x$.

Результати цього дослідження стали передумовою для розробки режимів термічної обробки заготовок сталі з метою покращання їх оброблюваності різанням. Оброблюваність сталі можна значно покращити, якщо суттєво знизити рівень її механічних властивостей. З приведених залежностей (рис. 6) видно, що одночасно низький рівень значень твердості та ударної в'язкості знаходиться в інтервалі температур 650 – 950 °C. Тому для дослідження впливу параметрів термічної обробки на оброблюваність дослідили вплив ізотермічної витримки при 600, 650 і 700 °C протягом 20, 25, 30 і 35 годин на оброблюваність різанням, за спеціально розробленою методикою [4]. Результати випробувань на оброблюваність термооброблених зразків наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив режимів термообробки на оброблюваність

№ п/п	Режим термообробки		Оброблюваність	Механічні властивості	
	T, °C	τ, год.		HRC	MДж/m ²
1	Вихідний стан		20	27	0,56
2	Загартований стан		17	16	2,20
3	550	15	18	36	1,20
4	650	35	32	16	0,33
5	700	25	42	14	0,35
6	700	35	43	12	0,32
7	750	35	30	14	0,90

Наведені результати випробувань свідчать про те, що оброблюваність вихідної сталі ненабагато краща ніж загартованої. Можливо, що під час уповільненого охолодження від температур гарячої деформації розпад твердого розчину відбувається спочатку при температурах 950 – 850 °C, що обумовлює певною мірою зменшення на цьому етапі значень твердості та ударної в'язкості. Проте під час подальшого охолодження за температур 650 – 600 °C відбувається значне зміцнення,

при цьому температурний градієнт за понижених температур менший, ніж за високих, то, звісно ж, термін перебування при 650 – 600 °C буде більшим, ніж при 950 – 850 °C, тому, хоч ударна в'язкість знижується, разом із тим підвищується твердість. Оброблюваність у цьому випадку практично не покращується. Це положення підтверджується також тим фактом, що оброблюваність різанням зразків, зі старених на максимальну твердість, майже така ж сама, як і загартованіх, хоч ударна в'язкість перших значно менша. Невеликі значення твердості при порівняно високому рівні в'язкості, наприклад характерні для загартованого металу, також не забезпечують покращання оброблюваності різанням.

Помітне покращання оброблюваності відбувається при одночасному зниженні твердості та ударної в'язкості, про що свідчать результати, наведені в табл. 2 і на графіках (рис. 6). Одночасне зниження твердості та ударної в'язкості в інтервалі температур 750 – 950 °C забезпечує значне покращання оброблюваності різанням. При чому, чим інтенсивніше протікають процеси розміцнення і перестарювання, тим краща оброблюваність. Найменші значення механічних властивостей досягаються в процесі старіння при 700 °C, покращання оброблюваності в цьому разі максимальне порівняно зі старінням при інших температурах. Так, наприклад, зі збільшенням температури ізотермічної витримки при 650 °C до 35 годин оброблюваність покращується майже в 1,7 разу, а за той же час при 700 °C – в 2,4 разу. При збільшенні температури витримки до 950 °C за 35 годин оброблюваність сталі підвищується тільки в 1,6 разу, що обумовлено менш інтенсивним розпадом пересиченого твердого розчину. Збільшення витримки до 40 годин, з нашої точки зору, не виправдано, бо не приводить до значного покращання оброблюваності, а тільки подовжує технологічний цикл обробки сталі.

Таким чином встановлено, що в результаті розвитку процесів розпаду пересиченого твердого розчину в інтервалі від 650 до 950 °C відбувається значне покращання оброблюваності різанням сталі 9Г28Ю9МВБ. Найбільш інтенсивне окрихчування сталі відбувається при 700 °C, що забезпечує максимальне покращання оброблюваності при цій температурі за 25 – 35 годин.

Висновки

1. Встановлені причини та з'ясований механізм утворення смугастої мікрохімічної неоднорідності аустенітної сталі 9Г28Ю9МВБ.
2. Дослідженій процес теплового окрихчування сталі. Встановлено, що причиною різкого зниження ударної в'язкості є розпад

пересиченого твердого розчину з виділенням складного карбіду $\text{Fe},\text{Mn})_3\text{AL,Cx}$, переважно по границях зерен.

3. Встановлений ефект теплового окрихчування застосований для покращання оброблюваності сталі різанням. У результаті ізотермічної витримки при 700 °C протягом 35 годин оброблюваність покращується більш ніж у 2 рази.

4. Результати можуть бути ефективно використані у виробництві нової техніки.

ПОСИЛАННЯ

1. Seede, R., Whitt, A., Ye, J., Gibbons, S., Flater, P., Gaskey, B., ... & Karaman, I. (2023). A lightweight Fe–Mn–Al–C austenitic steel with ultra-high strength and ductility fabricated via laser powder bed fusion. *Materials Science and Engineering: A*, 874, 145007. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145007>
2. Божко, С., & Ткачов, Ю. (2023). Дослідження процесів розпаду пересиченого твердого розчину аустенітної сталі. *Challenges and Issues of Modern Science*, 1, 192-196. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/36>
3. Bozhko, S., & Sanin, A. (2024). Investigation of Phase Transformations of austenitic steel by the method of mathematical planning of the experiment in the process of aging. *Journal of Rocket-Space Technology*, 32(4), 58-70. <https://doi.org/10.15421/452329>
4. Воробьев, Г., & Божко, С. (1982). Исследование влияния режимов термической обработки на обрабатываемость резанием стали 9Г28Ю9МВБ. *ВИНИТИ*. (Деп. рукопись №4343-82, 19 с.)
5. Bozhko, S. A., Sanin, A. F., Tkachov, Y. V., & Khutornyi, V. V. (2023). Analysis of solid solution decomposition in high-alloy austenitic steel. *System design and analysis of aerospace technique characteristics*, 33(2), 39-47. <https://doi.org/10.15421/472310>

СТРУКТУРА ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni ОТРИМАНОГО ШЛЯХОМ ГАРТУВАННЯ З РОЗПЛАВУ

Олександр Кушнерьов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9683-2041>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Валерій Башев

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3177-0935>

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Сергій Рябцев

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2889-5278>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Багатокомпонентні високоентропійні сплави (ВЕС) — це новий клас металевих матеріалів, які містять декілька основних елементів у рівних або майже рівних пропорціях. Вони привернули велику увагу матеріалознавців та інженерів через свої унікальні властивості та потенціал для застосування [1,2]. На відміну від звичайних сплавів, які базуються на одному або двох металах з незначними добавками інших елементів, ВЕС мають високу конфігураційну ентропію, що сприяє утворенню простих твердих розчинів з гранецентрованою кубічною (ГЦК), об'ємно-центральною кубічною (ОЦК) або гексагонально-щільноупакованою (ГЩУ) структурою. Деякі автори припускають, що тільки еквімолярні сплави у яких присутні лише прості тверді розчини ОЦК і ГЦК слід класифікувати як ВЕС. Для інших сплавів з високою конфігураційною ентропією, але з нееквімолярним складом або більш складною фазовою структурою, яка може включати впорядковані тверді розчини та інтерметалічні сполуки, були запропоновані інші визначення, а саме багатокомпонентні концентровані сплави або сплави з кількома основними елементами [2].

Серед переваг ВЕС — висока міцність, відмінні високотемпературні характеристики, хороша пластичність при низьких температурах, підвищена стійкість до корозії та окислення, ефект пам'яті форми, біологічна сумісність [1–5]. Кількість можливих композицій для ВЕС набагато більша, ніж для звичайних сплавів, що відкриває нові можливості для дослідження нових матеріалів із спеціальними властивостями.

ВЕС можна синтезувати різними методами, такими як ліття, порошкова металургія, механічне легування, адитивне виробництво та осадження тонких плівок. Методи синтезу можуть впливати на мікроструктуру та властивості ВЕС. Одним із поширеніших методів поліпшення хімічних, фізичних, механічних і інших властивостей металів і сплавів є швидке гартування. Цей метод передбачає охолодження розплаву зі швидкістю понад 10^4 К/с, що призводить до утворення широкого діапазону метастабільних структурних станів у сплавах, включаючи нанокристалічні та аморфні, з унікальними комбінаціями властивостей [4,5]. Отже, швидке гартування є перспективним методом отримання ВЕС з чудовими характеристиками .□

Сплави системи Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni активно досліджуються протягом останніх двох десятиліть завдяки їх видатним термічним і механічним властивостям [1,2,6-8]. Однак у більшості досліджуваних сплавів молярна частка алумінію не перевищувала 3. Водночас попередні дослідження вказують на те, що Al значно підвищує твердість основи сплаву CoCrCuFeNi. Тому представляє інтерес досліджувати сплав, у якому вміст алумінію перевищує це значення, а ентропія змішування при цьому залишається достатньо високою. ВЕС Al₄CoCrCuFeNi досліджено в роботі [7], однак його було отримано механічним легуванням елементних порошків. Метою даної роботи є дослідження, впливу швидкості охолодження при гартуванні із розплаву на структуру, фазоутворення та мікротвердість (H_{μ}) сплаву Al₄CoCrCuFeNi.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Високоентропійний сплав Al_{44.45}Co_{11.11}Cr_{11.11}Cu_{11.11}Fe_{11.11}Ni_{11.11} (ат.%) синтезували з чистих (99,9%) елементів у необхідній пропорції шляхом ліття в атмосфері аргону за допомогою високотемпературної електропечі Таммана.

Для досягнення композиційної однорідності сплав п'ять разів пепреплавляли, а потім відливали в мідну форму. Швидкість охолодження літого зливка становила $\sim 10^2$ К/с. Після цього зі зливку були отримані загартовані з рідкого стану (ЗРС) плівки. Гартування відбувалося за методом *splat*-охолодження, який полягав в тому, що крапля розплаву, яку видували аргоном під високим тиском, розтікалася по внутрішній поверхні мідного циліндра з високою тепlopровідністю, що швидко обертався (8000 об/хв) [4,5]. Швидкість охолодження, розрахована за товщиною плівок, дорівнювала приблизно 10^6 К/с. Рентгенофазовий аналіз (РФА) здійснювався на дифрактометрі ДРОН-2.0 у монохроматизованому Су Ка-випромінюванні.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Фазоутворення у ВЕС зазвичай характеризують за допомогою двох основних критеріїв: ентропії змішування (ΔS_{mix}) і ентальпії змішування (ΔH_{mix}). Проте, були запропоновані деякі додаткові параметри для прогнозування фазового складу таких сплавів [1,2]. Ці параметри включають концентрацію валентних електронів (VEC), термодинамічний параметр Ω , який враховує температуру плавлення, ентропію змішування та ентальпію змішування, а також різницю розмірів атомів (δ) між компонентами сплаву.

Розраховані значення ΔS_{mix} , ΔH_{mix} , δ , VEC та Ω для сплаву Al₄CoCrCuFeNi наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Електронні, термодинамічні та атомно-розмірні параметри сплаву Al₄CoCrCuFeNi

Сплав	ΔS_{mix} , Дж/(моль·К)	ΔH_{mix} , кДж/моль	Ω	VEC	$\delta [\%]$
Al ₄ CoCrCuFeNi	13.13	-11.46	1.59	6.22	6.15

Виходячи зі значення концентрації валентних електронів, наведеного в табл.1, можна очікувати, що в досліджуваному сплаві утвориться твердий розчин з ОЦК граткою. У той же час величина різниці розмірів атомів δ досить велика, що свідчить про можливість утворення впорядкованого твердого розчину.

За дифрактограмами (рис. 1) досліженого сплаву було встановлено його фазовий склад і параметри кристалічної гратки (табл. 2) у литому і ЗРС стані.

РФА показує, що як литі, так і ЗРС зразки сплаву Al₄CoCrCuFeNi містять фазу впорядкованого твердого розчину із граткою ОЦК (B2). Це підтверджує застосовність розглянутих раніше теоретичних критеріїв для прогнозування фазового складу даного сплаву. Водночас, порівнюючи рентгенограми, можна побачити, що інтенсивність надструктурних піків для ЗРС плівок помітно вища.

Якщо розглядати співвідношення інтегральних інтенсивностей $I^{(100)}/I^{(110)}$ дифракційних максимумів, що відповідають відповідно надструктурному максимуму (100) і звичайному максимуму (110), то для ЗРС плівки це відношення становить 17,8 %, а для литого зразка лише 5,4 %. Таким чином, очевидно, що литий сплав, поряд з впорядкованою фазою B2, повинен містити певну частку невпорядкованої ОЦК фази. Водночас ЗРС плівка, очевидно, практично не містить невпорядкованої фази. Це можна пояснити тим, що при високій швидкості охолодження впорядкована фаза, що утворюється в ЗРС плівці при достатньо високій температурі, залишається незмінною. У литому

зразку, охолодженному з невеликою швидкістю, достатньо часу для проходження процесів дифузії, а висока ентропія змішування сприятиме розпаду впорядкованого та появі невпорядкованого твердого розчину. Це припущення підтверджується результатами роботи [8].

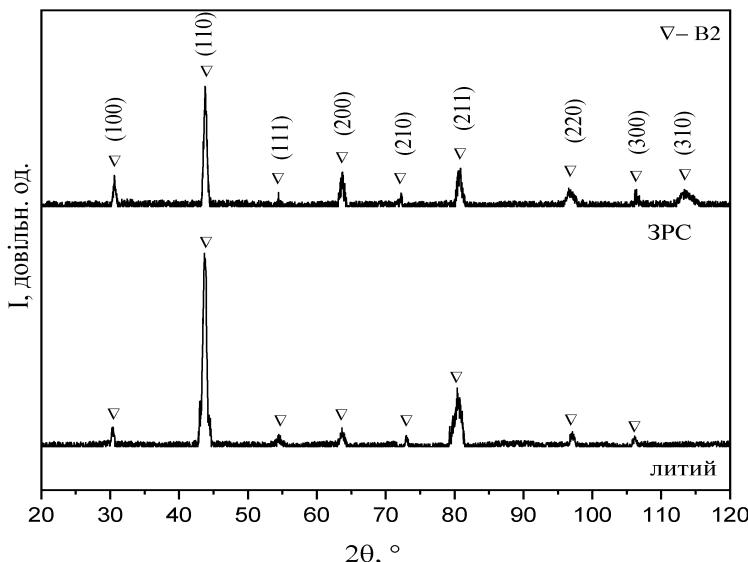


Рисунок 1 – Дифрактограмми зразків високоентропійного сплаву $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$

Таблиця 2 – Фазовий склад ВЕС $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$

Сплав	Фазовий склад
Литий $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$	Впорядкований ОЦК (B2) +ОЦК ($a = 0,2919 \text{ нм}$)
ЗРС плівка $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$	Впорядкований ОЦК (B2) ($a = 0,2916 \text{ нм}$)

Однак, згідно з моделлю, запропонованою в [9], високі значення ΔS_{mix} у цьому випадку не здатні стабілізувати однофазний невпорядкований твердий розчин, оскільки енталпії утворення бінарних сполук AlNi (-677 мeВ/атом), AlCo (- 629 мeВ/атом) і AlFe (-369 мeВ/атом) занадто низькі [9]. Усі ці сполуки мають впорядковану структуру B2, а з огляду на значення енталпії утворення очевидно, що утворення фази B2 у сплаві $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$ відбувається на основі сполуки AlNi ($a = 0,2881 \text{ нм}$). Наявність фази B2 AlNi була раніше підтверджена в сплавах системи AlCoCrCuFeNi [7]. Автори роботи [10] запропонували інший механізм переходу впорядкованої фази B2

в комбінацію невпорядкованої фази ВСС і впорядкованої фази В2 - через спінодальний розпад. Імовірність такого розпаду в сплаві $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$ підтверджується подальшими дослідженнями мікроструктури литого зразка. У ЗРС плівці процес розкладання не встигає протікати через високу швидкість охолодження.

Твердий розчин заміщення різномірних атомів із великою різницею в розмірах, електронний структурі та термодинамічних властивостях викликає високу твердість сплавів. Через ці відмінності кристалічна решітка зазнає значних і статистично рівномірних спотворень, що призводить до значного зміщення. У досліджуваному сплаві найбільші спотворення повинні давати атоми алюмінію, оскільки вони за розміром найбільше відрізняються від решти компонентів сплаву. Вимірювана мікротвердість литого сплаву становила $H_\mu = 6500$ МПа (усереднене по дендритним і міждендритним областям), тоді як мікротвердість зРС плівок була значно вищою і досягала $H_\mu = 9400$ МПа. Очевидно, що таке підвищення мікротвердості зРС плівок пов'язане головним чином зі збільшенням вмісту в них твердої та крихкої впорядкованої фази В2. Подібні значення мікротвердості отримано також у сплаві $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$, синтезованому механічним легуванням [7]. Інша причина такої різниці в мікротвердості, очевидно, полягає в тому, що ЗРС плівки $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$ були далекі від рівноважного стану і мали мікроструктуру, яка характеризувалася вищим рівнем мікродеформацій, щільністю дислокацій і меншими розмірами зерен, на відміну від литих зразків, які були в більш рівноважному стані.

Висновки

Досліджено вплив швидкості охолодження на структуру, фазоутворення та мікротвердість багатокомпонентного високоентропійного сплаву $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$. Рентгенофазовий аналіз дозволив встановити, що структура литого сплаву складається з впорядкованої фази В2 з параметром гратки $a = 0,2919$ нм та незначної частини невпорядкованої фази ОЦК. Під час гартування розплаву в структурі сплаву залишилася впорядкована фаза В2, а параметр гратки змінився до $a = 0,2916$ нм. Це підтверджує застосованість розглянутих у статті термодинамічних, електронних та атомно-розмірних критеріїв фазоутворення для прогнозування фазового складу сплаву $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$. Вимірювана мікротвердість загартованого сплаву досягала 9400 МПа і значно перевищувала мікротвердість литого сплаву (6500 МПа). Таким чином, збільшення швидкості охолодження під час гартування з рідкого стану покращує механічні властивості високоентропійного сплаву $\text{Al}_4\text{CoCrCuFeNi}$.

ПОСИЛАННЯ

1. Brechtl, J., & Liaw, P. K. (2021). *High-Entropy Materials: Theory, Experiments, and Applications*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-77641-1>.
2. Miracle, D. B., & Senkov, O. N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Materialia*, 122, 448–511. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>.
3. Polonskyy, V. A., Bashev, V. F., & Kushnerov, O. I. (2020). Structure and corrosion-electrochemical properties of Fe-based cast high-entropy alloys. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28(2), 176–185. <https://doi.org/10.15421/082019>.
4. Kushnerov, O. I., Bashev, V. F., & Ryabtsev, S. I. (2021). Structure and Properties of Nanostructured Metallic Glass of the Fe–B–Co–Nb–Ni–Si High-Entropy Alloy System. *Springer Proceedings in Physics*, 246, 557–567. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6_38.
5. Kushnerov, O. I., & Bashev, V. F. (2021). Structure and Physical Properties of Cast and Splat-Quenched CoCr0.8Cu0.64FeNi High Entropy Alloy. *East European Journal of Physics*, 3, 43–48. <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2021-3-06>.
6. Girzhon, V., Yemelianchenko, V., & Smolyakov, O. (2023). High entropy coating from AlCoCrCuFeNi alloy, obtained by laser alloying. *Acta Metallurgica Slovaca*, 29(1), 44–49. <https://doi.org/10.36547/ams.29.1.1710>
7. Ziaeи, H., Sadeghi, B., Marfavi, Z., Ebrahimzadeh, N., & Cavaliere, P. (2020). Phase evolution in mechanical alloying and spark plasma sintering of Al_xCoCrCuFeNi HEAs. *Materials Science and Technology*, 36(5), 604–614. <https://doi.org/10.1080/02670836.2020.1722912>.
8. Priputen, P., Noga, P., Novaković, M., Potočník, J., Antušek, A., Bujdák, R., Bachleda, E., Drienovský, M., & Nosko, M. (2023). Unconventional order/disorder behaviour in Al–Co–Cu–Fe–Ni multi-principal element alloys after casting and annealing. *Intermetallics*, 162, 108016. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2023.108016>
9. Troparevsky, M. C., Morris, J. R., Kent, P. R. C., Lupini, A. R., & Stocks, G. M. (2015). Criteria for Predicting the Formation of Single-Phase High-Entropy Alloys. *Physical Review X*, 5(1), 011041. <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.5.011041>.
10. Bai, K., Ng, C. K., Lin, M., Cheng, B., Zeng, Y., Wuu, D., Lee, J. J., Teo, S. L., Ng, S. R., Tan, D. C. C., Wang, P., Aitken, Z., & Zhang, Y.-W. (2023). Unexpected spinodal decomposition in as-cast eutectic high entropy alloy Al₃₀Co₁₀Cr₃₀Fe₁₅Ni₁₅. *Materials & Design*, 236, 112508. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112508>.

СТРУКТУРА ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД ПЛІВОК Fe–Si–B–Cu–Nb та Fe–Si–B–Ni–Mo

Сергій Рябцев

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2889-5278>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Олександр Кушнерьов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9683-2041>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Валерій Башев

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3177-0935>

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

Розробка нових матеріалів з високим рівнем функціональних характеристик і методів їх отримання є одним з найважливіших завдань. Від її вирішення залежить розвиток пріоритетних нині інформаційних,nano- та біотехнологій. В останні десятиліття велику увагу дослідників привертають матеріали з надзвичайно нерівноважною аморфною (склоподібною) структурою [1]. Сучасні методи гартування з рідкої або парової фаз, такі як лазерна обробка, електрохімічне осадження, екстремальні пластичні деформації [2,3], значно розширили спектр речовин, одержуваних у некристалічному стані. Поглиблене вивчення фізичних властивостей тонких металевих плівок стимулювалося використанням металевих конденсатів у мікроелектроніці та мікрохвильовій техніці. Перехід від сипучих матеріалів до плівок дозволяє розмістити до 10^8 елементів в 1 см³. Таким чином, вдосконалюючи методи одержання таких матеріалів і змінюючи умови осадження (температуру підкладки, щільність потоку, склад залишкових газів), можна цілеспрямовано впливати на структуру плівок у дуже широких межах [4]. Структурні характеристики тонких плівок тісно пов'язані з кінетикою утворення конденсату та вторинними процесами, що відбуваються під час і після конденсації. Тому розробка та дослідження нових плівкових структур, отриманих вдосконаленими методами осадження, є дуже важливими. Багатокомпонентні плівки на основі системи Fe–Si–B представляють особливий інтерес завдяки своїм магнітом'яким властивостям.

Метою цієї роботи є дослідження впливу іонноплазмового напилення на структуру та фазовий склад плівок на основі системи Fe–Si–B. Для дослідження були обрані багатокомпонентні плівки на основі заліза з таким складом: 73 ат.% Fe, 15,8 ат.% Si, 7,2 ат.% B, 4 ат.% Cu,

4 ат.% Nb (Fe₇₅SiBCuNb) та 78,5 ат.% Fe, 6 ат.% Si, 14 ат.% B, 1,5 ат.% Ni, 1,5 ат.% Mo (Fe_{78,5}SiBNiMo).

Плівки напилювали методом модернізованого триелектродного іонно-плазмового напилення (МТПН) [5₁₃]. Для цього методу при прискорювальній напрузі 2 кВ відомі теоретичні оцінки зміни кінетичної енергії осаджених атомів від 100 до 200 еВ при зниженні тиску плазмоутворюючого газу від 53 до 16 мПа [6]. Крім того, показана можливість отримання цим методом однорідних плівок незмішуваних бінарних металевих систем [4, 5]. Мішені для осадження плівок служили швидко охолоджені стрічки такого ж складу, отримані шляхом загартування з рідкого стану (ЗРС). Мішені являли собою паралелепіпеди розміром 20×20 мм і висотою 0,02 мм. Мішені знаходилися в 16 осередках, стінки яких служили електростатичними лінзами. У результаті, порівняно з традиційним триелектродним іонно-плазмовим розпиленням, енергія розпиленіх атомів до зіткнення з підкладкою збільшується в 5–7 разів. Швидкість релаксації енергії атома за таких режимів осадження теоретично оцінюється в 10¹²–10¹⁴ К/с [7], що на 7–8 порядків перевищує максимальні швидкості охолодження, які реалізуються під час швидкого загартування металів із рідкого стану (ЗРС). Це дозволяє говорити про надшвидке загартування з пароподібного стану (ЗПС).

Осадження проводили на ситалові (склокерамічні) підкладки та на свіжий скол монокристала NaCl. Товщина розраховувалася з вимірюваної маси плівки і варіювалася від 153 до 175 нм залежно від режиму, складу та часу нанесення (таб. 1).

Таблиця 1 – Умови отримання плівок методом модернізованого триелектродного іонно-плазмового напилення (МТПН).

Сплав	U _M , кВ	I _A , А	P, мПА	v, нм/с	d, нм	t, хв.
Fe ₇₅ SiBCuNb	2	0.8	17	0,16	153	16
Fe _{78,5} SiBNiMo	2	0.8	18	0,18	176	16

Де: U_M - прискорювальна напруга, прикладена до мішені; I_A - струм плазмового розряду; P - тиск плазмового газу; v - швидкість росту товщини плівки; d - товщина плівки; t - час осадження.

Плівки, нанесені на монокристалічну підкладку NaCl після розчинення солі, використовували для структурних досліджень методом трансмісійної електронної мікроскопії (TEM) та рентгеноструктурного аналізу у відфільтрованому кобальтовому K_α-випромінюванні. Для дослідження фізичних властивостей нерівноважних станів використовували плівки на склокерамічних підкладках. Електричні властивості та термічну стійкість плівок досліджували шляхом

вимірювання електричного опору при безперервному нагріванні та охолодженні зразка зі швидкістю $0,07 - 0,3$ К/с у вакуумі $\sim 13,3$ мПа чотирьох зондовим методом. Магнітні властивості зразків вимірювали за допомогою вібраційного магнітометра (ВМ) при кімнатній температурі в магнітному полі з максимальною індукцією $0,3$ Тл, прикладеному паралельно площині плівки.

У щойно нанесеному стані в плівках $\text{Fe}_{75}\text{SiBCuNb}$ зафікована аморфна структура, яка характеризується розмитим ореолом, що відповідає розміру області когерентного розсіювання (ОКР) $L \approx 1,6$ нм.

У плівках $\text{Fe}_{75}\text{SiBCuNb}$ фіксується нанокристалічна структура з розміром ОКР $L \approx 12$ нм. Ці розміри ОКР приблизно відповідають розмірам зерен, що дає змогу віднести структуру до нанокристалічної [8]. По точкам на температурній залежності, в яких починаючи з початку і кінця розпаду метастабільних станів, що виникають у плівках. Структура плівок ($\text{Fe}_{75}\text{SiBCuNb}$) демонструє стабільність до температури 773 К. Для цих плівок температурний коефіцієнт опору (ТКО) становить $(-21 \cdot 10^{-5}) \text{ K}^{-1}$. Плівки $\text{Fe}_{78,5}\text{SiBNiMo}$ стабільні до 703 К і характеризуються ТКО $(-0,9 \cdot 10^{-5}) \text{ K}^{-1}$. При 773 К для складу $\text{Fe}_{75}\text{SiBCuNb}$ і 703 К для складу $\text{Fe}_{78,5}\text{SiBNiMo}$ спостерігається початок розпаду метастабільних структур з появою перенасиченого твердого розчину $\alpha\text{-Fe}$.

Енергію активації процесів релаксації щойно напиленіх метастабільних структур оцінювали за температурною залежністю досягнення максимального значення відносної зміни електричного опору (R/R_0) , припускаючи, що максимальні значення R/R_0 для однофазного інтервалу, що досягається при різних швидкостях нагріву (V_{narp}), відповідають однаковому ступеню релаксації структури. У цьому випадку параметр $\tau_{\max} = (T_{\text{розп}}^2 / V_{\text{narp}})$ описується рівнянням типу Арреніуса і характеризує кінетику цього процесу ($T_{\text{розп}}$ – температура, при якій метастабільна структура починає розпадатися). По нахилу $\ln(\tau_{\max})$ до осі $(1000 / T_{\text{розп}})$ для різних швидкостей охолодження визначали значення енергії активації.

Розраховані за методом Кіссінджера значення енергії активації становлять 10400 ± 1200 К. Отримане значення в чотири рази менше значень енергії активації та середнього коефіцієнта дифузії в загартованому з рідкого стану сплаві $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$ (43000 К), визначеному по кінетичним параметрам [9].

Така різниця між енергіями активації для плівок і масивних зразків вже описана в літературі. Це можна пояснити майже двовимірністю досліджуваних плівок у порівнянні з фольгами, загартованими з рідкого стану, та геометричними факторами. Коерцитивна сила (H_C) щойно нанесених плівок вдвічі більша за H_C плівок чистого заліза і

становить 11 і 10 А/м відповідно. Після нагрівання плівок Fe₇₅SiBCuNb до 893 K Нс зростає в 1,1 раз, а у плівок Fe_{78,5}SiBNiMo в 1,2 раз, що пояснюється встановленням оптимального співвідношення між частинками нанокристалічного α -Fe та залишками аморфної фази.

ПОСИЛАННЯ

1. Yan, L., Yan, B., & Jian, Y. (2022). Fabrication of Fe-Si-B based amorphous powder cores by spark plasma sintered and their magnetic properties, *Materials*, 15(4), 1603, <https://doi.org/10.3390/ma15041603>
2. Girzhon, V.V., Yemelianchenko, V.V., Smolyakov, O.V., Razzokov, A.S., (2022). Analysis of structure formation processes features in high-entropy alloys of Al-Co-Cr-Fe-Ni system during laser alloying, *Results Materials*. (15), 100311-5.
<https://doi.org/10.1016/j.rimma.2022.100311>
3. Han, Y., Kong, F.L., Han, F.F., Inoue, A., Zhu, S.L., Shalaan, E., Al-Marzouki, F. (2016). New Fe-based soft magnetic amorphous alloys with high saturation magnetization and good corrosion resistance for dust core application *Intermetallics*. 76, 18-25 <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2016.05.011>
4. Bashev, V., Kushnerov, O., Kutseva, N., Popov, S., Potapovich, Yu. & Ryabtsev S. (2021). Films of immiscible systems obtained by three-electrode ion-plasma sputtering *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 721(1) 30–37. <https://doi.org/10.1080/15421406.2021.1905274>
5. Bashev, V.F. Beletskaya, O. E., Balyuk, Z. V., Ryabtsev, S.I. (2003). Effect of nonequilibrium vapor deposition on phase composition and properties of Fe-Mg films *Phys. Met. Metallogr* 96(1), 72–74
6. Dotsenko, F.F. Bashev, V.F. (2001). Fizychni peredumovy formuvannya nadnerivnovazhnykh staniv ta otsinka skladu napylenykh splaviv. *Visnyk Dnipropetrovskoho Universytetu. Fizyka. Radioelektronika. Dnipropetrovsk. DDU*. 7, 8–17.
7. Cantor, B. Editor. (1983) *Fast-Quenched Metals*. Metallurgy, 472
8. Ungára, T., Tichy, G., Gubicza, J., Hellmig, R. J. (2005). Correlation between subgrains and coherently scattering domains *Powder Diffraction*. 20(4), 366-375 <https://doi.org/https://doi.org/>
9. Vasiliev, S.V., Parfenii, V.I., Aronin, A.S., Pershina, E.A., Tkatch, V.I. (2021). The effect of transient nucleation behavior on thermal stability of Fe₄₈Co₃₂P₁₄B₆ metallic glass. *Journal of Alloys and Compounds*, 869, 159285 <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159285>

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНОЇ СТАЛІ КП-Т ПІД ВПЛИВОМ МОДИФІКАВАННЯ

Сергій Поліщко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4388-2317>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Тетяна Носова

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1591-8811>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Стелла Мамчур

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1600-6068>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

При виготовленні коліс для залізничного транспорту для пасажирських вагонів широко застосовують вуглецеві зносостійкі сталі. Всі зростаючі вимоги до якості залізничних коліс з такого матеріалу на світовому ринку та жорстка конкуренція викликають необхідність пошуків альтернативних рішень підвищення їх якості, окрім загальновідомих – легування і термічної обробки [1, 2]. Тому задача обробки розплавів багатофункціональними модифікаторами з підвищення рівня механічних властивостей і зменшення кількості та покращення морфології неметалевих включень є на сьогодення дуже актуальною [3, 4].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалами досліджень була колісна КП-Т, яку виплавляли в основній 250-ти тонній печі мартенівського цеху ВАТ «ІНТЕР-ПАЙП НТЗ». Цю дослідно-промислову сталь обробляли модифікаторами багатофункціональної дії, склад яких захищено патентами України [5]. Додавали модифікатори в розплав сталі КП-Т – на установці вакуумної обробки сталі (УВОС). Хімічний склад сталі визначали за ТУ У 35.2-23365425-600:2006 за допомогою хімічного аналізатору POLIVAK (табл. 1).

Для досягнення зменшення неметалевих включень використовували методи досліджень: хімічний і спектральний; електрономікрокопічний; металографічний; визначення механічних властивостей.

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі КП-Т

Масова частка, %										
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	[H]
0,61-0,69	0,70-0,90	≤0,4	≤0,025	≤0,02	≤0,4	≤0,25	≤0,3	0,08-0,15	0,013-0,030	≤2 ppm

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналогічні дослідження було проведено і для сталі КП-Т, результати яких зображені на рис. 1, 2 та наведено в табл. 2, 3.

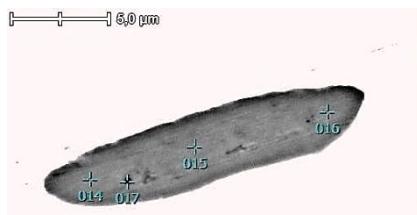


Рисунок 1 – Неметалеві включення в серійній сталі КП-Т, x6000



Рисунок 2 – Неметалеві включення в сталі КП-Т, яку оброблено багатофункціональними модифікаторами, x6000

Таблиця 2 – Неметалеві включення в серійній сталі КП-Т, x6000 (див. рис. 1)

№ точки	O	Al	S	Mn	Всього,%
014	0	0	32,88	67,12	100
015	0	0	32,99	67,01	100
016	0	0	33,26	66,74	100
017	5,50	10,69	29,93	53,88	100

Таблиця 3 – Неметалеві включення в сталі КП-Т, яку оброблено багатофункціональними модифікаторами, x6000 (див. рис. 2)

№ точки	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Всього,%
011	11,36	1,54	17,84	0	26,57	14,96	27,74	0	100
012	29,33	6,01	53,32	0	2,31	2,63	0	6,41	100

Визначено, що дія багатофункціональних сприяла підвищенню рівня механічних властивостей (рис. 3). Встановлено, що дія багатофункціональних модифікаторів забезпечила:

- - зниження кількості неметалевих включень;
 - - підвищення рівня механічних характеристик сталі КП-Т.
- Стабілізація хімічного складу і механічних властивостей відіграє

першорядну роль для якості сталевої арматури відповіального призначення через зниження ризику обривності і розвитку корозійних пошкоджень металу, а також транспортного металу.

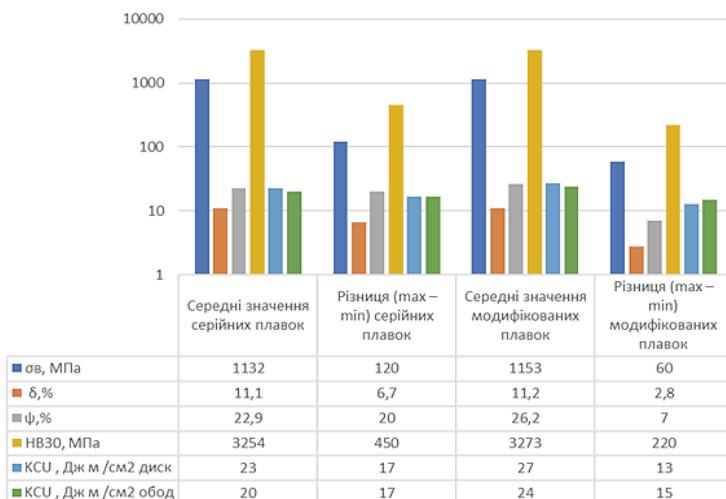


Рисунок 3 – Механічні властивості сталі КП-Т

ПОСИЛАННЯ

1. Polishko, S. (2019). Effect of processing at the steel vacuum processing unit (SVPU) on desulfurization of unmodified and modified KP-2 steel. *Technology audit and production reserves*, 1(3(45)), 4–8. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.157676>
2. Polishko, S. O. (2019). Influence of multifunctional modification on stabilization of chemical composition of wheel steels. *Journal of Chemistry and Technologies*, 27(1), 31–39. <https://doi.org/10.15421/081903>
3. Polishko, S. (2021). Complex effect of sulfur and phosphorus on the characteristics of wheel steel of KP-T brand before and after modification. *Technology audit and production reserves*, 2(1(58)), 11–14. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.229163>
4. Polishko, S. O. (2023). The Complex Influence of Chemical Modifier Elements on Improving the Quality of Wheel Steel by Out-of-Furnace Processing of Their Melts. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 45(1), 127–135. <https://doi.org/10.15407/mfint.45.01.0127>
5. Поліщко, С. О. (2011). Розкислювач-модифікатор для обробки розплавів сталей і сплавів: пат України (Патент України № 93684). Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара.

THE INFLUENCE OF MODIFICATION ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS

Tetiana Nosova

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1591-8811>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Stella Mamchur

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1600-6068>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

Requirements for objects are determined by the conditions of their operation. Two main groups of influences can be distinguished: mechanical and climatic. Mechanical impacts associated with the operation and transportation of products include overloads, vibrations, shocks, and acoustic loads. Climatic influences are characterized by the following components: temperature, pressure, humidity, dust.

In addition to climatic and mechanical influences, chemical, biological, radiation, magnetic, electrical, and electromagnetic influences are possible [1]. Ensuring resistance to mechanical, climatic, and other influences is necessary for the normal functioning of mechanisms, components, and parts. Atmospheric humidity causes corrosion of metals, swelling and loss of strength of non-metals.

OBJECTIVE AND TASKS

The work examines the choice of corrosion-resistant material for the brake housing of the wind power plant VEU-250, which is installed in areas with appropriate wind load. When developing this unit, it is necessary to consider climatic influences - temperature, dust, sand, sea water. The ambient temperature range during operation of the VEU-250 is usually (+60 ...- 60) C. The VEU consists of a foundation, a power cabinet including power contactors and control circuits, a tower, a ladder, a rotating mechanism, an electric generator, a system for monitoring the direction and speed of the wind, a brake housing, transmission, blades, and a rotor cap. The wind power plant is located at a high altitude (24-36 m), it is necessary that the structure has minimal weight.

Therefore, it is necessary to select a material for this part that would combine minimum density and high strength. Aluminum alloys fully

satisfy these requirements. This paper examines aluminum alloys.

MATERIALS AND METHODS

When comparing aluminum alloys, for example AL4S, AL5, AL9, the AL4S alloy has the best manufacturability (high ductility). The necessary plasticity is needed so that when drilling holes for the bolts (alternating and fatigue loads occur), thanks to which the housing is attached to the gearbox, the part does not collapse. In AL9, the ductility is the same as in AL4S, but the yield strength is significantly lower. Exposure to sea water and fog leads to the formation of a conductive medium on the surface of the part, and in the case of a potential difference caused by structural heterogeneity, corrosion destruction may occur (due to the appearance of a liquid conductive film of a salt solution).

The current sharply increases, leading to the dissolution of the anodic areas and the formation of pitting, which causes corrosive destruction. Therefore, the material and its manufacturing technology must provide the highest possible corrosion resistance [2, 3].

An analysis of methods for producing parts from aluminum alloys shows that for the part under development, made from AL4S material, it is better to use chill casting. This type of casting is cost-effective and significantly improves the mechanical properties of products. The economic feasibility of producing castings in a mold is determined by their serial quantity and the cost of manufacturing and the stability of the molds.

The work proposes a technology for modifying an aluminum alloy to improve mechanical properties, since in this alloy the mechanical properties change slightly because of heat treatment. Since the additions of modifying elements are usually very small, it is assumed that they do not have a noticeable effect on the phase composition of the alloy and affect its properties, the crystallization process, and the grain size of the main structural component.

An analysis of work [4, 5] related to the modification of aluminum alloys shows that a low concentration of elements reduces the grain size of aluminum. All of the listed elements, except boron, are among the transition elements of the fourth, fifth and sixth periods. Thus, the refinement of aluminum grains during crystallization is the result of a special interaction between these metals and aluminum.

Available literature data on the effectiveness of modifying aluminum with various transition metals, as well as some other factual data regarding the modification process, show the influence of modifiers on the grain size of cast aluminum grades of alloys A99 and alloy AL7, from which it follows that the effect of transition metals is more effective (degree of

grinding grains are higher), which is due to the smaller number of electrons on the - shell of their atoms.

RESULTS

When the concentration of modifying additives increases above a certain value, the modification effect does not increase, and in some cases even decreases, which is explained by the enlargement of particles of chemical compounds due to their coagulation. The results of changes in the microstructure after modification are shown in Fig. 1, 2.

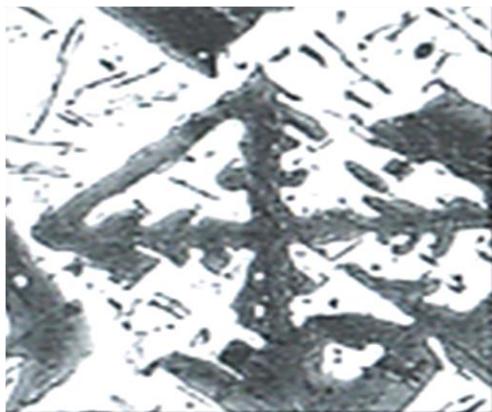


Figure 1 - Microstructure of not modified silimunes



Figure 2 - Microstructure of modified silimunes

The microstructure of modified silumin is a solid solution and fine eutectic.

Silumin AL4 is additionally doped with 0.2-0.3%. In this case, a phase is formed in the alloy, which is an effective hardener during heat treatment, therefore silumin AL4 is a thermally hardenable alloy [6]. AL4 alloy is used to cast large, medium-load parts that operate at temperatures up to 200 C. Aluminum-silicon alloys with 10-13% Si (AL2 alloy) are used for castings of complex shapes, which do not require high mechanical properties. With higher requirements for strength properties, special silumins are used - hypoeutectic silumins with 4-10% Si with the addition of copper, magnesium and manganese (AL3, AL4, AL5, AL6 and AL9 alloys).

Metallographic analysis was carried out on a sample cut from the part. The production of a metallographic section was carried out in concentrated acid. The microstructure consists of: - Al solid solution, + Si eutectic, AlSb intermetallic phases.

Tests carried out to determine the mechanical properties showed that after modifying the aluminum alloy, the tensile strength increased from 240 MPa to 270 MPa, hardness - from 70 HB to 85 HB, ductility - from 4% to 6%.

CONCLUSIONS

1) Research was carried out on modifying the AL4S alloy with sodium and antimony. The microstructure after modification consists of: -Al solid solution, +Si eutectic and AlSb intermetallic phases. The AlSb intermetallic phase is located in the center of the solid solution grains and contributes to the strengthening of the alloy after quenching and aging.

2) The basic principles of changes during aging and factors influencing changes in the structure of a material during aging have been studied. It has been shown that the performance properties of materials can be changed by appropriate heat treatment regimes. To improve the properties of the AL4S alloy, it is proposed to quench in heated water at a temperature of 535 C for 5 hours. After hardening, as in the basic process, there will be no 2-hour interval; we perform aging immediately at a temperature of 160 C for 12 hours and thereby save 6 hours in time. Cooling during hardening is carried out in water, and during aging in air. This mode is proposed to increase corrosion resistance, weldability and satisfactory machinability.

3) Tests for mechanical properties according to GOST 1497-84 showed that the tensile strength increased from 240 MPa to 270 MPa, hardness - from 70 HB to 85 HB, ductility - 4% to 6%.

4) Economic effect: from reducing heat treatment time, as well as from replacing equipment with cheaper ones.

5) The results obtained make it possible to use the AL4S alloy for the manufacture of parts for more critical purposes, as well as to increase the service life of the brake housing. Combining high casting and mechanical properties, AL4S is one of the best aviation casting alloys based on aluminum.

REFERENCES

1. Kalinina, N., Davydyuk, A., Kalinin, A., Nosova, T., Mamchur, S., & Savchenko, I. (2022). Advanced structure and power of aluminum alloys modified by dispersed compositions. *System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics*, 26(1), 80-84. <https://doi.org/10.15421/471912>
2. Kalinina, N., Davydyuk, A., Tsokur, N., & Nosova, T. (2023). Development of technology for modification of cast aluminum alloys with nanocompositions. *Journal of Rocket-Space Technology*, 31(4), 76-80. <https://doi.org/10.15421/452310>
3. Kalinina, N., Nosova, T., Kalinin, A., Mamchur, S., Shakhov, A., & Mamchur, I. (2019). Welding aluminium alloys refractory modifiers treatment – the effective method for characteristics increasing. *Journal of Rocket-Space Technology*, 27(4), 74-78. <https://doi.org/10.15421/451912>
4. Kalinina , N., Kalinin , V., NosovaT., Mamchur, S., Serzhenko I., & Neznaiko, S. (2021). Interaction of structure and properties in modified aluminum alloys. *Journal of Rocket-Space Technology*, 28(4), 96-102. <https://doi.org/10.15421/452013>
5. Dzhur, E., Kalinin, O., Dzhur, O., Nosova, T., & Mamchur, S. (2021). Advances in power of deformed aluminum alloys modified with nanocompositions. *Space science and technology*, 27(6), 98-104. <https://doi.org/10.15407/knit2021.06.098>
6. Nosova, T., Mamchur, S., Tsokur, N., & Komarov, M. (2021). Investigation of the process of modification of liquid aluminum alloys. *Visnik of Khnadu*, 94 (2), 55-59. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.55>

CHOICE AND JUSTIFICATION OF THE METHOD OF TITANIUM WELDING WITH PLATINUM

Anatolii Sanin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5614-3882>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Igor Mamchur

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9957-5685>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Tatyana Nosova

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1591-8811>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Stella Mamchur

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1600-6068>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

Protection of marine objects from corrosion is the main condition for their operation. Platinum and titanium in the form of foil (bimetal) are chosen as electrode materials. The manufacturing of electrodes for antifouling protection, which are based on the process of seawater electrolysis with a large area (more than 1000 mm²), is a challenge. Modern requirements to electrodes: the design should be non-disassembling; the strength of connection of Pt foil with Ti base should be not less than 0.9 strength of platinum foil; partial non-welding of platinum foil with titanium is not allowed; depth of penetration of titanium into platinum at any point of contact surfaces is not more than 10% of foil thickness; electrode corrosion should not exceed 0.5 mm along the entire length of the electrode; cracks, melting and displacement of foil is not allowed [1].

OBJECTIVE AND TASKS

The purpose of this work is the choice of technology for joining platinum foil and titanium, as well as the development of welding modes. The analysis has shown that diffusion welding of platinum foil with titanium alloys on the contact area of more than 1000mm² with ensuring a continuous weld and preserving the original dimensions of platinum foil requires additional research [2]. Regularities of distribution of welding temperature

and pressure, their influence on equal strength and quality of the joint at all points of contact, influence of technical parameters on the mechanism, structure and physical and mechanical properties of the given joint were investigated on samples with contact welding surface area not more than 1000 mm².

MATERIALS AND METHODS

Analysis of platinum-titanium system shows insignificant solubility of titanium in platinum of low-temperature modification and higher solubility in high-temperature modification of titanium. Ti₃Pt, TiPt, and TiPt₃ intermetallides are also formed. The use of fusion welding will lead to the formation of all the above phases in the molten zone. It is not possible to regulate their extent. Application of diffusion welding in vacuum allows to regulate the phase composition by changing the welding parameters. The following methods were used to study the phase composition of the platinum-titanium diffusion zone: metallographic analysis; X-ray diffusion analysis; X-ray diffusion analysis; micro-X-ray spectral analysis; electron microscopic analysis. Diffusion welding requires heating the parts to be joined to a certain temperature [3,4]. Factors such as welding temperature, structural shapes, dimensions of the products to be welded determine the choice of heating source. In this work we designed and manufactured a unit for pressure transfer by rotating rolls and investigated the possibility of obtaining welded joints between foil and substrate without thinning the foil. The influence on the strength of the welded joint of the main welding parameters, which determine the technological process: welding temperature; welding pressure in the welding zone; welding time; the amount of vacuum in the welding zone, was investigated on the designed unit with a fixture for pressure transfer by a flexible membrane.

RESULTS

Microstructural studies were carried out on samples in cross-section at magnifications x500, x4000 (fig. 1). The detailed structure of the diffusion zones was studied using a scanning electron microscope REM (fig. 2). Determination of the phase composition of the diffusion zones was carried out on the DRON-1.5 unit. The analysis was carried out to identify phases and mixture of phases. Since the diffusion zone of bimetallic compound platinum-titanium is a multiphase system, the X-ray diffraction pattern of this zone will have a continuous diffraction pattern. The intensity of the maximums of the X-ray diffraction pattern is proportional to the number of phases and is represented by one or two of the most intense lines, which

were preliminarily recorded for the initial joined metals. The most intense reflections fall in the angle range 20°-65°. The accuracy in determining the true value of the identity periods is approximately 0.0002 Angstrom.

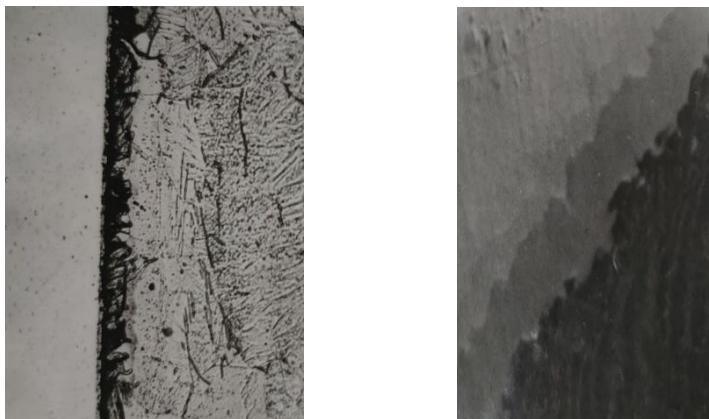


Figure – 1 Microstructure of the diffusion zone of platinum-titanium compounds (x500)

Figure 2 - Structure of transition zone of platinum-titanium diffusion junction in reflected electrons (x4000)



Figure – 3 Transition zone with probe traces at spot analysis of platinum-titanium compound obtained on the MS-46 instrument (Cameca, x500)

The micro-X-ray spectral analysis was carried out on a Cameca instrument by scanning and determining the composition by elements with a distance between points of 2 μ m in the direction perpendicular to the welding surface (fig. 3). The formation of the weld zone is determined by diffusion processes and affects the strength of the joint. Dwell time is the most significant factor determining the degree of development of diffusion processes. Welding was performed at the following regimes: T = 1138K, P = 6.37 MPa, τ = 900, 1800, 2700 s (fig. 4 a, b, c).

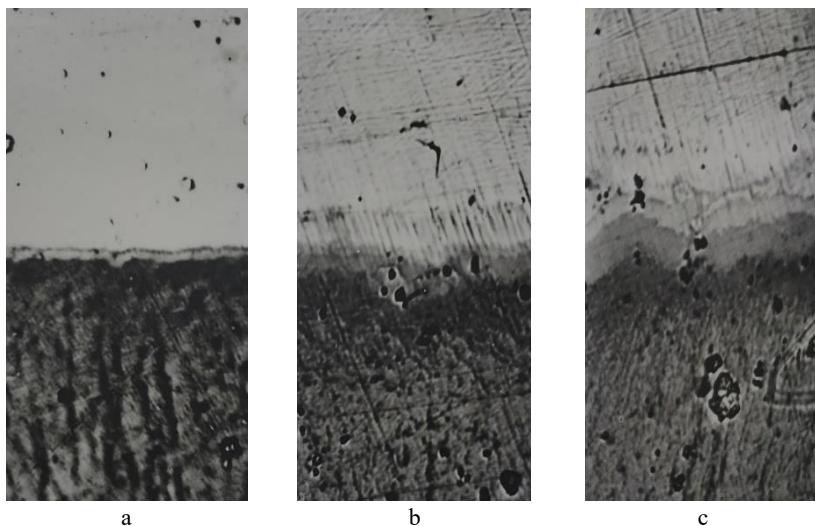


Figure - 4 Microstructure of the welded platinum-titanium joints obtained at the $T = 1138\text{K}$, $P = 6.37 \text{ MPa}$, (a: $\tau = 900\text{s}$, b: $\tau = 1900\text{s}$, c: $\tau = 2700\text{s}$, x500)

The microstructure shows etched titanium and platinum. On the titanium side, a diffusion zone is observed, which is of equal thickness throughout the weld. On the platinum side there are deflections towards titanium. It testifies that it is platinum that promotes intensive development of physical contact on the surface as the most plastic material and fills all microroughnesses on the surface of titanium. So with the increase of welding time up to 1800c the diffusion zone expands, there are areas of diffusion penetration into both platinum and titanium (Fig. 4b). The thin layer in the middle of the diffusion zone is primary, detectable at a welding time of 900c (Fig. 4a). With increasing dwell time, mutual diffusion of $\text{Ti} \rightarrow \text{Pt}$ and $\text{Pt} \rightarrow \text{Ti}$ takes place through it. Thus, the increase of welding time up to 1800s leads to the increase of the zone of diffusion interaction of components. At welding time 1800s the shape of the primary zone of diffusion interaction changes (Fig. 4c).

Here three zones of diffusion interaction are distinguished, their thickness is not uniform. The thickness of diffusion interaction zones determined by microstructure at 900s, 1800s, 2700s was $8.1 \mu\text{m}$, $25 \mu\text{m}$, $34 \mu\text{m}$ respectively. The data of micro-X-ray spectral analysis confirm the formation of mixtures of phases in the diffusion zone at $\tau = 900\text{s}$ phase composition: $\alpha + \text{Ti}_3\text{Pt}$; Ti_3Pt ; $\text{Ti}_3\text{Pt} + \text{TiPt}$; TiPt ; $\text{TiPt} + \text{TiPt}_3$; TiPt_3 ; γ (platinum) with a total width of $10.33 \mu\text{m}$. Similar composition but different

phase layer extents are formed at $\tau = 1800$ and 2700s . Mechanical strength tests have shown that the fracture point of the welded platinum-titanium joint is the zone of intermetallide TiPt₃. The optimum phase composition has a diffusion zone obtained at holding time 1800s . Optimal strength is determined by intermetallides Ti₃Pt and TiPt, zones of solid solutions and an insignificant amount of intermetallic phase TiPt₃ not isolated in a continuous intermetallic layer.

CONCLUSIONS

A method of diffusion welding in vacuum is proposed for joining dissimilar metals platinum and titanium.

Equipment for welding platinum-titanium electrodes with large contact surfaces has been designed and manufactured.

According to the experimental results, the method of increasing the reliability of the welded joint on large contact surfaces, which consists in increasing the welding pressure above 6.37 MPa , has been substantiated.

It has been established that the formation of the welded joint of platinum-titanium occurs by diffusion and sequential growth of intermetallic layers Ti₃Pt, Pt₃Ti and TiPt₃, as well as zones of solid solutions.

The optimum welding mode is: $T = 1138\text{K}$, $P = 6.37 \text{ MPa}$, $\tau = 1800\text{s}$, at which the total width of the diffusion zone is $30 \mu\text{m}$ with the thickness of intermetallide layers Ti₃Pt and TiPt - $4.2 \mu\text{m}$.

It was found that the fracture of the welded joint during mechanical testing occurs along the boundary of TiPt₃ intermetallide.

REFERENCES

1. Sanin, A., Dzhour, E., Mamchur, I., Mamchur, S., & Nosova, T. (2021). Influence of welding parameters on the performance characteristics of the thermocatodes. *Journal of Rocket-Space Technology*, 28(4), 88-95. <https://doi.org/10.15421/452012>
2. Polishko, S. (2021). Ways to increase plasticity in deformation of titanium alloys with minimization of energy costs. *Journal of Rocket-Space Technology*, 29(4), 124-131. <https://doi.org/10.15421/452113>
3. Sanin, A., Dzhour, E., Mamchur, I., Mamchur, S., & Nosova, T. (2022). Phase formation in the diffusion zone of titanium – platinum. *Metal science and heat treatment of metals*, 1(96), 40-43. <https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.240422.40.841>
4. Nosova, T., & Mamchur, S. (2023). Choosing a material for manufacturing thermionic cathode devices. *Challenges and Issues of Modern Science*, 1, 210-216. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/40>

OBTAINING MULTI-COMPONENT CHROME PLATED COATINGS FOR PRESS TOOLING EQUIPMENT

Borys Sereda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9518-381X>

Dniprovske State Technical University, Kamianske, Ukraine

Andrii Udom

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8029-4878>

Dniprovske State Technical University, Kamianske, Ukraine

INTRODUCTION

Composite materials like natural and synthetic rubbers are now integral to the metallurgical, textile, and chemical industries. These rubbers enable the creation of structural and tribotechnical products with superior damping properties, high elasticity, and corrosion resistance. Additionally, replacing metals with rubber decreases material consumption in structures and machinery, reduces the production time for parts, even those with complex shapes, and enhances corrosion resistance [1]. The manufacturing process utilized a 100-400 2E hydraulic vulcanization press, equipped with plates measuring 400 x 400. This method was employed to produce innovative elastomeric materials derived from a copolymer of vinylidene fluoride and hexafluoropropylene, along with ethylene-propylene rubber. The formulation of these materials incorporated carbonized fibers sourced from PAN (polyacrylonitrile), granite flour, and aluminosilicate micro-spheres, enhancing their properties. The inclusion of these additives aimed to improve the material's overall performance, providing superior strength, durability, and resistance to various environmental factors [2-3].

OBJECTIVE AND TASKS

The purpose of our study is to obtain multicomponent chrome coatings alloyed with titanium and aluminum to strengthen the working surfaces of parts operated under aggressive conditions on equipment for vulcanizing products from new elastomeric materials using modern methods of surface hardening of materials, including the SHS technology, with the main goal of developing new approaches to improve the mechanical properties and extend the service life of materials [4]. As part of this study, we plan to conduct a broad review of existing methods, thoroughly study the features of the SHS processes, conduct a series of experimental studies to

determine the optimal process parameters, and analyze the data obtained to determine the effectiveness of the SHS method for improving the mechanical properties of materials and extending the service life of machine parts and equipment for vulcanizing products from new elastomeric materials[5].

MATERIALS AND METHODS

We used samples from mass-production steels such as steel 20, steel 45, U8, 40H, 40H16M for coating. As reaction agents, we used mixtures of powders with a dispersion of 60-250 microns of the following materials. In determining the required dispersion of the reagents, we were guided by studies that found that the maximum completeness of the transformation is observed when using a reaction mixture with a fraction of 100-120 microns. The protective coatings on samples under the conditions of the SHS were obtained using the developed pilot plant DSTU12, consisting of the following main functional systems: reaction equipment; system for monitoring and controlling technological parameters; gas utilization system. Microstructure of structural materials with protective coating was studied from cross-sections on metallographic microscopes "Neophot-21" and "Neophot-32". The range of image magnification varies from $\times 100$ to $\times 500$ times.

RESULTS

Coatings obtained under conditions of self-propagating high-temperature synthesis have special characteristics. They are formed from a film of the applied product, similar to the gas-phase deposition process, and a wide transient diffusion zone, similar to diffusion saturation. These features allow SHS coatings to have superior properties compared to other analogs: they can have improved characteristics of the applied material (e.g., improved wear or thermal resistance compared to the base material) and high adhesion strength between layers of powders where particles of one material are covered by a layer of the other [6]. This provides a large contact area for the reagents, especially when small particles are used. Micron particle sizes also remain acceptable under these conditions. If the particles do not melt, reactions between reactants proceed through the solid phase by reaction diffusion. The low values of mass transfer coefficients in the solid phase can be compensated by increasing the contact surface. An important factor is also high temperature, which intensifies the processes. Under certain conditions, it is possible to achieve a pure solid flame regime in which all substances, including intermediates, remain in the solid state

[7]. By analyzing the reaction products, we can create a model of the process of formation of protective coatings under SHS conditions. Based on calculations of adiabatic combustion temperatures of SHS systems, we can solve the heat balance equation for the systems under consideration.

When chrome coatings are alloyed with titanium on the steels under consideration (fig 1.), phases are formed $(Fe,Cr)_{23}C_6$, $(Fe,Cr)_7C_3$, Cr_3C_2 , and phases: Fe_2Ti , Cr_2Ti . It was found that the alloying elements diffuse deep into the steel to a depth of 210 microns.

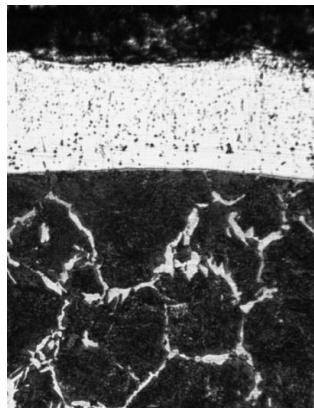


Figure 1 – Microstructures (x100) of titanium and chromium alloyed coatings on steel 45, ($t_u = 1000$ °C, $\tau_b = 30$ min.)

Al and Ti are evenly distributed over the thickness of the protective chromium coating. Unsteady-state temperature conditions lead to an increase in the concentration of alloying elements in chromium coatings, unlike isothermal conditions. Such a phase composition is explained by the fact that aluminum and chromium can be in a liquid state at the temperature of SHS treatment and diffuse into the substrate more actively than titanium. In addition, it should be noted that during the treatment process, aluminum can partially be in a liquid state, so titanium diffusion in this case will pass through the liquid phase, thus intensifying the coating formation process.

The thermodynamic modeling of thermochemical processes, which consists in the thermodynamic analysis of the equilibrium state of systems as a whole (full thermodynamic analysis), was carried out to study the mechanism of protective coating formation. Thermodynamic systems are conditionally distinguished material areas whose interaction with the environment is reduced to the exchange of heat and work. The use of thermodynamic modeling makes it possible to quantitatively simulate and

predict the composition and properties of complex heterogeneous, multi-element, multiphase systems over a wide range of temperatures and pressures, taking into account chemical and phase transformations. This makes it possible to effectively study thermochemical processes in existing high-temperature installations and optimize their conditions, predict the results of high-temperature interactions, dramatically reduce the time and cost of research, and successfully systematize theoretical and experimental information.

With increasing temperature, the amount of products in the gaseous phase increases and condensed products are released, it is characteristic that in the temperature range of 400-1600° K the share of condensed phase decreases, which is associated with the evaporation of the used carriers. simultaneously, starting from the temperature of 800° K, the decomposition of reaction products occurs, essentially chemical transport of elements takes place. The existence of limiting temperatures, up to which the propagation of the combustion front is possible, introduces certain restrictions on the use of the combustion mode as a technological one. On the contrary, the thermal autoignition mode is free from these restrictions, by diluting the initial powder mixture with an inert substance up to 85-90% wt. %, it is possible to reduce the maximum temperature of the process to the technologically necessary temperatures. The main compounds in the gas phase in the temperature range of 400 - 1600 K are as follows: SiCl, SiCl₂, SiCl₃, SiCl₄, SiI₂, SiI₃, AlI, AlI₂, AlCl, AlCl₂, CrCl₂, CrF, CrF₂, CrF₄, TiCl₂, TiCl₃, TiCl₄, as well as iodine in atomic and molecular form.

CONCLUSIONS

We obtained a titanium-doped chromium coating to strengthen the working surfaces of parts used in aggressive conditions on equipment for vulcanizing products made of new elastomeric materials based on a copolymer of vinyl dell fluoride and hexopropylene, ethylene-propylene rubber. When chrome coatings are alloyed with titanium on the steels under consideration, the following phases are formed (Fe,Cr)₂₃C₆, (Fe,Cr)₇C₃, Cr₃C₂, and phases: Fe₂Ti, Cr₂Ti. It was found that the alloying elements diffuse deep into the steel to a depth of 210 microns. Al and Ti are evenly distributed over the thickness of the protective chromium coating. Unsteady-state temperature conditions lead to an increase in the concentration of alloying elements in chromium coatings, in contrast to isothermal conditions. the surface microhardness of aluminum-alloyed titanium coatings is: on steel 20 – H₁₀₀= 8000 MPa (phases: on the surface of Fe₂Al₅, doped with Ti and TiAl, under it is a zone of solid solutions of FeAl and Fe₃Al, alloyed with titanium inclusions Ti₃Al, Fe₂Al₅). According to the results of X-ray

diffraction and metallographic analyses, it was found that the obtained coatings have a multiphase structure and are characterized by uniformity in thickness.

The main compounds in the gas phase in the temperature range of 400 - 1600 K are as follows: SiCl, SiCl₂, SiCl₃, SiCl₄, SiI₂, SiI₃, AlI, AlI₂, AlCl, AlCl₂, CrCl₂, CrF, CrF₂, CrF₄, TiCl₂, TiCl₃, TiCl₄, as well as iodine in atomic and molecular form.

REFERENCES

1. Vasmer, E. (2022) Preparation and characterization of composites containing natural rubber, wastes rubber and cellulose nanocrystals. Master's degree in advanced Materials Science and Engineering, p. 94
2. Kozub, Y.G., & Solodey, I.I. (2019) Vykorystannya MSE dlya obchyslennya termopruzhnogo stanu pnevmatychnykh shyin [Utilization of the finite element method for computing the thermoelastic state of pneumatic tires]. Opir materialiv i teoriya sporud. № 102. P. 232–242.
3. Kumar, V., Alam, M.N., Manikkavel, A., Song, M., Lee, D.-J., Park, S.-S. (2021) Silicone Rubber Composites Reinforced by Carbon Nano-fillers and Their Hybrids for Various Applications: A Review. Polymers. №13(14), 2322. <https://doi.org/10.3390/polym13142322>
4. Савуляк В.І. Наплавлення високовуглецевих зносостійких покрівтів/ Савуляк В. І., Шенфельд В.Й.// Монографія. Вінниця: ВНТУ, -2016. -124с.
5. Нові комбіновані методи оброблення робочих поверхонь деталей машинобудування (із застосуванням нейросітowego аналізу): монографія / С. В. Ковалевський [та ін.]. – Краматорськ: ДДМА, 2013. – 196 с.
6. Sereda, B.P., Baskovych, O.S., Kruglyak, I.V., Sereda, D.B., & Kruglyak, D.O. (2023) Otrymannia zakhysnykh pokryttiv z vykorystaniam kompleksnykh funktsionalno aktyvnykh shykht ta elektroosadzheniam [Obtaining protective coatings using complex functionally active layers and electrodeposition]. Kamianske: DDTU. 2023. 191 p.
7. Konovalenko, A.D., & Dragobetsky, V.V. (2003) Novyye napravleniya razvitiya SVS–tekhnologiy [New trends in SHS technologies]. Sistemnyye tekhnologii. № 6. P. 68–73.

ПРОБЛЕМАТИКА МАТЕМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ У РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Тетяна Кадильникова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0817-9466>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Ілля Савчук

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0422-0712>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Валерій Некрасов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9119-0529>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

В останні роки математичне розпізнавання образів знаходить все більше застосування в геоінформаційних системах: використання карт, дешифрування знімків, аналіз екранних відеозображен. Це завжди розпізнавання та аналіз графічних образів, їх вимірювання, перетворення, зіставлення. Дослідження, розробка, реалізація методів розпізнавання та оцінювання об'єктів на зображені є провідним напрямом у розвитку сучасної робототехніки. Здатність сприймати зовнішній світ у формі образів дозволяє дослідити властивості об'єктів та моделювати процес їх розпізнавання. Звідки витікає, що розпізнавання графічних образів складається зі створення системи правил для їх ідентифікації, класифікації та інтерпретації, що стає головним завданням при орієнтуванні у просторі робототехнічних систем.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

В даний час розроблено досить багато різноманітних методів розпізнавання об'єктів на зображені, але універсального методу для всіх умов розпізнавання не існує. Вибір конкретного методу залежить від багатьох умов, реалізація яких край необхідна в автоматизованих системах, що використовують можливості штучного інтелекту, та призначенні для вирішення завдань діагностики, моніторингу, прогнозування, управління складними системами. Такі методи теорії розпізнавання застосовуються для роботи з конкретним типом зображень, та, з точки зору конкретного завдання, доцільно обирати для цього найбільш оптимальний і досконалій метод.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Один з самих розповсюдженіх методів знаходження об'єкта на зображенні – шаблонний метод за простою відповідністю. Суть методу полягає в покроковому розпізнаванні вхідного зображення за шаблоном. При кожному кроці розпізнавання вимірюється ступінь відповідності ділянки зображення шаблону. Наприкінці розпізнавання виділяються частини зображення, яка найбільш відповідна шаблону. Відповідність може бути визначена також на базі характерних рис за умовами, що зображення і шаблон мають більше співпадінь за характерними рисами та контрольними точками ніж за цілим обrazом. В якості характерних рис можуть бути точки, криві або моделі поверхні, які порівнюються з шаблоном, для знаходження парних зв'язків.

Шаблонний метод може застосовуватися в комбінованому алгоритмі знаходження характерних рис та відповідностей шаблонів, що передбачає порівняння на піксельному рівні. Оскільки шаблони не мають помітних загальних характеристик зображення, то встановлюється відповідність за показниками інтенсивності шаблону та зображення, але при цьому спостерігаються випадки, коли це встановити неможливо. В такому разі використовують власне значення та власний простір, які містять інформацію, що потрібна для порівняння образів при різних умовах освітлення і контраstu контуру. Для шаблонного методу можна використовувати кореляцію зображень за умови різної інтенсивності початкового зображення та шаблону. Порівняння проводиться за рівнем подібності на основі кореляцій між шаблоном та оригіналом.

До переваг шаблонного методу відносяться відносно праста реалізація, висока точність розпізнавання, швидкість, надійна робота при відсутності перешкод. До недоліків можна віднести сильну залежність від шаблонів і складність підбору оптимальних шаблонів, а також досить повільну роботу при великій кількості перешкод, чутливість до обертання, шумів і споторенъ.

Якщо зображення об'єкта повернуте чи набагато більше шаблону, то метод співставлення з шаблоном буде малоефективним, й потрібно застосовувати методи, які засновані на особливих точках. Ці методи дозволяють співставити об'єкт зі схожими класами об'єктів, або співставити об'єкт сам з собою. Для кожного об'єкта на зображені можна знайти особливі точки інтересу і описувати ними сам об'єкт, що досягається шляхом використання детектора та дескриптора. До вибору особливих точок були висунуті наступні вимоги:

- відмінність - особлива точка повинна виділятися на тлі і бути

унікальною;

- інваріантність - визначення особливої точки повинно бути незалежним до афінних перетворень;
- стабільність - визначення особливої точки повинно бути стійким до шумів і помилок;
- унікальність - особлива точка повинна бути унікальною для поліпшення розрізнення повторюваних патернів;
- інтерпретованість - особливі точки повинні визначатися так, щоб їх можна було використовувати для аналізу відповідностей зображенням.

Одним з детекторів особливих точок зображення є детектор кутів Харриса. Детектор Харриса інваріантний до обертання, афінних змін яскравості, але чутливий до шумів та залежить від масштабів зображення, розглядає зображення, як функцію двох змінних I_{xy} . Для кожного пікселя зображення обчислюється значення особливої функції відгуку кута, для цього розраховується матриця Харриса.

Якщо об'єкт складний, але чітко виділяється, то застосувати можна контурний аналіз. Контурний аналіз дає змогу розпізнавати об'єкти на зображенні, маючи всю необхідну інформацію про форму об'єкта, при цьому до уваги не беруться внутрішні точки. Контурний аналіз базується на властивості яскравості та розривності, для пошуку яких використовують матрицю коефіцієнтів відповідно до пікселів вхідного зображення. При цьому градієнт рівня яскравості обирається у кожній точці, і, якщо зображення простору однотонне, то градієнт рівня яскравості низький. У вихідному положенні такі простори зображення темнішають, і, якщо рівень градієнта високий, на вихідному зображенні вони будуть яскраві.

Для знаходження контурів об'єктів на зображенні використовують метод лінійної фільтрації. У цьому випадку використовують наступні фільтри:

- різницевий амплітудний фільтр;
- максимальний різницевий амплітудний фільтр;
- фільтр Робертса.

Для знаходження контуру використовую ланцюговий код Фрімана. При використанні кода Фрімана будеться матриця напрямків, або матриця зв'язності центральної точки з усіма сусідніми точками. Кожний з восьми напрямків переходу від точки до точки кодується трьохбітним кодом, а початкова точка задається, і з неї починається виділення контуру. Контурний аналіз дозволяє вирішити основні проблеми розпізнавання образів – перенесення, поворт, зміна масштабу в зображенні об'єктів.

Ефективні результати в розпізнаванні об'єктів на зображенні та

відео дають згорткові нейронні мережі (CNN). Для організації згорткової нейронної мережі застосовується згортки, підвибіки, повнозв'язні шари. Першим кроком є вхідні данні “Input”, які містять інформацію про зображення, другий крок - шар згортки “Convolution”, в якому відбувається поелементний добуток, після чого всі ці добутки підсумовуються і записуються у нову структуру даних.

Згорткова нейронна мережа має велику кількість фільтрів, завдяки яким відбувається пошук характеристик, а кожна унікальна позиція введеного зображення виробляє число, яке записується у структуру даних. Наступний крок “Pool” - зменшення розміру зображень виконується за рахунок нелінійного ущільнення картки ознак, а саме, із частини пікселів обираються ті, що мають найбільше значення. Далі вступає наступний крок - блок нормалізації «Rectified linear units», який анулює ознаки які не грають важливої ролі у розпізнаванні образів, та блок “Fully connected layer”, що виводить N-вимірний вектор класів. В останньому кроці дані із попереднього кроку зрівнюються з тими типами об'єктів, які нейронна мережа навчилася розпізнавати. Така структура дає змогу нейронній мережі розпізнати різні обекти та показувати високий результат. По суті кожен шар нейронної мережі використовує власне перетворення, в результаті якого опрацювання правильно класифікують картинку або потрібний об'єкт на зображенні.

Для розпізнавання об'єктів на зображені найбільшого поширення отримав метод Віоли-Джонса, в якому використовується принцип сканованого вікна. Цей метод характеризується тим, що пошук об'єктів здійснюється за допомогою ознак Хаара, основою для яких є вейвлети Хаара.

Основні принципи методу Віоли-Джонса:

- інтегральне представлення зображень;
- використання ознак Хаара;
- обробка класифікатором всіх вхідних даних та видача результатів «вірно» або «невірно»;
- використання каскадів ознак для швидкого відкидання вікон, в яких не знайдено об'єктів.

Особливості, що використовуються у цьому методі, є прямокутні хвилі однакової довжини, які представляють собою 2 інтервали: один високий і один низький. Прямокутна хвиля при цьому представляє собою пару сусідніх прямокутників - один світлий і один темний.

Наявність функції Хаара визначається за допомогою вирахування середнього значення області світлих пікселів з середнього значення області темних пікселів і, якщо різниця перевищує поріг, тоді говорять, що функція Хаара існує.

Інтегральне представлення зображення - це матриця, розмір якої дорівнює розміру вихідного зображення. Елементи матриці розраховуються за формулою:

$$L(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \leq x, j \leq y} I(i, j), \quad (1)$$

де $I(i, j)$ - яскравість пікселя вихідного зображення.

Інтегральне зображення прораховується за один прохід, тому що розрахунок матриці займає лінійний час, пропорційний числу пікселів в зображенні.

Розрахунок матриці як суми пікселів довільного прямокутника довільної площині здійснюється за формулою:

$$L(x, y) = I(x, y) - L(x - 1, y - 1) + L(x, y - 1) + L(x - 1, y). \quad (2)$$

Сама найпоширеніша реалізація цього метода належить бібліотеці комп'ютерного зору OpenCV .

При застосуванні нейромережевих методів потрібно велика кількість обчислювальних ресурсів та часу, а це ускладнює застосування при швидкому розпізнаванні об'єкту. Отже, задача розпізнавання об'єктів може бути вирішена лише за конкретних умов. І тому на сьогодні дуже важливою і актуальною є розробка таких методів розпізнавання об'єктів на зображені, що можуть швидко і ефективно обробляти образи. Сфера застосування даних технологій вкрай велика і продовжує збільшуватися в робототехнічних системах.

Основне завдання в теорії розпізнавання образів зrozуміти, чи відповідають дані на зображені шуканому об'єкту, при цьому необхідно не лише виділити об'єкт, а точно вказати його положення та розмір в системі зображення.

При розпізнаванні виникає ряд труднощів, які обумовлені наступними чинниками:

- перешкоди та шум;
- складний текстурований фон, на якому відбувається виявлення об'єкту;
- ефекти загороджування одних об'єктів іншими об'єктами;
- оптичні ефекти: розфокусування, дисторсії об'єктивів, ракурсні спотворення та інші;
- різноманітність і змінність самих об'єктів, зміна структури зображені;
- ефекти різкої зміни освітлення: відблиски, тіні;
- дефекти та тимчасові зміни форми об'єктів;
- зміна середовища розповсюдження світла: пил, дим, опади;
- несинхронність реєстрації та обробки даних, збої в комп'ютерних програмах обробки.

Для вирішення задачі розпізнавання об'єктів на зображені на різних етапах застосовують різні методи і прийоми.

Задача розпізнавання складається з наступних етапів:

- попередня обробка;
- сегментація;
- фільтрація;
- розпізнавання об'єктів.

Основна мета попередньої обробки - зниження перешкод на зображенні та зовнішніх шумів.

Сегментація – це спрощення зображення через поділ його на сегменти. Спрощення відбувається на основі двох принципів: розривності та подібності. Розривність базується на визначені контурів, а подібність - на визначення порогового рівня та нарощування областей.

Фільтрація зображення проводиться з метою усунення різних шумів, що можуть причинити неточності та спотворення, які призводять до ускладнення процесу розпізнавання зображення та отримання бажаного результату.

Виділяють частотну і просторову фільтрацію. Частотна базується на методі Фур'є. Просторова фільтрація застосовується для покращення зображень і задач відновлення зображень. Покращення зображення – це видалення із зображення перешкод та шуму, підкреслення границь, зміна контрасту та надання зображенню форми, яка придатна для подальшої обробки. Відновлення зображення – це отримання зображення, близького до ідеалу. При рішенні цього завдання застосовуються фільтри, засновані на обчисленні середнього арифметичного; середнього геометричного; середнього гармонійного; на порядкових статистиках; на виборі середньої точки; на обчисленні максимуму і мінімуму, а також федійний фільтр.

РЕЗУЛЬТАТИ

Розпізнавання об'єктів – це кінцевий етап обробки зображень. Для вирішення задач розпізнавання використовують кореляційні, ознакові, синтаксичні, нормалізаційні методи. Кореляційні методи використовують при спостереженні за роботою роботів, виявлення і розпізнаванні зображень в системі навігації, охоронній системі та системі розпізнання.

Ознакові методи засновані на виділенні та зіставленні характерних ознак шуканого об'єкта з областью зображення, яка має ці ознаки. Синтаксичні методи полягають в отриманні структурно-лінгвістичних ознак, однакових для еталону і вхідного зображення. Методи нормалізації складаються з автоматичного обчислення невідомих параметрів перетворень за допомогою операторів, які призводить до того, що вхідні зображення доводяться до вигляду еталона.

Існує велика кількість методів обробки зображень, що дає змогу поліпшити якість аналізу і прискорити його, при цьому не існує універсального методу обробки, тому доцільно використовувати той чи інший метод саме під конкретні види зображень, що підвищить ефективність при обробці зображень.

Висновки

1. Розроблено та впроваджено алгоритм комп'ютерного зору для встановлення відповідності відеокадрів, отриманих з борту БПЛА під час польоту, фрагментам існуючої карти із зображенням місцевості.
2. Розроблено та реалізовано новий алгоритм позиціонування БПЛА за отриманими зображеннями, в якому для пошуку елемента зображення на карті місцевості використано метод пошуку відповідності шляхом створення шаблонів, що дозволило збільшити швидкість обчислень, а також зменшити ймовірність помилки пошуку та значно підвищити точність алгоритму.
3. Метод пошуку за шаблоном дозволяє знайти необхідну ділянку на карті з майже 100 % збігом, що робить цей метод більш точним, ніж матричний та інші.
4. Результати дослідження можуть бути використані як складова частина навігаційної системи БПЛА, що забезпечить роботу такої системи в умовах втрати сигналу глобальної супутникової навігаційної системи або в умовах активної радіоелектронної протидії.

ПОСИЛАННЯ

1. Шаповалов, О. Л., та ін. (2018). Аналіз конструктивних особливостей і технічних характеристик основних типів силових установок для безпілотних літальних апаратів. Технічні науки та технології, 2(8), 57–65.
2. Dowring, E. (2015). Fundamentals of Machine Vision with NI myRIO. Department of Electrical and Computer Engineering, Rose-Hulman Institute of Technology.
3. Szeliski, R. (2022). Structure from motion and SLAM. Computer vision: algorithms and applications, 543–594. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9_11

НАЗЕМНІ САМОРУХЛИВІ ПЛАТФОРМИ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Тетяна Кадильникова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0817-9466>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Максим Далік

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5021-867X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Сучасний етап розвитку науки і техніки характеризується різноманіттям розробок та інноваційних проектів щодо створення та використання наземних робототехнічних комплексів. Так, у Збройних силах США планується, що до 2030 року частка наземних робототехнічних комплексів складе 30% від загального складу бойових машин. За оцінками американських військових фахівців, бойові можливості підрозділів оснащених робототехнічними комплексами зростуть у 2-2,5 разу.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ НАЗЕМНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Перед розробниками постає глобальна та актуальна проблема, яка полягає в навчанні машин діяти самостійно згідно з обстановкою, що передбачає розробку та використання інтегрованих, комбінованих та уніфікованих засобів управління та зв'язку, впровадження телекомунікаційних комплексів із можливостями обробки великих потоків інформації, побудову систем зі штучним інтелектом на основі нейронних мереж. У роботах зі створення наземної робототехніки містяться описи проектних, конструкторських, інженерних, технологічних рішень, результати моделювання та експериментів зі створення та застосування робототехнічних комплексів різного призначення, виду та класу.

Метою цього дослідження є виявлення приватних тенденцій розвитку робототехнічних комплексів з урахуванням специфіки їх застосування у наземних умовах.

Одними з найпоширеніших видів наземної робототехніки є платформи, що саморухаються, з датчиками, оптико-електронними пристроями (фото- і відеокамерами), маніпуляторами, інженерним обладнанням. За призначенням та бортовим оснащенням наземні

робототехнічні комплекси можуть класифікуватися як розвідувальні, бойові (вогневі, ударні), інженерні, транспортні, тилові, допоміжні.

Вони проектируються та будуються за принципами забезпечення багатофункціональності та модульного конструювання. Машини та їх модулі оснащуються датчиками, комплектами приладів технічного зору, потужними обчислювачами, виконавчими пристроями, що забезпечують рух, навігацію, застосування корисного навантаження та бортової автоматичної зброї під час бою у польових та міських умовах.

В даний час існують саморухомі платформи трьох видів:

- дистанційно керовані - управління здійснюють оператори з проводів, оптико-волоконних кабелів із застосуванням виносних джойстиків, пультів, планшетів управління;
- телекеровані - управління здійснюють оператори радіоканалу з використанням засобів радіозв'язку, навігації, телекомунікації, станцій, пультів, планшетів, приладів і систем, розташованих на борту машин і на віддалених пунктах управління;
- автономно керовані - оснащені бортовими інформаційно-керуючими системами, що забезпечують включення апаратури модулів (блоків), функціонування за програмами, що заздалегідь введенні в бортові комп'ютери.

Найбільш відомими зразками наземної військової робототехніки США є носії, гусеничні та колісні платформи, розвідувальні, інженерні, транспортні та роботизовані бойові машини зі спеціальним обладнанням, виконавчими пристроями, відеокамерами, системами виявлення та розпізнавання цілей, автоматичною зброєю та боезапасом на борту [1].

Досвід США показує, що при розробці роботизованих платформ військового та цивільного призначення використовуються загальні підсистеми та елементи, засновані на передових досягненнях у галузі сенсорних пристрій, машинного зору, розпізнавання мовних команд, механічних маніпуляторів, математичного забезпечення [2].

За такої схеми, з одного боку – забезпечується впровадження результатів нових військових розробок у галузі робототехніки у цивільній області, а з іншого – випуск військової продукції не потребує наявності спеціальної військової промисловості.

Основною тенденцією реалізації цих проектів є дооснащення засобів, що перебувають на озброєнні, системами технічного зору, засобами автоматизації управління, каналами зв'язку та засобами управління рухом, побудованими на модульному принципі. Такий підхід дозволяє здійснювати швидке впровадження робототехнічних систем у спеціалізовані підрозділи.

Розглянемо докладніше технології та тенденції розвитку робототехнічних платформ військового призначення на основі аналізу відкритих джерел у галузі розвитку наземних робототехнічних засобів.

Наземні роботизовані комплекси сухопутних військ, на думку фахівців, здатні вирішувати широкий спектр завдань, основними з яких є [3-6]:

- виявлення, обстеження та знешкодження мін, фугасів та саморобних вибухових пристройів;
- ведення розвідки та спостереження;
- розкриття позицій снайперів, вогневих засобів, засідок та систем спостереження противника;
- обстеження будівель, споруд та окремих об'єктів;
- доставка матеріально-технічних засобів за місцем призначення.

В даний час більшість наземних роботизованих комплексів складаються з дистанційно-керованої машини та пульта управління та застосовуються для вирішення завдань розвідки місцевості, виявлення вибухових пристройів, розмінювання та інших завдань.

Сучасні саморухливі платформи

З дистанційно-керованих машин, що складаються на озброєнні США, найлегшою і малорозмірною вважається Recon Scout (вага - 1,3 кг, довжина - 200 мм, обладнана відео- та ІЧ-камерою). Одним із представників гусеничних роботизованих міні-машин є First Look 110 (вага - 2,2 кг; розміри - 250x230x100 мм; обладнана 4 відеокамерами з підсвічуванням) [7].

Дистанційно-керована машина SpyRobot випускається у двох варіантах - з шасі 4x4 та 6x6 (вага - 5 кг, розвідувальна апаратура включає теплові та оптичні датчики, а також радіолокаційну станцію із синтезованою апаратурою). Основними завданнями цього робота є розвідка у міських умовах, використання датчиків різного призначення у заданому районі, участь у пошукових операціях, розвідка можливих засідок та виявлення слабких місць у обороні противника.

В результаті модернізації машини SpyRobot була створена дистанційно-керована машина Dragon Runner для розвідки місцевості в районі ефективної дальності стрільби стрілецької зброї (вага – 9 кг, розміри – 230x200x75 мм, обладнана ІЧ-датчиками та відеокамерою) [8].

Іншим класом роботів є дистанційно-керовані машини Warrior 710 (вага – 157,4 кг). Вони призначенні для виявлення, транспортування та знешкодження вибухонебезпечних предметів, розчищення завалів, прорублення проходів та підйому ваги. У цьому напрямі

найактивніше працюють технологічно розвинені країни: Ізраїль, Південна Корея, Китай.

Відразу дві ізраїльські компанії зайняті розробкою автономних патрульних автомобілів, здатних здійснювати регулярні об'єзди по периметру заданої місцевості, фіксуючи будь-які зміни та самостійно додаючи перепони, одночасно передаючи інформацію на контрольний пункт. Першим об'єктом охорони, на якому будуть використані автономні патрульні автомобілі, зважаючи на все, стане аеропорт імені Бен-Гуріона. На даний момент ці автомобілі беззбройні, проте, за оцінками фахівців, вже найближчим часом на них можна буде ставити системи озброєнь. Автори проектів вважають, що за подібними автомобілями – майбутнє патрульної служби. Вони не втомлюються, не втрачають пильності, не засинають за кермом, і їхнє знищення не тягне за собою втрату у людських життях.

На виставці TADTE (Taipei Aerospace & Defense Technology Exhibition) у 2015 році міністерство оборони Тайваню представило нову дистанційно керовану машину, призначену для підвищення живучості та вогневої потужності підрозділів тайванської армії. Прототип легкої дистанційно-керованої бойової машини RCLCV (Remote-Controlled Light Combat Vehicle), розроблений 209-м військовим заводом у співпраці з Університетом Ченг Шу, призначений для забезпечення підтримки підрозділів у бойових операціях [9].

Як відзначають багато експертів, Китай має великий науково-технічний доробок і високий потенціал у галузі створення конкурентоспроможної робототехніки. Військово-промисловий комплекс країни результативно використовує розвинену мережу здобуття наукової, технічної, технологічної та виробничої інформації, включаючи передові розробки інших країн. Найближчими роками очікується поява китайських моделей і зразків наземної роботизованої бронетехніки на світовому ринку.

Висновок

Таким чином, одним із важливих напрямів удосконалення військово-промислового комплексу можна вважати створення та впровадження наземної робототехніки — транспортних машин, розвідувальних роботів для виконання завдань пошуку, виявлення, супроводу наземних цілей та вогневої підтримки підрозділів. Роботизовані бойові машини модульної конструкції можуть бути радіокерованими з постійним контролем дій з боку особи, яка приймає рішення, напівавтономними та автономними, здатними працювати самостійно в рамках свого завдання.

Проведений аналіз показав, що провідні технологічно розвинені країни розробляють робототехнічні платформи, які здатні з високим ступенем автономності вести дії без участі людини. Проте, аналіз перспективних проектів показує, що у недалекому майбутньому робототехнічні платформи, найрізноманітнішого призначення, впевнено займуть своє місце у наземній сфері воєнних дій. При цьому вже зараз можна констатувати, що широке застосування робототехнічних платформ призведе до докорінного перегляду основних принципів ведення війни з урахуванням не лише військово-технічних її аспектів, а й з урахуванням її психологічних факторів.

ПОСИЛАННЯ

1. Rossiter, A. (2020). Bots on the ground: an impending UGV revolution in military affairs?. In *Robotics, Autonomous Systems and Contemporary International Security* (pp. 161-183). Routledge.
2. Torossian, B., Bekkers, F., Sweijns, T., Roelen, M., Hristov, A., & Atalla, S. (2020). The military applicability of robotic and autonomous systems. Hague Centre for Strategic Studies..]
3. Струтинський, В. Б., & Гуржій, А. М. (2023). Наземні роботизовані комплекси.
4. Залипка, В. Д. (2022). Особливості створення та застосування наземних роботизованих комплексів у провідних країнах світу та Україні. Науковий вісник НЛТУ України, 32(4), 60-65.
5. Купріненко, О. (2023). Визначення можливостей застосування наземних роботизованих комплексів для вирішення завдань інженерної підтримки. *Scientific Collection «InterConf»*, (162), 290-295.
6. Мартинюк, І., Шматов, Є., Стаднічук, О., Погребняк, Т., Ларіонов, В., & Гоменюк, І. (2022). Роботизовані вогнеметні комплекси як перспектива розвитку вогнеметних підрозділів. Військово-технічний збірник, (27), 26-35.
7. Recon Scout XT Reconnaissance Robot. (2011). Homeland security technology. <https://www.homelandsecurity-technology.com/projects/recon-scout-xt-reconnaissance-robot/>
8. SHACHTMAN, N. (2000, 11 вересня). Little Dragon Runner 'Bot Gets a Grip. *Wired*. <https://www.wired.com/2008/09/video-little-dr/>
9. 2015 Taipei Aerospace & Defense Technology Exhibition (TADTE) exhibits. (2015). Asian Defence News. <https://asian-defence-news.blogspot.com/2015/08/2015-taipei-aerospace-defense.html>

МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕМАТИКИ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ РОБОТА У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ «1С МАТЕМАТИЧНИЙ КОНСТРУКТОР»

Галина Сокол

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6183-9155>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Володимир Дудніков

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7115-7086>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Тетяна Кадильникова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0817-9466>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Владислав Стешенко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2869-1766>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Створення нових робототехнічних систем у світі неможливо без застосування інформаційних технологій. Останні півстоліття інформаційні технології активно розвиваються як власними силами, так і у застосуванні до техніки. Застосування інформаційних технологій суттєво змінило стиль навчальних процесів при викладанні дисциплін з робототехнічних систем та комплексів. Наприклад, вже розроблені навчальні посібники з використання програмного середовища AutoCad при проектуванні та проведенні розрахунків механізмів [1-3].

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Метою роботи стала розробка методики з кінематичного аналізу первинного кривошипно-повзунного механізму промислового робота з використанням програмного середовища “1С Математичний конструктор”. При цьому вирішенні задачі:

використати встроєні функції програмного середовища для проведення проектування та кінематичних розрахунків кривошипно-повзунного механізму в конструкції ПР;

визначитися з функціями програмного середовища, що дозволяють провести анимацію рухів.

Опис програми «1С МАТЕМАТИЧНИЙ КОНСТРУКТОР» ТА ЇЇ ПРИЗНАЧЕННЯ.

Програмне середовище «1С Математичний конструктор» [4] – творче комп'ютерне середовище, що дозволяє створювати моделі, які поєднують конструювання, динамічне дослідження, анімаційний експеримент. Воно може бути використане на всіх етапах навчального процесу. Розробка методу кінематичного аналізу важільних механізмів, що є первинними у промислових роботів та маніпуляторах космічного призначення з використанням пакету прикладних програм «1С: Математичний конструктор» є актуальним науково-прикладним завданням.

Алгоритм рішення розвивається на прості обчислювальні процедури. Контроль за вірністю розрахунків студенти можуть виконати самостійно на кожному етапі рішення. На рисунках 1, 2 наведені інструменти, що використовує програмний комплекс «1С Математичний конструктор».

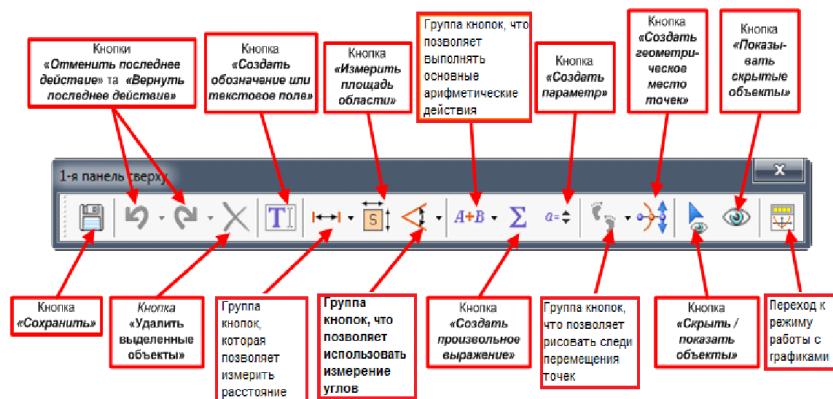


Рисунок 1 - Основні панелі та інструменти

Можна бачити, що в цьому виду програмування широко використовуються системи вбудованих функцій, які дозволяють легко виконати диференціювання, тобто. обчислити швидкості та прискорення особливих точок важільних механізмів. Ці результати дозволяють оцінити межі досяжності схопу та вибрати його траєкторію руху. Дане програмне середовище забезпечує наочне анімаційне представлення траєкторій руху точок ланок, зміни величин і напрямків векторів швидкостей та прискорень на екрані дисплею у часі [3]. Використання пакету прикладних програм «1С Математичний конструктор»

дозволяє ефективно вирішувати клас завдань із моделювання рухів кривошипно-повзунного механізму у складі роботів. Пакет прикладних програм «1С. Математичний конструктор» дозволяє розрахувати координати особливих точок важільних механізмів залежно від зміни угла провідної ланки (кривошипу) з будь-яким кроком, повний оберт становить кут 360 градусів.

Створимо кнопку для анімації руху механізму.

а. Ідемо за адресою Кнопки → Анімація. Нам необхідно вибрати пункт меню, тобто вказати точку, що має рухатися. У нашому випадку це точка А. Вибрали точку, вказуємо місце розташування кнопки. Натискаємо лівою кнопкою миші у потрібному місці.

б. Натискаємо правою кнопкою миші по створеній кнопці і вибираємо в контекстному меню пункт Властивості об'єкта. Відкриється вікно, де можна змінити налаштування анімації. Рекомендується код, який знаходиться у вікні, скопіювати, а спеціальну кнопку для анімації видалити. Після всіх опцій можна запускати анімацію.



Рисунок 2 - Панель інструментів, що використовується для побудови відрізків

РЕЗУЛЬТАТИ

На рисунку 3 показане моделювання кінематичних характеристик (швидкостей, прискорень) з використання програмного середовища в «1С Математичний конструктор» для окремого положення кривошипно-повзунного механізму.

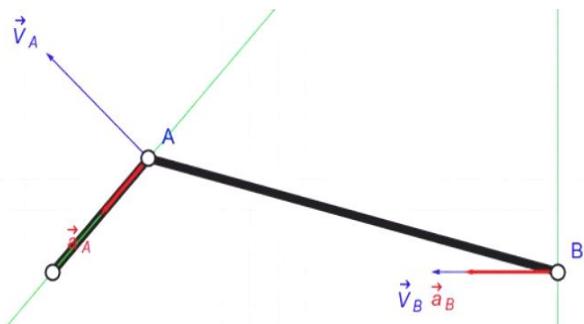


Рисунок 3 – Okреме положення кривошипно-повзунного механізму

Висновки

Розглянуто кінематичний аналіз кривошипно-повзунного механізму, що використовується у складі робота. Для моделювання рухів обраний пакет "1С Математичний конструктор". Це дозволило моделювати в анімації рухи ланок механізму і наочно зобразити вектори швидкостей і прискорень точок ланок.

Використання середи «1С: Математичний конструктор» дозволяє розвити у студентів вміння та навички у вирішенні традиційних інженерних задач з використанням ІТ технологій.

ПОСИЛАННЯ

1. Сокол, Г. І., & Дудніков, В. С. (2014). Проектування плоских важильних механізмів з використанням AUTOCad. Поліграфія.
2. Сокол, Г. І., Дудніков, В. С., Алексєєнко, С. В., Давидова, А. В., & Хоріщенко, О. А. (2015). Проектування та розрахунки зубчастих передач з використанням комп’ютерних технологій. Журфонд.
3. Сокол, Г. І., Алексєєнко, С. В., Юшкевич, О. П., & Дудніков, В. С. (2022). Сили, що діють у машинах. Розрахунки з використанням AUTOCAD. Ліра.
4. Сокол, Г. І., Юшкевич, О. П., Хоріщенко, А. А., Ткачук, В. С., & Лапік, А. І. (2016). Моделирование механизмов промышленных и космических роботов в программной среде «1С Математический конструктор». Вестник НТУ «ХПІ», 21(1193), 128-135.

ВИКЛИКИ І РОЗВИТОК АВІОНІКИ: СИСТЕМА ПЕРЕРИВАННЯ ПОЛЬОТУ

Валерій Мазуренко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8340-012X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Типовий склад систем авіоніки ракети-носія (РН) є таким: система навігації та керування польотом, система телеметрії та система переривання польоту (СПП). В певних випадках склад може бути розширеним, проте саме ці три компоненти обов'язково присутні в конструкції будь-якого носія. Всі три системи постійно модернізуються та удосконалюються в першу чергу завдяки розвитку електроніки, вимірювальних приладів та комп'ютерної техніки. Що стосується принципів їхньої побудови та функціювання, то тут є суттєва різниця між зазначеними системами. Якщо функції перших двох систем в цілому є однаковими для всіх ракет і відмінності стосуються лише апаратної та програмної реалізації, то для систем переривання польоту все зовсім інакше. Наразі існує, як мінімум, чотири різних принципи побудови цих систем, кожен з яких витікає з відповідної концепції забезпечення безпеки польоту. Розглянемо це питання більш детально, тобто розглянемо систему переривання польоту, її задачі, зв'язок з концепцією, виклики, які з'являються на шляху забезпечення безпеки польоту, та фактори, які формують облік системи.

БЕЗПЕКА ПОЛЬОТУ

В першу чергу треба почати з мети процесів забезпечення безпеки під час проведення пускових операцій, яка полягає в тому, аби ризики втрати життя, здоров'я, власності або завдання шкоди навколошньому середовищу знаходилися у дозволених межах. Значення рівня дозволеного ризику категоруються в залежності від вагомості наслідків та їх локації. Найменшим має бути ризик загибелі людей за межами космодрому [1]. Стандартним прийнятним значенням ризику події з катастрофічними наслідками вважається число $30E-6$ на одну місію. Оскільки ризик аварії РН значно перевищує це значення (на приклад, за даними статистики для нової ракети ризик аварії на ділянці польоту першого ступеню знаходиться в межах від 0.08 до 0.43 в залежності від досвіду фірми-розробника), то для забезпечення потрібного рівня ризику під час польоту РН необхідно звільнити певну,

наперед визначену зону вздовж розрахованої траси польоту. Цю територію називають «зоною безпеки». З цієї зони на період проведення пуску евакуюють всіх людей, які там можуть знаходитися, а також встановлюють заходи, аби в зазначену зону під час пуску не могли потрапити будь-які люди або транспорт, зокрема – авіаційний, або морський в разі виділення безпечної зони на морській акваторії.

Проте аварія РН може проходити за буд-яким сценарієм. В певних випадках рух аварійної РН може бути таким, що ракета вийде за межі виділеної зони і тоді вона може впасти на території, яка не належить до зоні безпеки, що в свою чергу може привести до катастрофічних наслідків. Аби запобігти такому сценарію необхідно вчасно перервати політ аварійної ракети. Цю задачу виконує спеціальна система, яка в фаховій англомовній термінології носить назву «система переривання польоту» (Flight Termination System), а в термінології, започаткованій в радянській школі ракетобудування, таку систему називають або системою безпеки носія (СБН), або системою виключення двигунів (СВД), системою автоматичної ліквідації (САЛ) та таке інше. Ще більш різноманіття в назвах цих систем у випадку пілотованого польоту, коли задача переривання польоту доповнюється задачею порятунку екіпажу космічного корабля. Найбільш розповсюджену назвою в цьому випадку є «система автоматичного порятунку» (САП).

РОЗВИТОК СИСТЕМ ПЕРЕРИВАННЯ ПОЛЬОТУ

Далі розглянемо лише системи без функції порятунку. Від початку розвитку ракетної техніки виділилося два принципово протилежні напрямки побудови системи переривання польоту. Перший передбачає задіяння СПП лише на основі показань датчиків гіроскопічної платформи. Другий – задіяння СПП відбувається на основі даних зовнішнього спостереження польоту ракети за допомогою радарів. Перший напрямок реалізовує повністю автономне автоматичне керування і він використовувався в радянській ракето-космічній галузі. Другий варіант потребує залучення оператора і саме він вимагався західними стандартами з безпеки польотів [2].

Як першій так і другій концепції побудови СПП притаманні свої недоліки та переваги. Автономна система активується в разі виходу кутів нахилу РН по каналу тангажу, рискання або крену за встановлені межі, про що сигналізують кінцеві вимикачі, встановлені на гіроплатформі. Система швидко та надійно реагує на аварійну ситуацію, оскільки ракета у випадку аварії втрачає сталість руху. Проте така система не може реагувати в разі введення помилкового польотного завдання.

Що стосується СПП за західною концепцією, то вона позбавлена вказаного недоліку автономної системи, проте вона більш повільна, значно дорожча в експлуатації, оскільки потребує задіяння системи радарів, а саме головне – у контурі керування з'являється оператор, тобто присутній людський фактор, що може привести до хиби: знищення нормальної ракети, або навпаки – продовження польоту аварійної ракети тоді, коли вона має бути знищеною. Ці дві концепції існували паралельно довгий час, оскільки обміну ракетами між радянськими або пострадянськими та західними державами ніколи не відбувалося. Ситуація змінилася з початком реалізації проекту «Морський старт», коли ракета «Зеніт», оснащена автономною СПП, потребувала дозволу від Федерального управління цивільної авіації США (FAA), яке у питаннях безпеки польотів базувалося на західній концепції. Не зважаючи на те, що система безпеки носія РН «Зеніт», яка виконувала функції СПП не відповідала вимогам західних стандартів, тим не менш вона отримала дозвіл та стала до експлуатації у складі космічного ракетного комплексу «Морський старт». Це стало можливим завдяки особливостям траєкторії польоту РН «Зеніт», яка проходить над поверхнею океану, де немає ані цивільних об'єктів, ані населення.

Цей прецедент надав потужного поштовху для зміни стандартів безпеки США. Сьогодні оновлені правила безпеки Східного та Західного полігонів [3] та FAA [1], так само як і новий стандарт НАСА [4] вже не вимагають конкретної побудови СПП. Вони просто встановлюють рівні ризики щодо падіння уламків ракети за межами визначеній зони безпеки. Ці кардинальні зміни дозволили компанії Space X створити абсолютно нову автономну СПП, яку в США вважають революційною. Її дали назву «автономна система безпеки польоту» (Autonomous Flight Safety System – AFSS), її ця назва вочевидь посилається до аналогічної системи РН «Зеніт». Система AFSS задля прийняття рішення щодо переривання польоту використовує телеметричну інформацію від інерційної навігаційної системи та інформацію від супутників GPS. Таке рішення по-перше, значно зменшило витрати на один пуск, оскільки немає потреби у використанні радарів безпеки. По-друге, компанія Space X змогла різко збільшити кількість пускових операцій, оскільки відпала необхідність узгодження термінів задіяння радарів безпеки між місіями різних компаній, які запускають свої ракети з одного полігону. Розробка AFSS почалася на початку 10-х років, коли ще діяли старі стандарти щодо безпеки польоту, тому AFSS реалізувала вимогу наявності двох джерел про прийняття рішення на переривання польоту, якими в даному випадку є система телеметрії та дані GPS-навігації.

Висновки

Таким чином, можна зробити висновок, що не зважаючи на довгу історію використання тої чи іншої концепції побудови такої системи авіоніки як система переривання польоту, завжди існують певні шляхи її уdosконалення, підвищення ефективності та надійності. Конкретна реалізація системи по кінцевому рахунку має відповісти наявній задачі, а в особливих умовах мають використовуватися спеціальні підходи. Зокрема, умови проведення випробувальних пусків ракет різного типу на території України характеризуються високою щільністю населення, відсутністю значних вільних зон, навіть над поверхнею моря. Тим не менш, задачі пусків слід вирішувати, а безпека населення, збереження власності та зовнішнього середовища має бути безумовно за-безпечена. Треба відзначити головне: задля отримання можливості створення дійсно ефективних систем авіоніки необхідно, аби керуючі документи, як то: правила, стандарти, положення або настанови, – опи-рували не директивними вимогами до структури або конструкції сис-тем, а базувалися на методах керування ризиками, тоді проєктанти та інженери будуть мати значно ширше поле для пошуку оптимального технічного рішення. Й саме тут криється виклик для розробників сис-тем авіоніки, бо наразі в Україні не існує жодного нормативного доку-менту, який би визначав вимоги до безпеки польоту ракет, і це тоді, коли країна через необхідність захисту свого суверенітету відновила створення нових зразків ракетної техніки та, водночас, продовжує збе-рігати, свій науковий та технологічний потенціал, який відповідає ста-тусу ракетно-космічної держави.

ПОСИЛАННЯ

1. Flight Safety Analysis Handbook. Official edition. 2011. 224 p.
2. EWR 127-1. Eastern and Western Range Safety Requirements. Of-ficial edition. 1997.
3. AFSPCMAN91-710V7. Space Systems Command Manual. Effec-tive from 2022-12-27. Official edition.
4. NASA-STD-8719.25. Range Flight Safety Requirements. Effective from 2018-02-05. Official edition.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГРАМИ КУТА ТАНГАЖУ ДЛЯ ВИВОДУ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ НА КРУГОВІ ОРБІТИ

Руслан Кеба

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9490-1254>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Анатолій Кулабухов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1139-4829>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Кругові орбіти широко використовуються космічними апаратами (КА) для виконання їх цільового призначення. Зокрема кругові орбіти використовують всі супутникові системи зв’язку, навігаційні супутники а також супутники дистанційного зондування Землі. де важливим елементом є стабільність угрупування у часі. А стабільність угрупування у просторі на даному етапі можна підтримувати тільки на кругових орбітах. Вивід КА на кругові орбіти здійснюється ракетоносіями (РН). Запуск РН відбувається зі стартового столу, де РН знаходиться к вертикальному положенні, а кінцева дільниця передбачає отримання вектору швидкості по місцевому горизонту, з величиною швидкості, яка відповідає круговій швидкості на даній висоті. Виконання цих вимог забезпечується вибором програми тангажу в процесі польоту. Існують декілька способів створення програми тангажу [1-5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи – створення методичного забезпечення для автоматизованого визначення програми зміни кута тангажу РН при виводі КА на кругові орбіти.

Об’єкт дослідження – процес руху РН на активній ділянці. Предмет дослідження – програма кутового руху РН по куту тангажу.

РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо задачу створення програми кута тангажу ракетоносія РН з інерційною системою наведення для виводу КА на кругову орбіту. Опис руху РН в цьому випадку доцільно розглядати в інерційній системі координат (СК). Для виведення КА на кругову орбіту в

кінцевій точці активної ділянки траєкторії (АДТ) вектор швидкості повинен мати лише горизонтальну складову (відносно місцевого горизонту) і відповідати заданій швидкості на заданій висоті. В орбітальній системі координат програма зміни кута тангажу буде мати вигляд показаний на рис. 1.

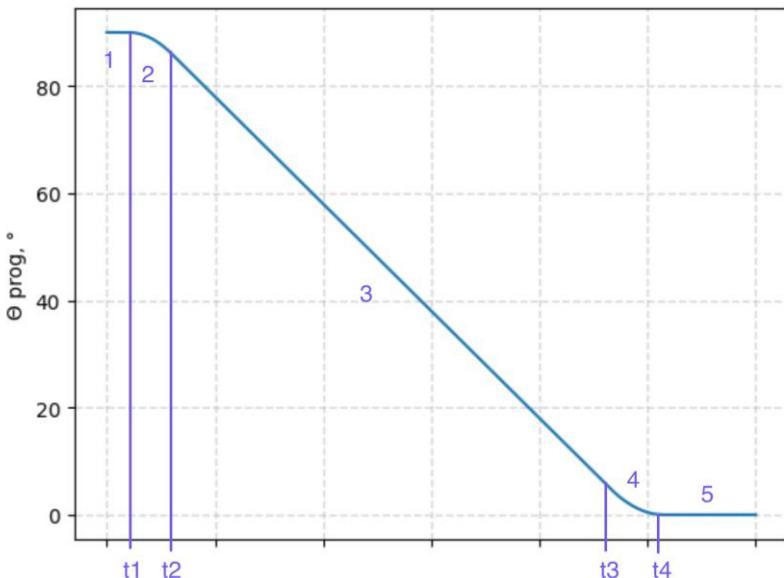


Рисунок 1 – Програма зміни кута тангажу

В загальному випадку програму тангажу можна розділити на 5 ділянок:

1. ділянка вертикального руху;
2. ділянка розвороту по куту тангажу (прискорення);
3. ділянка руху по куту тангажу з постійною кутовою швидкістю;
4. ділянка розвороту до нульового кута (гальмування);
5. ділянка руху з нульовим кутом тангажу (вихід на кругову орбіту на заданій висоті).

Описати зміну кута тангажу математичною функцією в цьому випадку складно.

В інерційній СК в кінцевій точці АДТ кут тангажу не буде дорівнювати нулю, тому зручно використовувати орбітальну СК, в якій кут тангажу в кінцевій точці буде дорівнювати нулю. Для цього доцільно

програму тангажу скласти в орбітальній СК і потім перерахувати в інерційну СК. Зв'язок між інерційною і орбітальною СК показаний на рис. 2.

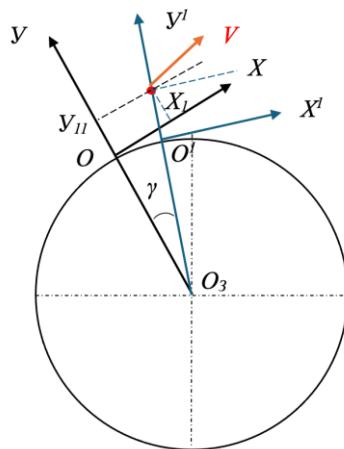


Рисунок 2 – Зв'язок інерційної і орбітальної систем координат

На рис. 2 введені наступні позначення:

УОХ – інерційна система координат;

У1О1Х1 – орбітальна система координат;

x_1, y_1 – координати ракети в інерційній системі координат;

Θ – кут тангажу в інерційній системі координат;

Θ_1 – кут тангажу в орбітальній системі координат;

γ – центральний кут повороту орбітальної системи координат відносно інерційної;

\dot{x} – проекція швидкості на ось Х в інерційній системі координат;

\dot{y} – проекція швидкості на ось У в інерційній системі координат.

Встановим залежність між кутами тангажу в інерційній і орбітальній СК. Кут тангажу в інерційній системі координат буде визначатися виразом

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{\dot{y}}{\dot{x}}.$$

В орбітальній системі координат значення координати ракети по осі Y^1 буде

$$y_1^1 = R_3 + h,$$

де R_3 – радіус Землі;

h – висота орбіти.

Центральний кут в інерційній системі координат можна визначити наступним чином

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{x_1}{R_3 + y_1}.$$

Зв'язок між кутами тангажу в інерційній і орбітальній системі координат буде

$$\theta^1 = \theta + \gamma.$$

При виводі КА на кругову орбіту кінцеве значення кута тангажу в орбітальній системі координат повинно дорівнювати нулю. Тоді в інерційній системі координат в програмі тангажу на кінцевій дільниці польоту повинно виконуватися умова

$$\theta = -\gamma.$$

На підставі аналізу зміни швидкості та програм тангажу запропоновано вибір програму тангажу за законом

$$\theta = \operatorname{arctn} \frac{\bar{V}_x}{\bar{V}_y}$$

з урахуванням практичних результатів вимірювання цих величин на РН. За основу були взяті характеристики зміни цих швидкостей на РН Falcon 9 FT, які наведені на рис. 3.

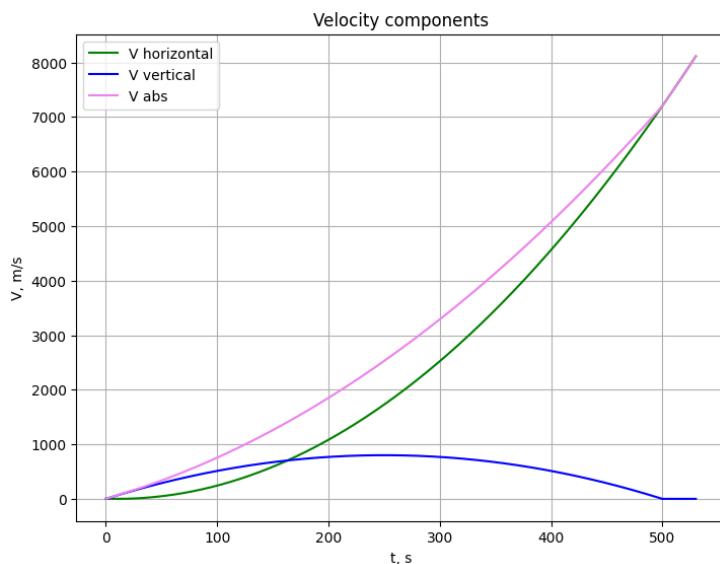


Рисунок 3 – Характер зміни горизонтальної і вертикальної складових швидкості РН

Кожну із цих складових швидкості можна описати певною математичною залежністю. На першому етапі запропоновано описати ці залежності параболічними функціями у вигляді:

$$V_x(t) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } t < t_1 \\ k_1(t - t_1)^2 & \text{якщо } t \geq t_1 \end{cases}$$

$$V_y(t) = -k_2(t - t_{cp})^2 + V_{ymax}$$

де t_1 – час вертикального зльоту РН;

t_{cp} – середній час польоту РН на активній дільниці;

k_1 і k_2 – постійні коефіцієнти, які знаходяться з умов отримання кінцевої швидкості на заданій висоті і максимальній швидкості V_{ymax} по горизонтальній складовій швидкості.

Для параболічної залежності

$$k_1 = \frac{V_{kp}}{(t_k - t_1)^2}$$

$$k_2 = \frac{V_{kp} - V_{ymax}}{t_{ch}^2}$$

де V_{kp} кругова швидкість, яку потрібно досягти РН на заданій кінцевій висоті;

t_k – час польоту РН на активній дільниці.

За даними польоту РН Falcon 9 FT з використання запропонованої методики була визначена програма зміни кута тангажу, яка наведена на рис. 4.

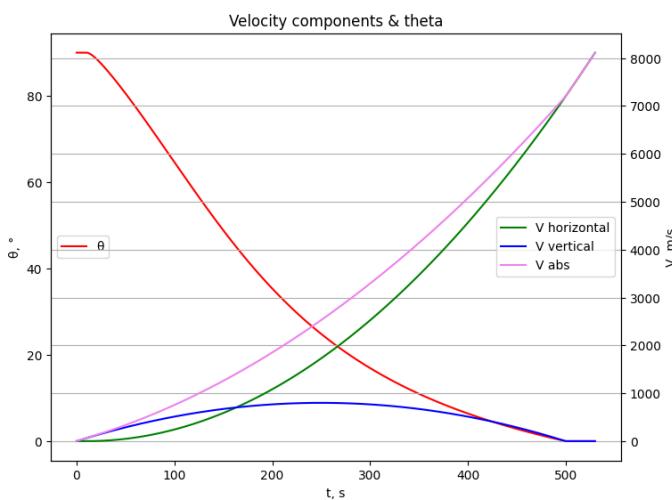


Рисунок 4 – Програма зміни кута тангажу по запропонованій методики

Висновки

Запропонована методика розрахунку програми зміни кута тангажу РН з інерційною системою наведення для виведення КА на кругові орбіти з використанням аналітичних залежностей опису швидкостей в горизонтальному і вертикальному напрямах.

Використані параболічні залежності зміни швидкостей показали що кутовий рух РН по запропонованій методиці в значної мірі співпадає з реальним рухом.

В подальшому передбачається знайти оптимальні варіанти програми тангажу в залежності від різних законів зміни вертикальної та горизонтальної складової швидкості.

Посилання

1. Гайда, П. І., Трофименко, П. Є., & Ляпа, М. М. (2011). Основи теорії польоту і конструкції ракет.
2. de Volo, G. D. C. B., Naeije, M., Roux, C., & Volpi, M. (2017). Vega launchers' trajectory optimization using a Pseudospectral transcription. In Proc. of European Conf. for Aeronautics and Space Sciences (pp. 1-15). <https://doi.org/10.13009/EUCASS2019-710>
3. Dwi, L., Herlambang, S., & Muhammad, R. D. (2017). Optimization pitch angle controller of rocket system using improved differential evolution algorithm. *International Journal of Advances in Intelligent Informatics*, 3(1), 27-34. <http://doi.org/10.26555/ijain.v3i1.83>
4. Keba, R., & Kulabukhov, A. (2023). Analysis of the methods and models of movement of rocket launchers in the active section of the trajectory. *Journal of Rocket-Space Technology*, 32(4), 76-82. <https://doi.org/10.15421/452331>
5. Wang, X., Dai, P., Cheng, X., Liu, Y., Cui, J., Zhang, L., & Feng, D. (2022). An online generation method of ascent trajectory based on feed-forward neural networks. *Aerospace Science and Technology*, 128, 107739. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107739>

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРОВАНОГО РУХУ ДРОНА-КВАДРОКОПТЕРА

Людмила Гарт

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2617-7851>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Володимир Ружевич

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2127-4387>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА, або дрони) стають наразі нагальною темою досліджень. Дрони є ефективним інструментом для моніторингу навколошнього середовища і забезпечення досягнення локацій, недоступних людині; їх активно використовують у військових цілях, таких, як розвідка, пристосовують для роботи в агресивному середовищі, для польотів у відкритому космосі та ін. На даний момент найпопулярнішим видом БПЛА є дрон-квадрокоптер через досить просту конструкцію та великий спектр завдань, що можуть бути вирішенні за його допомогою. Однак, керування рухом дрона-квадрокоптера є складною задачею, яка вимагає розробки ефективних методів та алгоритмів для досягнення бажаних результатів. Числове дослідження керованого руху дрона-квадрокоптера стає важливим інструментом для дослідження його поведінки та оптимізації траєкторій польоту. Це відбувається з використанням апарату та методів теорії керування, спрямованих на формулювання та розв'язання крайової задачі необхідних умов оптимальності принципу максимуму Л.С. Понтрягіна з урахуванням обмежень на керування та на степені свободи дрона (так званих фазових обмежень), що регулюють його поведінку у просторі. Тому розробка й удосконалення існуючих систем керування дронами, а також пошук ефективних математичних методів для їх дослідження є актуальною проблемою у сфері системних досліджень.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Метою роботи є аналіз керованого руху дрона-квадрокоптера, що передбачає виконання наступних завдань: дослідження фізичних основ поведінки дрона-квадрокоптера та уточнення математичної моделі його руху на основі якісного аналізу існуючих моделей; формулювання оптимізаційної задачі та з'ясування її властивостей; конструювання на базі апарату функціонального аналізу і теорії оптимізації

обчислювальних схем та програмних засобів розв'язання задачі оптимізації траєкторії польоту дрона-квадрокоптера; аналіз та інтерпретація отриманих результатів дослідження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Математичну модель руху дрона складемо у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь, відповідно до [1]:

$$\dot{X}(t) = f(X(t), u(t)), \quad t_0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

де $X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_{12}(t))^T$ – шукана векторна функція на $[t_0, T]$, яка характеризує процес керованого руху дрона і відображає всі ступені свободи, а саме, положення центру мас та орієнтацію дрона у просторі в кожен момент часу t ($t_0 \leq t \leq T$); $u(t) = (u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t))^T$ – шуканий вектор параметрів керування, що визначають хід процесу і являють собою зусилля кожного з чотирьох моторів дрона в проміжку часу $[t_0, T]$; $f(X(t), u(t)) = (f_1(X(t), u(t)), f_2(X(t), u(t)), \dots, f_{12}(X(t), u(t)))^T$ – відома векторна функція, яка описує внутрішній устрій дрона і враховує вплив зовнішніх факторів. Межі t_0 та T проміжку змінення часу вважатимемо фіксованими. Рівняння руху (1) доповнимо обмеженнями на змінні стану системи та керування:

$$X(t_0) = X^{(0)}; \quad (2)$$

$$X(T) = X^{(1)}; \quad (3)$$

$$X(t) \in G(t), \quad t_0 \leq t \leq T; \quad (4)$$

$$U = \{u(t) \in L_2^{(4)}[t_0, T]: u_{min} \leq u_i(t) \leq u_{max}, i = \overline{1, 4}\}, \quad (5)$$

де $X^{(0)}$ та $X^{(1)}$ – відомі вектори з \mathbb{R}^{12} ; $u_{min} \geq 0$ та $u_{max} > 0$ – задані величини, що визначають ресурс керування; $G(t) \subset E_{12}$ – множина фазових обмежень ($t_0 \leq t \leq T$).

Для формульовання задачі керування рухом дрона визначимо цільовий функціонал, математичний зміст якого розглядаємо як критерій оптимальності керування. Відомо, що через конструкційні особливості каркас дрона-квадрокоптера має бути значно легшим за ротори на кінцях каркасу, через що вага каркасу є дуже обмеженою. Відомо також, що дистанційний дрон-квадрокоптер має електричне живлення електромоторів від акумулятора, який розміщено в каркасі дрона. З цього випливає, що якісний дрон має оптимально використовувати заряд акумулятора для здійснення польоту, переміщення, маневрів, аби подовжити час своєї роботи; в протилежному випадку, довелося б збільшувати об'єм акумулятора, що, звісно, не вважалося б якісним рішенням. Отже, цільовий функціонал, що характеризує загальну інтенсивність використання роторів із плинном часу, доцільно розглядати у вигляді

$$J(u) = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^4 u_i^2(t) dt \quad (6)$$

Для мінімізації функціонала (6) за умов (1)–(5) застосуємо метод штрафних функціоналів [2], який дозволяє звести задачу (1)–(6) до задачі оптимального керування з вільним правим кінцем за рахунок введення «штрафів» на умови (3) на правому кінці траекторії та на фазові обмеження (4). Отже, розглядатимемо таку задачу оптимального керування: знайти нижню грань функціонала

$$\tilde{J}(u) = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^4 u_i^2(t) dt + P(u) \quad (7)$$

за умов (1), (2), (5), де через $P(u) > 0$, $u \in U$ позначено штрафний функціонал. Функціонал (7) за умов (1), (2), (5) є обмеженим знизу ($\inf \tilde{J}(u) > 0$, $u \in U$) та опуклим на опуклій замкненій обмеженій множині (5) з гільбертового простору $L_2^{(4)}[t_0, T]$ векторних функцій $u = (u_1, u_2, u_3, u_4)$, $u_i(t) \in L_2[t_0, T]$ ($i = \overline{1, 4}$) зі скалярним добутком

$$(u, v)_{L_2^{(4)}[t_0, T]} = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^4 u_i(t) \cdot v_i(t) dt, \quad \forall u, v \in L_2^{(4)}[t_0, T]$$

та нормою елемента

$$\|u\|_{L_2^{(4)}[t_0, T]} = \sqrt{(u, u)_{L_2^{(4)}[t_0, T]}} = \sqrt{\int_{t_0}^T \sum_{i=1}^4 u_i^2(t) dt}, \quad \forall u \in L_2^{(4)}[t_0, T].$$

Крім того, функціонал (7) за умов (1), (2), (5) є неперевно-диференційованим на множині U і його градієнт задовольняє на U умову Ліпшиця. Зазначені властивості, на підставі узагальненої теореми Вейерштрасса, дозволяють стверджувати, що функціонал (7) за умов (1), (2), (5) досягає своєї нижньої грани на U . До розв'язання оптимізаційної задачі (7), (1), (2), (5) будемо застосовувати метод умовного градієнта, збіжність якого випливає із загальної теореми про збіжність цього методу у гільбертовому просторі [2, 3].

РЕЗУЛЬТАТИ

Розроблений програмний продукт містить реалізацію методу штрафних функціоналів та методу умовного градієнта у поєднанні з допоміжними процедурами розв'язання відповідних задач Коши. Для реалізації консольної програми було використано мову програмування Java в середовищі програмування IntelliJ IDEA Community Edition 2020.3.3. Чисельні експерименти було проведено з початковими параметрами математичної моделі, визначеними в роботі [4] з

урахуванням [1]: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $m = 1,44 \text{ кг}$; $l = 0,225 \text{ м}$; $k_l = 1$; $b = 1$; $I_x = I_y = 0,0151 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_z = 0,0253 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $A_x = A_y = A_z = 0,25 \text{ кг/с}$. Модель досліджувалася на проміжку змінення часу $[t_0, T] = [0, 1]$ з обмеженнями на компоненти керування $u_{min} = 0$, $u_{max} = 1$. Під час застосування вказані методи було побудовано сіткову апроксимацію сформульованої задачі оптимального керування із застосуванням узагальненої квадратурної формули Сімпсона та реалізовано ітераційні алгоритми мінімізації розширеного сіткового функціонала з адаптованим варіантом вибору крокового множника. Виконано якісний аналіз отриманих числових та графічних результатів; сформульовано відповідні висновки щодо практичної збіжності, точності та алгоритмічної складності реалізованих алгоритмів.

Висновки

Результати досліджень можуть бути використані у подальшій науковій роботі авторів під час вдосконалення математичної моделі керування рухом дрона-квадрокоптера та покращення стійкості такої моделі із застосуванням відповідних регуляризуючих алгоритмів [5].

Представлене дослідження було частково профінансоване Міністерством закордонних справ Чеської Республіки в межах проєкту № 23-PKVV-UM-4 «Підтримка підвищення якості викладання, наукових досліджень та міжнародної діяльності в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара (ДНУ)», реалізованого Карловим університетом і ДНУ.

Посилання

1. Luukkonen, T. (2011). *Modelling and control of quadcopter: Independent research project in applied mathematics*. Espoo: Aalto University. 26 p.
2. Vasiliev, F. P. (1974). *Lectures on methods for solving extremal problems*. MSU Publishing House. 376 p.
3. Гарт, Л. Л. (2013). Проекционно-итерационная реализация метода условного градиента минимизации функционала в гильбертовом пространстве. *System research and information technologies*, 3, 104–117.
4. Нагайко, Д. Ю. (2018). *Система керування пошуково-рятувальним безпілотним літальним апаратом*: магістерська дисертація, 126 Системи керування. Київ: КПІ. 158 с.
5. Гарт, Л. Л. (2017). *Проекційно-ітераційні методи розв'язання операторних рівнянь та задач несікіченновимірної оптимізації*: Дис. ... д-ра фіз.-мат. наук, 01.05.01, МОН України. Дніпро: ДНУ. 293 с.

Огляд можливостей платформи ARDUPILOT для розробки систем керування автономними літальними апаратами, стійкими до радіоелектронної боротьби

Олександр Таран

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3744-9155>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Сучасні автономні літальні апарати (АЛА) активно застосовуються в різних галузях, включаючи військову, комерційну та дослідницьку. Однією з основних проблем, з якою стикаються розробники таких систем, є загроза радіоелектронної боротьби (РЕБ). РЕБ включає в себе різні методи перешкоджання та придушення електронних систем керування, що може привести до втрати контролю над АЛА або їх пошкодження.

Платформа ArduPilot представляє собою потужний та гнучкий інструмент для розробки систем керування автономними літальними апаратами. Вона забезпечує широкий спектр можливостей для налаштування, симуляції та тестування, що дозволяє створювати надійні та стійкі до РЕБ системи. Завдяки підтримці різних типів апаратного забезпечення та інтеграції з численними симуляторами, ArduPilot надає розробникам ефективні засоби для перевірки і вдосконалення своїх розробок.

Огляд платформи ARDUPILOT

Платформа ArduPilot є однією з найпопулярніших та найпотужніших відкритих платформ для розробки систем керування автономними літальними апаратами (АЛА). Вона забезпечує широкий спектр можливостей для розробників та інженерів, включаючи підтримку різних типів апаратного забезпечення, гнучкість налаштувань, та інструменти для симуляції і тестування.

Основні можливості та переваги ArduPilot

- Підтримка різних типів АЛА:

ArduPilot підтримує широкий спектр автономних апаратів, включаючи мультикоптери, літаки, вертольоти, автомобілі, човни та навіть підводні апарати. Це робить платформу універсальною та гнучкою для різних застосувань.

- Інтеграція з різними сенсорами та обладнанням:

Платформа підтримує інтеграцію з численними сенсорами, такими як GPS, IMU, компаси, барометри та інші, що дозволяє точно визначати положення та орієнтацію апарату в просторі.

- Розширені можливості керування польотом:

Ardupilot пропонує розширені можливості керування, включаючи автономні місії, автоматичний зліт та посадку, утримання позиції, слідування за об'єктами, та багато інших режимів польоту.

- Гнучкість налаштувань:

Користувачі можуть налаштовувати параметри системи для оптимальної роботи в різних умовах. Це включає налаштування PID-регуляторів, параметрів живлення, та різних поведінкових параметрів.

- Симуляції та тестування:

Платформа надає можливості для проведення симуляцій як у віртуальному середовищі (Software In The Loop, SITL), так і з використанням реального обладнання (Hardware In The Loop, HITL). Це дозволяє тестувати та налагоджувати системи керування без ризику пошкодження реальних апаратів.

- Підтримка відкритого коду:

Ardupilot є проектом з відкритим вихідним кодом, що дозволяє спільноті розробників з усього світу брати участь у його розвитку. Це забезпечує постійне вдосконалення платформи та швидке впровадження нових функцій.

- Гнучкість налаштувань та адаптивність

Ardupilot дозволяє користувачам адаптувати систему до специфічних вимог та умов експлуатації. Наприклад, можна налаштовувати параметри польоту для різних режимів, таких як стабілізація, альтхолд, лоітер та інші. Крім того, Ardupilot підтримує створення користувачьких скриптів для виконання специфічних задач, що робить платформу надзвичайно гнучкою та потужною.

Симуляції в ARDUPILOT

Симуляції є важливою складовою розробки систем керування автономними літальними апаратами (АЛА) на платформі ArduPilot. Вони дозволяють тестувати нові алгоритми, перевіряти налаштування та проводити відлагодження без ризику пошкодження реальних апаратів. ArduPilot надає різноманітні інструменти для симуляцій, що робить її надзвичайно корисною для розробників.

Одним із головних методів симуляції є Software In The Loop (SITL). SITL — це симуляційне середовище, яке дозволяє запускати код автопілота на комп'ютері без використання реального апарату. Це моделює фізику руху апарату та інтегрує віртуальні сенсори, що

дозволяє проводити комплексні тести віртуально. Використання SITL забезпечує безпечне тестування експериментального коду та налаштувань без ризику пошкодження реальних апаратів. Це особливо корисно для тестування автономних місій, налаштування режимів польоту, встановлення геозон та перевірки реакцій на різні сценарії відмов.

Ще одним важливим методом є Hardware In The Loop (HITL). HITL — це метод, при якому реальний автопілот підключається до симуляційного середовища, що дозволяє забезпечити більш реалістичне тестування. Це досягається завдяки тому, що автопілот взаємодіє з реальними датчиками або їх симулаторами, що забезпечує точнішу перевірку роботи системи та виявлення можливих проблем. HITL забезпечує тестування в умовах, максимально наближених до реальних, дозволяючи оцінити коректність місій, роботу фізичних захистів (на-приклад, парашути) та комунікаційної інфраструктури.

Однією з можливостей для реалізації HITL-симуляції є використання симулатора X-Plane. Цей популярний симулатор польоту може бути інтегрований з Ardupilot для створення потужної HITL-симуляції. X-Plane імітує дані датчиків і GPS, що дозволяє тестувати поведінку літака в реальних умовах. Налаштування X-Plane включає встановлення параметрів комунікаційних портів та швидкості передачі даних для точного зв'язку між X-Plane і Mission Planner. Це дозволяє проводити перші тестові польоти для перевірки стабільності та надійності керування.

Крім того, Ardupilot дозволяє налаштовувати різні параметри симуляції через SITL, включаючи швидкість вітру, несправності сенсорів та збої RC. Це дозволяє тестувати реакції АЛА на різні умови навколошнього середовища та збої в системах. Ключові параметри, такі як SIM_WIND_DIR (напрямок вітру), SIM_RC_FAIL (імітація відмови радіокерування) та SIM_GPS_DISABLE (відключення GPS), дозволяють виявляти слабкі місця та покращувати стійкість системи до можливих відмов.

Загалом, використання симуляцій на платформі Ardupilot значно підвищує ефективність розробки та тестування систем керування автономними літальними апаратами. Це дозволяє розробникам швидко виявляти та виправлювати помилки, оптимізувати налаштування та забезпечувати надійність і безпеку автономних польотів у реальних умовах.

Методи підвищення стійкості до РЕБ

Радіоелектронна боротьба (РЕБ) становить значну загрозу для

автономних літальних апаратів (АЛА), оскільки вона може порушувати їхні комунікаційні та навігаційні системи, що призводить до втрати контролю або функціональності. Для забезпечення стійкості АЛА до таких впливів розроблено кілька методів та алгоритмів, які дозволяють підтримувати ефективну роботу навіть у складних умовах.

- Резервні алгоритми керування

Одним із ключових підходів до підвищення стійкості АЛА до РЕБ є впровадження резервних алгоритмів керування. Ці алгоритми активуються у разі виявлення збоїв основних систем. Наприклад, якщо основний канал зв'язку з наземною станцією втрачено, резервний алгоритм може автоматично активувати режим "повернення додому" (Return-to-Home, RTH), який спрямовує апарат до точки зльоту або безпечного місця приземлення. Це дозволяє зберігати контроль над АЛА навіть при втраті сигналу або інших критичних відмовах.

- Використання резервних каналів зв'язку

Резервування каналів зв'язку є ще одним важливим методом підвищення стійкості до РЕБ. Для цього встановлюються кілька каналів зв'язку для забезпечення безперервної комунікації між АЛА та оператором. Це може включати як різні частотні діапазони, так і різні типи зв'язку, наприклад, радіозв'язок і супутниковий зв'язок. Вибір каналу з найкращою якістю сигналу в режимі реального часу дозволяє мінімізувати вплив перешкод і зберігати стійкість комунікації.

- Шифрування та захист даних

Для захисту переданих даних від перехоплення та спотворення використовуються методи шифрування. Це забезпечує конфіденційність та цілісність комунікацій між АЛА та наземною станцією. Впровадження криптографічних протоколів для аутентифікації та авторизації переданих даних значно підвищує стійкість системи до можливих атак з боку противника.

- Методи адаптивного управління

Методи адаптивного управління дозволяють системі змінювати свою поведінку залежно від умов навколошнього середовища та технічного стану апарату. Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування можливих збоїв та автоматичної корекції курсу або режиму польоту забезпечує високу надійність роботи АЛА. Наприклад, в умовах зниження якості сигналу GPS адаптивні алгоритми можуть використовувати інші доступні дані для продовження стабільного польоту.

- Інтелектуальні системи діагностики

Системи моніторингу та діагностики відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості АЛА до РЕБ. Постійне відстеження стану всіх

систем апарату дозволяє виявляти аномалії та попереджувати можливі відмови до їх виникнення. Використання сенсорів та систем збору даних для аналізу стану апарату в режимі реального часу забезпечує своєчасне виявлення проблем і прийняття відповідних заходів для їх усунення.

Висновки

Розробка та впровадження систем керування автономними літальними апаратами (АЛА), стійкими до радіоелектронної боротьби (РЕБ), є критично важливим завданням для забезпечення їхньої надійності та ефективності в сучасних умовах. Платформа Ardupilot надає широкий спектр можливостей для реалізації та тестування таких систем, забезпечуючи гнучкість, точність та надійність.

Платформа Ardupilot відзначається своєю гнучкістю та універсальністю. Вона підтримує різні типи автономних літальних апаратів, включаючи мультикоптери, літаки, вертольоти, автомобілі, човни та підводні апарати. Це дозволяє використовувати її в різних сферах застосування, забезпечуючи високу гнучкість та універсальність. Наприклад, можливості Ardupilot включають розширені алгоритми автономного керування, підтримку різноманітних сенсорів і обладнання, а також інтеграцію з багатьма системами, що робить платформу надзвичайно потужною та адаптивною.

Симуляції є основним інструментом тестування нових алгоритмів та налаштувань. Використання Software In The Loop (SITL) та Hardware In The Loop (HIL) дозволяє безпечно тестувати системи у віртуальному середовищі або з використанням реальних апаратних компонентів. Це дає змогу розробникам виявляти та виправляти по-милки на ранніх стадіях розробки, мінімізуючи ризики та підвищуючи ефективність тестування.

Резервні алгоритми керування та використання кількох каналів зв'язку забезпечують безперервну роботу системи навіть у випадку збоїв основних систем. Впровадження резервних алгоритмів, таких як "повернення додому" або аварійне приземлення, забезпечує збереження контролю над АЛА у разі втрати сигналу. Додатково, використання кількох каналів зв'язку дозволяє мінімізувати вплив перешкод та забезпечити стабільність комунікацій.

Інтелектуальні системи діагностики та адаптивні алгоритми керування підвищують надійність та ефективність роботи АЛА. Постійне відстеження стану апарату за допомогою сенсорів та систем збору даних дозволяє своєчасно виявляти аномалії та попереджати можливі відмови. Адаптивні алгоритми керування дозволяють системі

автоматично коригувати параметри польоту в режимі реального часу, забезпечуючи стабільну роботу навіть в умовах змін зовнішніх факторів.

Перспективи використання платформи Ardupilot є дуже величими. Вона може бути застосована у військових, комерційних та дослідницьких проектах, де надійність та стійкість до РЕБ є критично важливими. З постійним розвитком технологій та зростанням вимог до автономних систем, Ardupilot продовжує залишатися одним з найефективніших інструментів для розробки та тестування сучасних автономних літальних апаратів.

ПОСИЛАННЯ

1. ArduPilot Dev Team. (2024, January 8). *ArduPilot Simulation Documentation*. <https://ardupilot.org/dev/docs/simulation-2.html>
2. ArduPilot Dev Team. (2022, February 12). *Plane SITL/MAV Proxy Tutorial*. <https://ardupilot.org/dev/docs/plane-sitl-mavproxy-tutorial.html>
3. ArduPilot Dev Team. (2024, April 4). *Simulation on Hardware*. <https://ardupilot.org/dev/docs/sim-on-hardware.html>
4. ArduPilot Dev Team. (2023, January 16). *Using Simulation Parameters to Control the Simulation*. https://ardupilot.org/dev/docs/SITL_simulation_parameters.html
5. ArduPilot Dev Team. (2020, June 16). *X-Plane Hardware in the Loop Simulation*. <https://ardupilot.org/dev/docs/x-plane-hardware-in-the-loop-simulation.html>
6. ArduPilot Dev Team. (2023, February 22). *Simple Overview of ArduPilot Operation*. <https://ardupilot.org/copter/docs/common-basic-operation.html>
7. ArduPilot Dev Team. (2020, August 13). *Code Overview (Copter)*. <https://ardupilot.org/dev/docs/apmcopter-code-overview.html>

TRANSFER FUNCTION OF A TIME-VARYING CONTROL SYSTEM

Volt Avdieiev

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9986-7637>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

The study of linear time-varying systems (LTV) is an integral part of the theory of automatic control, the development of which is caused by the need to solve a number of technical problems, in particular, the design of aircraft motion control systems. In order to determine the control law (CL), which ensures the given parameters of the LTV, various variants of the mathematical apparatus have been used, for example, differential inequalities and parametric Lyapunov equations, predictive control models, differential equations with constant coefficients around a certain time.

Analysis of stability of LTV compared to stationary systems is much more complicated for several reasons. First, another formulation of the concept of stability, secondly, there is no obvious connection between the stability of the LTV and the eigenvalues of the matrix of the equations system. In addition, the result of the analysis largely depends on the state transition matrices, the possibility of determining which is obvious not always [1].

The construction of Lyapunov function (LF) for LTV is related to the solution of a scalar differential equation, which contains both improper and double integrals [2]. For scalar LTV, a method of LF construction based on the use of the integral of the system parameter with a weight function on a finite interval is proposed. Conditions are imposed on the weight function so that LF is positively defined and uniformly bounded, and its time derivative according to the LTV equations is negatively defined, which is a criterion of stability.

New methods of LF construction for a certain class of LTV are proposed [3], Lyapunov's inverse theorem for asymptotic stability is proved. Its necessary and sufficient conditions are obtained based on the proved Lyapunov's differential inequalities [4].

With the use of Riccati equations and matrix inequalities, an algorithm for assessing the stability of LTV, whose disturbances are described by quadratic constraints, was developed [5].

Obtaining the specified technical indicators of the LTV by using the stability theory is shown on the examples of spacecraft orientation systems [6, 7] and control of disturbed aircraft movement in the pitch plane [8].

The effectiveness of using Lyapunov's differential inequalities for the construction of the algorithm for the calculation of CL is shown, which provides a compromise between the requirements of speed and accuracy of stabilization, the properties of the transient process are established, and the assumption of a limited range of coefficient changes is removed.

The concept of building a dynamic controller in LTV feedback, when its parameters are known only approximately, has been developed [9]. The sufficient and necessary conditions for the possibility of solving the problem in the form of matrix inequalities are obtained, based on which the parameters of the controller are determined.

In the control system of the rocket rotational movement the model parameters deviation from the time-varying nominal values can amount to ten or more percent, therefore, to increase the efficiency of using the method of frozen coefficients, an algorithm for their refinement by using the data of measuring devices on the current values of part of the state vector coordinates is proposed [10]. Algorithms for specifying LTV parameters for various types of disturbances are also described in works [11–14]. The analysis of the available sources shows that due attention is not paid to the issues of developing methodical support of applied value for the study of LTV in the available sources.

OBJECTIVE AND TASKS

The goal is to develop methodological support for constructing an algorithm for determining the equivalent stationary approximation, that is, of the transfer function (TF), which is equivalent to the LTV at the selected time interval.

The task is to show the possibility of obtaining a second-order TF, which is equivalent to the LTV on a certain trajectory section, using the example of the system for controlling the rotational motion of a rocket in one plane.

MATERIALS AND METHODS

The mathematical model of LTV is a system of differential equations, the parameters of which have a constant and time-varying component. From the point of view such data as the duration of the transient process during disturbance compensation, stability margin, frequency response, and others TF (the ratio of Laplace transforms of the output signal to the input signal) gives enough information about dynamic characteristics of LTV on the chosen time interval. To obtain the TF, the system of differential equations is transformed according to Laplace with zero initial values.

Representation of the variable component of the parameters of the LTV model by the sum of exponential functions has advantages from the point of view of the level of complexity of the transition from differential equations to TF. This follows from the well-known properties of the Laplace transform of the time function into a function of the complex variable s, which is called the image:

$$L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-st} \cdot dt . \quad (1)$$

When the variable components

$$\tilde{a}_{\psi\delta}(t), \tilde{a}_{\psi\psi}(t)$$

of the LTV model parameters $a_{\psi\delta}(t)$ and $a_{\psi\psi}(t)$ are approximated by the sum of, for example, six exponential functions, i.e.

$$\tilde{a}_{\psi\psi}(t) = \sum_{i=1}^{6} C_{\psi i} \cdot e^{r_{\psi i} \cdot t} , \quad (2)$$

$$\tilde{a}_{\psi\delta}(t) = \sum_{i=1}^{6} C_{\delta i} \cdot e^{r_{\delta i} \cdot t} , \quad (3)$$

then based on (1-3) the Laplace transform of individual components of the LTV equation according to the image delay theorem will be as follows:

$$L\{\psi \cdot \tilde{a}_{\psi\psi}(t)\} = L\{\psi \cdot \sum_{i=1}^{6} C_{\psi i} \cdot e^{r_{\psi i} \cdot t}\} = \sum_{i=1}^{6} C_{\psi i} \cdot \psi(s - r_{\psi i}) ,$$

$$L\{\psi \cdot \tilde{a}_{\psi\delta}(t)\} = \sum_{i=1}^{6} C_{\delta i} \cdot \psi(s - r_{\delta i}) \cdot (s - r_{\delta i})$$

The indicators $r_{\psi i}, r_{\delta i}$ in (2, 3) are determined by a well-known algorithm as the roots of the characteristic equation

$$r^6 + \sum_{j=1}^{6} a_j \cdot r^{6-j} = 0 \quad (4)$$

The coefficients in relation (4) are found by solving the system

$$\mathbf{m} \mathbf{r} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{A} \end{bmatrix} = \mathbf{G} , \quad (5)$$

$$\mathbf{m} \mathbf{r} = \begin{bmatrix} p_1(t_1) \dots p_6(t_1) - I_1(t_1) - \dots - I_6(t_1) \\ \dots \\ p_1(t_{12}) \dots p_6(t_{12}) - I_1(t_{12}) - \dots - I_6(t_{12}) \end{bmatrix} ,$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_1 \\ \dots \\ c_6 \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_1 \\ \dots \\ a_6 \end{bmatrix}, \mathbf{G} = \begin{bmatrix} f(t_1) - f(0) \\ \dots \\ f(t_{12}) - f(0) \end{bmatrix},$$

$$p_j(t) = t^j / j!, I_1(t) = \int_0^t f(\tau) \cdot d\tau, I_j(t) = \int_0^t I_{j-1}(\tau) \cdot d\tau,$$

$f(t)$ – the variable component of the model parameter, $t_1 \dots t_{12}$ – points on the selected time interval of LTV operation.

The solution of system (4) can be obtained, including for cases of rank **mr** less than 12, by the lsolve(mr,G) procedure, which uses the LU decomposition method.

The coefficients of exponential functions, for example, in equation (2) are determined from the system:

$$\mathbf{C}_\psi^T \cdot \begin{bmatrix} e^{r_{\psi 1} \cdot \tau_i} \\ \dots \\ e^{r_{\psi 6} \cdot \tau_i} \end{bmatrix} = \tilde{a}_{\psi\psi}(\tau_i), i = \overline{1, 6}$$

The accuracy estimation of approximation by exponential functions is given in the works of the Latvian authors Kulikov and Timohovich.

The possibility of obtaining an equivalent stationary approximation of LTV that is TF, for a certain time range will be shown on the example of a control system for the rocket rotational movement in one plane, the equation of which at the initial stage of development can be taken in the form:

$$\begin{aligned} \ddot{\psi} - \psi \cdot (\bar{a}_{\psi\psi} + \sum_{i=1}^6 C_{\psi i} \cdot e^{r_{\psi i} \cdot t}) - \\ - (k_\psi \cdot \psi + k_{\dot{\psi}} \cdot \dot{\psi}) \cdot (\bar{a}_{\psi\delta} + \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot e^{r_{\delta i} \cdot t}) = \\ = (k_\psi \cdot \psi_g + k_{\dot{\psi}} \cdot \dot{\psi}_g) \cdot (\bar{a}_{\psi\delta} + \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot e^{r_{\delta i} \cdot t}) + m \end{aligned} \quad (6)$$

where

$$\psi, \psi_g, \dot{\psi}, \dot{\psi}_g, \ddot{\psi}$$

are actual and specified yaw angle, as well as their time derivatives; m is disruptive acceleration;

$$\bar{a}_{\psi\psi}, \bar{a}_{\psi\delta}$$

are the constant components of the model parameters;

$$k_\psi, k_{\dot{\psi}}$$

are the CL coefficients;

$$r_{\psi i}, r_{\delta i}, C_{\psi i}, C_{\delta i}$$

are the exponents and coefficients of the exponential functions of approximation of the corresponding variable component of the model parameters.

As it's known, the principle of superposition is valid for linear systems, according to which the result of the action of the input signal $\psi_g(t)$ or $m(t)$ can be determined independently. To build an algorithm for determining the equivalent stationary approximation of the LTV at a certain time interval from two possible TFs

$$\begin{aligned} w_z(s) &= \frac{L\{\psi(t)\}}{L\{\psi_g(t)\}} = \frac{\psi(s)}{\psi_g(s)}, \\ w_m(s) &= \frac{L\{\psi(t)\}}{L\{m(t)\}} = \frac{\psi(s)}{m(s)} \end{aligned} \quad (7)$$

in this work is chosen TF $w_z(s)$, which is determined by Laplace transformation of equation (6) at zero initial values.

To obtain the TF, the differential equation (6) is transformed into an algebraic one with respect to the images of the actual $\psi(s)$ and specified $\psi_g(s)$ value of the yaw angle:

$$\begin{aligned} &\psi(s) \cdot [s^2 - k_\psi \cdot \bar{a}_{\psi\delta} \cdot s - k_\psi \cdot \bar{a}_{\psi\delta} - \bar{a}_{\psi\psi} - \\ &- \sum_{i=1}^6 C_{\psi i} \cdot \frac{\psi(s - r_{\psi i})}{\psi(s)} - k_\psi \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi(s - r_{\delta i})}{\psi(s)} - \\ &- k_\psi \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi(s - r_{\delta i}) \cdot (s - r_{\delta i})}{\psi(s)}] = \\ &= \psi_g(s) \cdot [\bar{a}_{\psi\delta} \cdot (k_\psi + k_{\dot{\psi}} \cdot s) + \\ &+ k_\psi \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi_g(s - r_{\delta i})}{\psi_g(s)} + \\ &+ k_{\dot{\psi}} \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi_g(s - r_{\delta i}) \cdot (s - r_{\delta i})}{\psi_g(s)}] . \end{aligned} \quad (8)$$

Equation (8) makes it possible to obtain the TF $w_z(s)$ in the form of a fractional-rational function of a complex-type argument s :

$$w_z(s) = \frac{\psi(s)}{\psi_g(s)} = \frac{P(s)}{Q(s)}$$

where

$$\begin{aligned} P(s) = & \bar{a}_{\psi\delta} \cdot (k_\psi + k'_\psi \cdot s) + k_\psi \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi_g(s - r_{\delta i})}{\psi_g(s)} + \\ & + k'_\psi \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi_g(s - r_{\delta i}) \cdot (s - r_{\delta i})}{\psi_g(s)}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} Q(s) = & s^2 - k'_\psi \cdot \bar{a}_{\psi\delta} \cdot s - k_\psi \cdot \bar{a}_{\psi\delta} - \bar{a}_{\psi\psi} - \\ & - \sum_{i=1}^6 C_{\psi i} \cdot \frac{\psi(s - r_{\psi i})}{\psi(s)} - k_\psi \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi(s - r_{\delta i})}{\psi(s)} - \\ & - k'_\psi \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \frac{\psi(s - r_{\delta i}) \cdot (s - r_{\delta i})}{\psi(s)}. \end{aligned} \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Iterations are necessary to obtain the TF $w_z(s)$, since the image of the output signal $\psi(s)$ is included in the last three terms of the equation (10) left part, which are a consequence of the time instability of the model parameters on the trajectory's selected section and considered as a disturbance in this work.

To obtain the first approximation of the image of the output signal $\psi_0(s)$ necessary for the iterations, the image of the signal at the input of the CS $\psi_g(s)$ is required, the stationary approximation of the LTV does not depend on the choice of which.

From the point of view of the complexity level of the algorithm, it can be taken as constant – single signal with accuracy up to the factor d , that is $\psi_g(t) = d \cdot I(t)$. Then according to (1) $\psi_g(s) = d/s$.

When the disturbance is not taken into account, then in equation (8) terms with coefficients $C_{\psi i}$, $C_{\delta i}$ are assumed to be zero and the first approximation of the TF $w_z(s)$ will have the form

$$w_{z0}(s) = \frac{\psi_0(s)}{\psi_g(s)} = \frac{\bar{a}_{\psi\delta} \cdot (k_\psi + k'_\psi \cdot s)}{s^2 - \bar{a}_{\psi\delta} \cdot k_\psi \cdot s - k_\psi \cdot \bar{a}_{\psi\delta} - \bar{a}_{\psi\psi}}, \quad (11)$$

and the first approximation of the output signal image

$$\psi_0(s) = \psi_g(s) \cdot w_{z0}(s) = d \cdot w_{z0}(s) / s$$

while the TF $w_z(s)$ (11) numerator

$$\begin{aligned}
P(s) = & \bar{a}_{\psi\delta} \cdot (k_{\psi} + k'_{\psi} \cdot s) + \\
& + s \cdot (k_{\psi} \cdot \sum_{i=1}^6 \frac{C_{\delta i}}{s - r_{\delta i}} + k'_{\psi} \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i})
\end{aligned} \tag{12}$$

according to equation (8) and the relations for the terms of its right-hand side:

$$\frac{\psi_g(s-\alpha)}{\psi_g(s)} = \frac{s}{s-\alpha}, \quad \frac{\psi_g(s-\alpha) \cdot (s-\alpha)}{\psi_g(s)} = s$$

The coefficients CL and, which are included in (6, 8-12), are determined for the selected interval of the trajectory based on the given preliminary values of the stability margin η_1 on the roots plane of the characteristic polynomial (CHP) and the frequency f_1 of oscillations of the missile body in the transient process of disturbance compensation:

$$k_{\psi} = -(\eta_1^2 + 4\pi^2 \cdot f_1^2 + \bar{a}_{\psi\psi}) / \bar{a}_{\psi\delta}, \quad k'_{\psi} = -2\eta_1 / \bar{a}_{\psi\delta}. \tag{13}$$

The relations (13) follow from the fact that the roots of the denominator Q_0 of the TF (11) first approximation according to the given values η_1 and f_1 are as follows:

$$s_{1,2} = -\eta_1 \pm j \cdot 2\pi \cdot f_1,$$

where $j^2 = -1$.

Iterations to determine the denominator $Q(s)$ TF $w_z(s)$ that is characteristic polynomial (CHP) can be carried out according to the scheme:

$$\begin{aligned}
Q_k(s) = & Q_0(s) - \frac{1}{\psi_{k-1}(s)} \cdot \left[\sum_{i=1}^6 C_{\psi i} \cdot \psi_{k-1}(s - r_{\psi i}) - \right. \\
& - k_{\psi} \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \psi_{k-1}(s - r_{\delta i}) - \\
& \left. - k'_{\psi} \cdot \sum_{i=1}^6 C_{\delta i} \cdot \psi_{k-1}(s - r_{\delta i}) \cdot (s - r_{\delta i}) \right];
\end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
w_{zk}(s) = & \frac{P(s)}{Q_k(s)}; \quad \psi_k(s) = \psi_g(s) \cdot w_{zk}(s) = \\
= & w_{zk}(s) \cdot d / s; \quad k = \overline{1, n},
\end{aligned}$$

where the index k is the number of the iteration step, $Q_0(s)$ is the denominator of the TF (13), in which the disturbance is not taken into account.

At each step of the iteration, an array N of l rows and two columns is created, in which the values of CHP $Q_k(s)$ are entered, where the argument s varies over the range of characteristic frequencies of the control system.

By processing this array with the use of method of least squares (l equations with three unknown coefficients of the CHP), the current coefficients q_{2k} , q_{1k} , q_{0k} of the CHP and, accordingly, the values η_{2k} , f_{2k} are determined.

The number of iteration steps n depends on the results of checking the achievement of the specified value of the difference of the modules selected to control the convergence of the values at the current and previous step, for example $\eta_{2k} - \eta_{2k-1}$, or $f_{2k} - f_{2k-1}$.

The result of the performed iterations is the indicator η_2 of the stability margin on the CHP roots plane and TF (7) of the closed system

$$w_z(s) = \frac{P(s)}{q_2 \cdot s^2 + q_1 \cdot s + q_0}. \quad (15)$$

The convergence of the iterations has been checked on the example of the rotary motion control system in the yaw plane of the space rocket first stage, with the data in the table 1.

Table 1 – Data for calculation coefficients of CL

$\bar{a}_{\psi\psi}$	$\bar{a}_{\psi\delta}$	η_1	f_1
s^{-2}		s^{-1}	Hz
0.849	-0.331	1.2 0.5	0.3

RESULTS

The advantage of representing the variable components of the model parameters as a sum of exponential functions is a simple transition from the control system differential equations (6) to their Laplace transformation, and the disadvantage is that iterations are necessary to obtain the TF. This can be seen from equation (8), in which the image $\psi(s)$ of the system output signal is included in the terms of the left part of the equation, which are due to the instability of the parameters.

For the selected data example, three iterations were enough so that the indicator η_2 of the stability margin of the missile rotational motion control

system, taking into account the instability of the model parameters, was calculated with an error of no more than 0.01 s^{-1} .

The results of the conducted experiments show the possibility of constructing an algorithm for calculating the stationary approximation of the LTV on the selected trajectory section by obtaining the equivalent TF using the Laplace transformation of the time-varying component of the models parameter, given by the sum of exponential functions.

CONCLUSIONS

The scientific novelty of the work consists in the development of a methodology for determining the stationary approximation of the LTV by Laplace transformation of the variable component of the mathematical model parameters, represented by the sum of exponential functions.

The practical significance of the obtained results is the expansion of the methodological base for designing systems with time-varying parameters.

REFERENCES

1. Tianrui Zhao, Bin Zhou, Wim Michiel. (2018). Stability analysis of linear time-varying time-delay systems by non-quadratic Lyapunov functions with indefinite derivatives. *Systems & Control Letters*, 122, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2018.09.012>
2. Bin Zhou, Yang Tian, James Lam. (2020). On construction of Lyapunov functions for scalar linear time-varying systems. *Systems & Control Letters*. 135 (104591). <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2019.104591>
3. Yu Kawano. (2020). Converse stability theorems for positive linear time-varying systems. *Automatica*, 122(109193). <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2020.109193>
4. Bin Zhou. (2016). On asymptotic stability of linear time-varying systems. *Automatica*, 68, 266–276. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2015.12.030>
5. Peter Seiler, Robert M. Moore, Chris Meissen. (2019). Finite horizon robustness analysis of LTV systems using integral quadratic constraints. *Automatica*. 100, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2018.11.009>
6. Bin Zhou. (2021). Lyapunov differential equations and inequalities for stability and stabilization of linear time-varying systems. *Automatica*, 131(109785). <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2021.109785>
7. Mullhaupt, Ph., Buccieri, D., Bonvin, D. (2007). A numerical sufficiency test for the asymptotic stability of linear time-varying systems.

Automatica, 43(4). 631–638. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2006.10.014>

8. Xiaochen Xie, James Lam, Chenchen Fan. (2022). A polynomial blossoming approach to stabilization of periodic time-varying systems. Automatica. 141(110305). <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2022.110305>

9. Baoyong Zhang, Shengyuan Xu, Qian Ma. (2019). Output-feedback stabilization of singular LPV systems subject to inexact scheduling parameters. Automatica, 104, (1–7). <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2019.02.047>

10. Авдеев, В. В. (2021). Определение параметров модели системы стабилизации ракеты в процессе полета. Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики», 6, (78–92). <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2021-6-8>

11. Daniel Silvestre. (2022). Set-valued estimators for uncertain linear parameter-varying systems. Systems & Control Letters, 166(105311). <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2022.105311>

12. Laurent Bakou, Seydi Ndiaye, Eric Blanco. (2022). An interval-valued recursive estimation framework for linearly parameterized systems. Systems & Control Letters, 168(105345). <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2022.105345>

13. Markus Tranninger, Richard Seeber, Martin Horn. (2022). Strong detectability and observers for linear time-varying systems. Systems & Control Letters, 170 (10539). <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2022.105398>

14. M. Korotina, J. G. Romero, S. Aranovskiy. (2022). A new on-line exponential parameter estimator without persistent excitation. Systems & Control Letters, 159(105079). <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2021.105079>

ЗАСТОСУВАННЯ ГЛІБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ РОЗПІЗНАННЯ ЗІТКНЕНЬ В 3D ПРОСТОРИ

Іван Невкритий

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0701-0970>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Світлана Антоненко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6611-4543>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Існує значна кількість досліджень, присвячених запобіганню або виявленню автомобільних аварій. Більшість з них спрямовані на виявлення об'єктів, що можуть спричинити аварію, або аналіз статистики аварій. У цьому досліджені розглянута система, яка призначена для виявлення випадкових аварій. Система збирає необхідну інформацію від сусідніх транспортних засобів і обробляє її за допомогою інструментів машинного навчання для виявлення можливих аварій, оскільки алгоритми машинного навчання успішно виявляють відмінності між незвичайною дорожньою поведінкою порівняно з нормальною поведінкою. Метою цього дослідження є аналіз дорожньої поведінки та розгляд транспортних засобів, які рухаються відмінно від звичайних норм. Результати показали, що алгоритми класифікації ефективно виявляють аварії.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Останнім часом дослідження в області автомобільних мереж стали дуже актуальними у зв'язку із комерційним зацікавленням у використанні стандарту DSRC/WAVE для безпілотних автомобілей [1]. Багато досліджень зосереджуються на майбутніх можливостях взаємодії між такими транспортними засобами. Безпілотні транспортні засоби можуть спілкуватися між собою у режимі транспортний засіб-до-транспортного засобу або з дорожньою мережною інфраструктурою у режимі транспортний засіб-до-дороги [2]. Деякі передбачені застосування включають попередження про зіткнення транспортних засобів, попередження про безпекову відстань, допомогу водієві, кооперативне водіння, кооперативний круїз-контроль, поширення інформації про дорогу, доступ до Інтернету, місце знаходження на мапі,

автоматичне паркування, безводійні транспортні засоби. Для більшості застосувань необхідні вимірювання швидкості руху та часу подорожі, які можуть допомогти визначити найкращий маршрут або час відправлення. В даний момент для цих вимірювань зазвичай використовуються місцеві датчики на певних ділянках дороги. Однак останній підхід передбачає оснащення транспортних засобів засобами зв'язку та місцезнаходження для безперервного вимірювання їх швидкості та часу подорожі. Деякі дослідження показали, що для ідентифікації місцезнаходження транспортних засобів можна використовувати сотові мережі, використовуючи записи про спілкування базових станцій сотових телефонів. Забезпечення безпечної навігаційної підтримки також стало однією з ключових тем досліджень завдяки стандартизації DSRC/WAVE [3]. Наприклад, повідомлення про попередження про зіткнення або стан дороги можуть бути передані іншим транспортним засобам, які знаходяться позаду чи попереду. Okрім стандартів DSRC/WAVE, можна використовувати клітинні мережі 2G/3G/4G/5G для забезпечення обміну повідомленнями між транспортними засобами [4]. У цьому дослідженні ми плануємо використати методи машинного навчання для аналізу зібраної інформації від транспортних засобів з метою виявлення передніх зіткнень. Таким чином водії можуть бути попередженіми про ймовірне зіткнення чи ускладнення руху, щоб вони мали час уникнути цього зіткнення чи уникнути утворення затору.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Розвиток систем інтелектуального транспорту ставить перед собою вимогу отримання більш точної інформації про дорожні умови, що є значним викликом для як державних органів, так і приватних компаній. Звичайні транспортні датчики, такі як петлеві детектори, які використовуються для вимірювання поточних умов дорожнього руху, не завжди забезпечують достатню точність для отримання інформації про стан транспортного руху на мережі доріг. Тому для поліпшення точності використовуються інші джерела інформації, такі як камери, GPS та відстеження мобільних телефонів. Ця інформація зберігається центрами управління дорожнім рухом і може бути поєднана за допомогою методів об'єднання даних для отримання кращого розуміння ситуації на дорогах і планування майбутнього розвитку інфраструктури.

Багато застосувань мереж автоматизованих транспортних систем вимагають постійного відстеження положення транспортних засобів. Для цього застосовуються різноманітні техніки, такі як GPS,

картографування, обробка зображень/відео та розподілене місцезнаходження. Кожна з цих технік має свої переваги і недоліки, і вони можуть використовуватися в поєднанні для забезпечення максимальної точності. Наприклад, техніка мертвого розвороту дозволяє визначити положення транспортного засобу в разі втрати сигналу GPS, а обробка картографічних даних допомагає зменшити похибку у визначені положення транспортного засобу.

Методи машинного навчання виявилися дуже ефективними в аналізі даних та виявленні аномалій. У нашому дослідженні ми розглядали випадки, коли рух транспорту відхиляється від звичайного стану як аномалії. При аваріях багато автомобілів сповільнюють або зупиняються, що може привести до утворення транспортних заторів. Алгоритми кластеризації можуть використовуватися для групування автомобілів залежно від їх руху та положення на дорозі, щоб ідентифікувати зони потенційних аварій. У разі аварії такі алгоритми автоматично аналізують дані, щоб негайно реагувати та уникнути подальших пригод. Наши симуляції показали, що кількість транспортних груп збільшується на 1 після аварії, а кількість транспортних засобів у кожній групі поступово зростає. Це може свідчити про те, що відбулася аварія, і наступні автомобілі включаються у групу потерпілих.

Результати

У цьому дослідженні використовувався симулатор транспортного потоку SUMO (Simulation of Urban Mobility) [5], який дозволив симулювати рух транспортних засобів та збирати інформацію про їх положення та режим сну. На ділянці дороги довжиною 3000 метрів було задіяно 100 транспортних засобів. Для імітації реального дорожнього руху використовувалися 5 різних типів транспортних засобів.

Таблиця 1 – Типи транспортних засобів та їх властивості

Тип	Довжина (м)	Прискорення (м/с ²)	Уповільнення (м/с ²)	Максимальна швидкість (м/с)	Досконалість водіння
А	2	8	10	30	50%
Б	4	2	10	30	50%
В	6	5	10	30	50%
Г	8	4	10	30	50%
Д	10	14	10	30	50%

Симулатор транспортного потоку SUMO є симулатором

безаварійного дорожнього руху. Для імітації аварії автомобілям доручено зупинитися в попередньо заданому місці. Зупинки також можуть вважатися важливими подіями на дорожньому сегменті. Сам транспортний засіб або пасажири, які виходять з транспортного засобу, можуть спричинити проблему. Виявлення такої події та попередження наближаючихся транспортних засобів допоможе уникнути можливих аварій.

Один автомобіль змушений зупинитися на 50-й секунді симуляції. Значення сповільнення обрано як 30 м/с^2 для миттєвої зупинки. Для створення кластерів використовується алгоритм кластеризації без нагляду DBSCAN [6]. Кожної секунди отримуємо позиції транспортних засобів з симулатора транспортного потоку SUMO та передаємо їх до інструменту машинного навчання WEKA [7]. Результати структури кластеризації до та після аварії такі:

Таблиця 2 – Результати кластеризації за алгоритмом DBSCAN

Час моделювання	Кількість автомобілів на відрізку дороги	Нормальне скупчення	Скупчення аномалій
47	67	67	
48	68	68	
49	68	68	
50	68	67	1
51	71	68	3
52	71	68	3
53	74	70	4
54	76	72	4
55	76	72	4
56	77	73	4

Коли автомобіль здійснив попередньо заплановану зупинку на 50-й секунді симуляції, DBSCAN зміг виявити аномальну ситуацію. Кількість аномальних кластерів збільшується після аварії, як очікувалося, оскільки зупинка автомобіля або аварія блокує дорогу, чи призводить до значного збільшення автомобілей в іншому потоці.

Висновки

Автоматичне виявлення аварій стало дуже важливою темою в системах управління дорожнім рухом. Виявлення аварій допоможе уникнути майбутніх подібних інцидентів і дозволить владі знову відкрити ділянку дороги для руху. У цьому дослідженні ми показали, що

поведінку транспортного потоку можна аналізувати за допомогою позицій і швидкостей транспортних засобів, а аномальні активності на дорозі можуть вважатися можливою загрозою для водіїв, які знаходяться поблизу області інциденту.

ПОСИЛАННЯ

1. Емерсон. (б.р.). Бездротові автомобільні мережі, що самоорганізуються. Отримано 3
<https://www.emerson.com/documents/automation/training-self-organizing-networks-en-41150.pdf>
2. Вінтерсбергер, П., Дей, Д., & Лекен, А. (б.р.). Існуючі методи та дослідження взаємодії між автоматичними транспортними засобами. Отримано 3
<https://www.frontiersin.org/research-topics/20015/interaction-between-automated-vehicles-and-other-road-users/magazine>
3. Li, Y. (2012). Використання DSRC/WAVE стандарту для безпечної навігації. У X. Zhang та D. Qiao (Ред.), Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks. QShine 2010. Лекційні записи Інституту інформатики, соціальної інформатики та телекомуникаційної інженерії, том 74. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29222-4_38
4. Borcoci, E. (2020). Використання клітинних мереж 2G/3G/4G/5G для забезпечення обміну повідомленнями між транспортними засобами. Отримано 3
https://www.iaria.org/conferences2020/filesICN20/EugenBorcoci_Tutorial_NexComm_2020.pdf
5. Alvarez Lopez, P., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., & Wießner, E. (2018). Симулятор транспортного потоку SUMO (Simulation of Urban Mobility). У 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) (с. 2575-2582). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938>
6. Scikit-learn developers. (б.р.). Алгоритм кластеризації без наляду DBSCAN. Отримано 3
<https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.DBSCAN.html>
7. Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. (2009). Інструмент машинного навчання WEKA: Оновлення. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 11(1), 10-18. <https://doi.org/10.1145/1656274.1656278>

СТРАХУВАННЯ КІБЕРРИЗИКІВ ЯК СКЛАДОВИЙ ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ ЕФЕКТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ: КЕЙС УКРАЇНИ

Ганна Нямецьук

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3199-8988>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вероніка Біла

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6810-0473>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Розвиток цифрової економіки, імпульс якого задається постійним вдосконаленням технологій, актуалізує питання кібербезпеки [6, 8]. Природною реакцією сучасних організацій на підвищення ризику кібератак є зростання попиту на відповідні послуги страхування [7]. Вагомий внесок у дослідження нового сегменту ринку страхових послуг в Україні зробили такі автори, як В.П. Братюк, В.П. Ільчук та Д.О. Сутонянко; О.М. Парубець.

Кіберрізик – це ймовірність виникнення того, що робота ІТ-систем або кібербезпека організації буде порушена через несанкціоноване втручання в роботу цифрових або інших електронних технологій, знищення цифрових активів та завдасть потенційну шкоду репутації організації [4].

У відповідь на актуалізацію проблеми кіберрізиків, українські страхові компанії диференціюють свою продуктову політику («UPSK», «ACKA», «AON» та інші). Як основні джерела загроз, при цьому, ідентифікують такі: витік конфіденційної інформації, вимоги викупу після атак програм-викрадачів (вимагачів), помилка програмування. Страхування кіберрізиків стає важливим інструментом захисту бізнесу та організацій.

У цій статті розглянемо важливість страхування від кіберрізиків в Україні, проаналізуємо поточні тенденції на ринку страхування кіберрізиків та розглянемо перспективи його розвитку. Страхування від кіберрізиків допомагає підприємствам зменшити фінансові ризики, пов'язані з кібератаками, та забезпечити фінансову підтримку в разі настання страхової події.

В Україні у 2023 р. кількість кібератак зросла порівняно з 2022 р. на 15,9 % до 2543 інцидентів (рис.1). За даними урядової команди регулювання на комп'ютерні надзвичайні події CERT-UA, протягом 2022 р. Україна стикнулася з 7000 кібератак на національну інформаційну інфраструктуру. Україна – друга серед найбільш атакованих

країн світу після США, каже технічний директор ІТ-компанії UNITY-BARS, що розробляє ПЗ для фінансових установ, О. Музика.

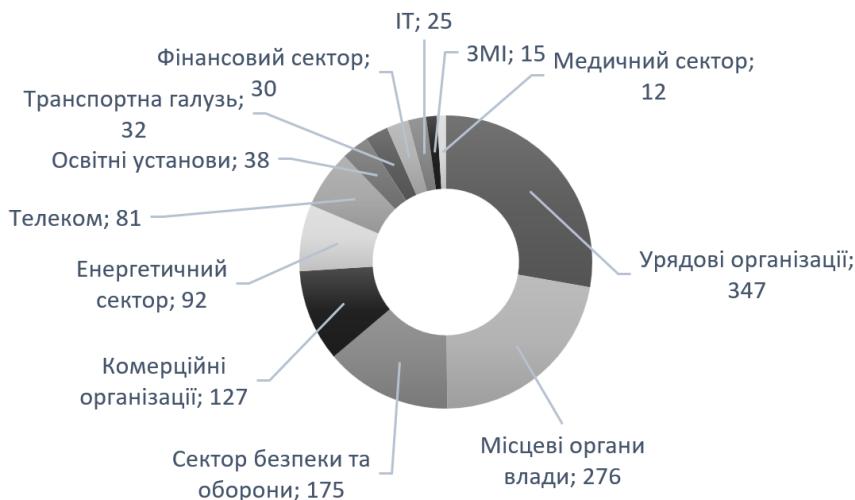


Рисунок 1 – Кількість кібератак в Україні за секторами національної економіки в 2023 р., од.

У 2022 р. кібератак побільшало у 3,5 рази порівняно з 2021-м – на фінансовий сектор України припадає 5 % усіх атак, на ІТ-сектор – 10 % [9].

Страхові компанії диференціюють пропоновані спеціалізовані продукти залежно від розміру підприємств-споживачів. Нові страхові поліси охоплюють різні аспекти кібербезпеки: відшкодування збитків, юридична підтримка та послуги експертів з безпеки. На сьогоднішній день український ринок страхових послуг у сфері кіберризиків значно відстae за ступенем свого розвитку від зарубіжного. Великі страхові компанії світу, які є давніми акторами ринку, вже успішно ввели цей продукт у перелік надаваних послуг.

На фоні військового стану передбачуваною виглядає схильність кіберзлочинців до здійснення більш агресивних і складних кібератак, бо агресор має на меті не тільки захоплення територій України. Зокрема, об'єктом цільових атак можуть стати системи інфраструктури, електронні системи комунікації та інформаційні ресурси країни. Прогнозується, що організації стикатимуться із підвищеними ризиками витоку конфіденційної інформації, знищення даних та перериванням роботи [1]. Тому ПАСТ «Новий Дніпро», зокрема, вже розглядає як стратегічний крок можливість розвитку страхування кіберризиків.

Страхування кіберризиків, на нашу думку, може стати важливим інструментом підтримки організацій під час військового стану. Використання такого інструменту дозволить суб'єктам господарювання компенсувати фінансові збитки, пов'язані з кіберінцидентами, забезпечити швидке відновлення бізнес-операцій, отримати доступ до експертної допомоги з кібербезпеки та ресурсів, що є необхідними для реагування на загрози.

Незважаючи на позитивні зрушенні в цілому, страхування кіберризиків в Україні стикається зі своїми викликами:

- недостатнє розуміння джерел, форм кіберризиків та їх наслідків бізнес-суб'єктами та страховими компаніями. Це може призводити до недооцінки ризиків і неправильного вибору страхового покриття ;

- складність оцінки ризиків. Кіберризики є динамічними, що ускладнює процес їх оцінки страховими компаніями. Відсутність історичних даних або точних моделей ризику може ускладнювати визначення правильного рівня покриття та встановлення адекватних премій;

- висока вартість страхування. Україна на сьогодні є країною з високим рівнем ймовірності кіберагресії, що може призводити до значних витрат на страхування кіберризиків. Для багатьох українських підприємств, в умовах економічної кризи, це може стати додатковим і непосильним фінансовим тягарем. Особливо це є актуальним для малих та середніх підприємств;

- висока індивідуалізація умов страхового полісу. У сфері страхування кіберризиків ще не сформувалися чіткі стандарти та умови полісів. Кожна страхова компанія може реалізовувати власний підхід до формулювання умов страхування, що ускладнює порівняння та вибір оптимального страхового продукту;

- ранній етап становлення національного ринку. Ринок страхування кіберризиків в Україні є значно «молодшим» і нерозвиненим у порівнянні із ринками країн світу, що обумовлює обмеженість набору страхових продуктів і послуг.

Зважаючи на виявлені особливості національного ринку страхування кіберризиків, перед Україною постають виклики розробки адекватної стратегії та швидкої адаптації. Найпершим, на наш погляд, інструментом для ефективного розвитку такого ринку, є якісна профільна освіта та обізнаність. Безперешкодний доступ до інформації про потенційні кіберризики, способи запобігання і захисту від них може значно знизити ймовірність настання страхової події.

Урядові програми, тренінги для бізнесу та освітні ініціативи для шкіл й університетів можуть сприяти посиленню кібербезпеки в Україні. Різноманітні інформаційні плакати в громадському транспорті,

на вулицях, реклама на телебаченні і в мережі Інтернет відіграють важливу роль для підвищення рівня обізнаності населення і бізнес-суб'єктів.

Наступним кроком ефективного розвитку ринку може бути створення відповідної кіберінфраструктури: розробка найсучасніших технологій кіберзахисту, створення центрів обробки даних і розробка національної програми кібербезпеки. Інвестуючи в інфраструктуру, країни стають більш стійкими до кіберрисків. Багато країн Європи, таких як Великобританія, Німеччина, Франція та Швеція, також роблять значні інвестиції в кібербезпеку, як на рівні уряду, так і в приватному секторі [10].

Ефективна стратегія попередження кіберрисків вимагає співробітництва між державними установами, приватним сектором та громадськістю. Налагодження партнерських відносин та обмін актуальною інформацією про потенційні та актуальні загрози з компаніями, що здійснюють діяльність у секторі кібербезпеки, можуть розглядається як необхідні елементи системи реагування і попередження кіберрисків.

Уdosконалення сучасної правової бази є важливим аспектом покращення захисту від кіберрисків. Це допомагає встановити відповідальність за порушення кіберзаконодавства та врегулювати поширення інформації в цифровому просторі.

Підиваючи підсумки зазначимо, що страхування кіберрисків є лише одним складовим елементом системи кібербезпеки. Страхування не може замінити надійну систему безпеки, яка вимагає сучасних технологій, навчених команд фахівців та перевірених процедур. Страхування кіберрисків в Україні набуває все більшого значення як інструмент захисту підприємств.

Страхування кіберрисків дозволяє організаціям відшкодовувати фінансові втрати, пов'язані з кіберінцидентами, забезпечувати швидке відновлення бізнес-операцій, отримувати доступ до експертної допомоги з кібербезпеки та необхідних ресурсів для реагування на загрози.

Розвиток страхування кіберрисків має великий потенціал за напрямом захисту конфіденційної інформації. Важливо і надалі інвестувати в розвиток інформування населення та бізнесу про загрозу атак. Якщо буде співпраця між державою, бізнесом та суспільством, то буде значно менше кібератак і люди будуть мати захист в разі виникнення проблем.

ПОСИЛАННЯ

1. Кевлюк, В. (2024, March 27). *Росія: експорт хаосу*. LB.ua. https://lb.ua/news/2024/03/27/605459_rosiya_eksport_haosu.html
2. *Кібер-страхування: новий інструмент ризик-менеджменту*. (n.d.). Parasol.UA. <https://parasol.ua/ua/news/kiber-strahovanie-noviy-instrument-risk-menedzhmenta>
3. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України, Закон України № 2163-VIII (2024) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text>
4. План для підприємця уникнення від кібер-ризику. URL: <https://www.thebalancesmb.com/cyber-liability-insurance-coverage-for-data-breaches-462582>
5. Пікус, Р.В., Бабенко, Ю.Л. (2022). Перспективи розвитку страхування від кібератак в Україні. *Економіка*. 2, 25. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.2.134>
6. Нямещук, Г. В. (2014). Розвиток інформаційно-мережевих технологій як джерело загроз глобальної економіки. *Економічна безпека в умовах глобалізації світової економіки*, Т. 1. 466, 158-165.
7. Нямещук, Г. В. (2019). Крихкість як стратегічна проблема глобальних експонентних організацій. *Економічний простір. Збірник наукових праць*. 152, 29 – 42. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/152-3>
8. Нямещук, Г. В. (2021). Технологічний бек-граунд сучасного етапу розвитку міжнародних економічних відносин. *Системний аналіз міжнародних економічних відносин*, 301, 167 – 169.
9. Бегаль, І. (2023, May 4). У 2022 році кількість кібератак на Україну зросла майже втричі. 90% хакерських груп з РФ контролюють силовики — *forbes.ua*. Forbes.ua <https://forbes.ua/news/v-2022-rotsi-kilkist-kiberatak-na-ukrainu-zrosla-mayzhe-vtrichi-90-khakerskikh-grup-z-rf-kontrolyuyut-siloviki-04052023-13454>
10. *Cybersecurity policy*. (n.d.). ENISA. <https://www.enisa.europa.eu/topics/cybersecurity-policy/?tab=publications>

ОЦІНКИ ПОХИБОК НАБЛИЖЕННЯ КЛАСІВ НЕПЕРЕРВНИХ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ ФУНКІЙ ЛАМАНИМИ

Олександр Щитов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1435-2918>

НВК-ліцей №100, Дніпро, Україна

Микола Мормуль

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8036-3236>

Університет митної справи та фінансів, Дніпро, Україна

Вступ

Нехай $C \equiv C[0, 1]$ – простір неперервних на відрізку $[0, 1]$ функцій $f(t)$ з нормою $\|f\|_C = \max \{|f(t)| : t \in [0, 1]\}$. Позначимо через Φ безліч парних, кінцевих, неспадних на півсегменті $[0, \infty)$ функцій $\varphi(x)$, які задовольняють умовам $\varphi(0) = 0$, $\lim_{x \rightarrow \infty} \varphi(x) = \varphi(\infty) = \infty$.

Якщо $\varphi(x) \in \Phi$, то через $\varphi(L)$ позначимо множину усіх вимірних на відрізку $\in [0, 1]$ функцій $f(t)$, для яких $\|f\|_{\varphi(L)} = \int_0^1 \varphi(f(t)) dt < \infty$.

Якщо, наприклад, $\varphi(x) = |x|^p$ ($1 \leq p < \infty$), то $\varphi(L) \in L_p = L_p[0, 1]$ – нормований простір функцій, інтегрованих в p -тій степені, і $\|f\|_{\varphi(L)}$ в цьому випадку є p -а степінь норми $\|f\|_{L_p}$, де

$$\|f\|_{L_p} = \left\{ \int_0^1 |f(t)|^p dt \right\}^{1/p}. \quad (1)$$

Якщо $0 < p < 1$, то величина (1) не є нормою, але ми зберігаємо позначення і в цьому випадку. При $0 < p < 1$ клас L_p є метричним простором, в якому метрику можна задати рівнянням

$$\rho(f, g) = \|f - g\|_{L_p}^p.$$

Модулем неперервності функції $f \in C$ називають величину $\omega(f, t) = \sup \{|f(\tau_1) - f(\tau_2)| : \tau_1, \tau_2 \in [0, 1], |\tau_1 - \tau_2| \leq t\}$.

Через $W^r H_\omega[a, b]$ ($r \in \mathbb{Z}_+, a < b$) позначимо клас r разів неперервно диференційованих на відрізку $[a, b]$ функцій $f(t)$, що у них модуль неперервності r -ї похідної $\omega(f^{(r)}, t)$ ($f^{(0)}(t) \equiv f(t)$) не перевершує заданого модуля неперервності $\omega(t)$, $0 \leq t \leq b - a$.

Покладемо $W^r H_\omega \equiv W^r H_\omega[0, 1]$, $H_\omega[a, b] \equiv W^0 H_\omega[a, b]$, $H_\omega \equiv H_\omega[0, 1]$.

Через $W^r H_\omega^*$ позначимо клас 1-періодичних функцій $f(t) \in W^r H_\omega$.

У подальшому нам буде потрібна функція

$$\Omega_r(\omega, t) = \sup\{\max\{|f(x+t) - f(x)| : x\} : f \in W^r H_\omega^*\},$$

точне значення якої при кожному $r \in Z_+$ і опуклому вгору модулі неперервності $\omega(t)$ знайдено М. П. Корнійчуком в [1]. Зокрема встановлено, що для $0 \leq t \leq 1$ і $r = 2\nu$ ($\nu \in N$)

$$\Omega_{2\nu}(\omega, t) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{2\nu-1} \cdot 2 \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{b_{2k+1} \sin((2k+1)\pi t)}{(2k+1)^{2\nu}},$$

$$b_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{1/4} \omega(2t) \sin(k2\pi t) dt. \quad (2)$$

Відзначимо, що $\Omega_0(\omega, t) \equiv \omega(t)$ для $0 \leq t \leq 1/2$. Функція $\Omega_r(\omega, t)$ ($r \in Z_+$) має наступні властивості [2]:

- 1) $\Omega_r(\omega, t)$ монотонно зростає на $(0, 1/2)$;
- 2) $\max_{0 \leq t \leq 1} \Omega_r(\omega, t) = \max \Omega_r(\omega, 1/2)$;
- 3) $\Omega_r\left(\omega, \frac{1}{2} + t\right) = \Omega_r\left(\omega, \frac{1}{2} - t\right)$, $0 \leq t \leq 1/2$.

На відрізку $[0, 1]$ введемо рівномірне розбиття $t_i = i/n$ ($i = \overline{0, n}$) і замінимо функцію $f(t)$ ламаною $\sigma_n(f, t)$, яка її інтерполює і є лінійною на кожному відрізку $[t_{i-1}, t_i]$ ($i = \overline{1, n}$) і $\sigma_n(f, t_i) = f(t_i)$, ($i = \overline{0, n}$). Якщо $f(t)$ є абсолютно неперервною функцією на відрізку $[0, 1]$, то при $t_{i-1} < t < t_i$ ($i = \overline{1, n}$) маємо

$$\sigma_n^{(1)}(f, t) = \Psi_n(f^{(1)}, t), \text{ де } \Psi_n(g, t) = n \int_{t_{i-1}}^{t_i} g(\tau) d\tau.$$

Огляд джерел

Основні результати з тематики кусково-сталого наближення функцій належать М. П. Корнійчуку. Деякі з отриманих ним результатів можна знайти у роботі [3]. У роботах [4–6] О. В. Черницька досліджувала кусково-стале наближення функцій однієї змінної у просторах Орлича.

У роботі В. Н. Малоземова [7] знайдено точні верхні грани величини $\|f - \sigma_n(f)\|_C$ на класах H_ω і $W^1 H_\omega$ для опуклого вгору модуля неперервності $\omega(t)$. В. Ф. Сторчай [8] отримав точну оцінку величини $\|f - \sigma_n(f)\|_{L_p}$ ($1 \leq p < \infty$) на класі H_ω при тех самих обмеженнях на функцію $\omega(t)$.

У випадку довільного модуля неперервності А. С. Логінов [9] знайшов точну оцінку величини $\|f - \sigma_n(f)\|_C$ на класах H_ω , а В. Н. Малоземов [10] обчислив точну верхню грань величини $\|\sigma_n^{(1)}(f) - \sigma_n^{(1)}(f)\|_C$ на класі функцій $W^1 H_\omega$.

У роботах М. П. Корнійчука [11] та С. А. Бельського [12]

містяться результати про кусково-стале наближення класів функцій n -змінних, які визначені через модулі неперервності.

У роботах [13–19] також вивчались апроксимаційні властивості кусково-сталих функцій у різноманітних просторах.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Метою дослідження поставимо отримати оцінки наближення 1-періодичних функцій з класів $W^{2v+1}H_\omega^*$ ($v \in N$), де $\omega(t)$ – опуклий вгору модуль неперервності, такими функціями:

а) інтерполюючими функціями $f(t) \in W^{2v+1}H_\omega^*$ на множині точок $t_i = i/n$ ($i = \overline{0, n}$);

б) кусково-сталими функціями $\sigma_n(f, t)$ в інтегральній метриці L_p ($0 < p$);

в) кусково-сталими функціями $\sigma_n(f, t)$, $n = 2m$ ($m \in N$) у рівномірній метриці.

Після чого зробимо висновки щодо точності оцінок похибок отриманих наближень.

Введемо наступні допоміжні функції:

$$\lambda(\omega; a, b; t) = \frac{1}{2} \begin{cases} \omega(a + b - 2t), & \text{якщо } a \leq t \leq \frac{a+b}{2}, \\ -\omega(2t - a - b), & \text{якщо } \frac{a+b}{2} \leq t \leq b; \end{cases} \quad (3)$$

$$L(\omega; a, b; t) = \int_a^t \lambda(\omega; a, b; \tau) d\tau \quad (a \leq t \leq b). \quad (4)$$

М. П. Корнійчук [20] показав справедливість наступної теореми.

Теорема А. Яким би не був модуль неперервності $\omega(t)$ для будь-якої функції $f \in W^1 H_\omega$ справедливі нерівності

$$\|f - \sigma_n(f)\|_{L_p}^p \leq \int_0^{1/n} |L(\omega; 0, 1/n; t)|^p dt \quad (p > 0). \quad (5)$$

У випадку опуклого вгору модуля безперевності $\omega(t)$ оцінка (4) є непокращуваною на класі $W^1 H_\omega$, а при n парному – і на класі $W^1 H_\omega^*$.

Зміст даної роботи зв’язаний зі своєрідним поширенням результата теореми А на класи $W^{2v+1}H_\omega^*$ і більш загальні простори $\varphi(L)$ з використанням величини $\Omega_{2v}(\omega, t)$, заданої у (2).

РЕЗУЛЬТАТИ

Для початку висунемо та доведемо наступну теорему.

Теорема 1. Нехай функція $\varphi(x) \in \Phi$ неперервна і монотонно зростає на $[0, \infty)$, $\omega(t) \in$ опуклий вгору модуль неперервності. Тоді для

будь-якої функції $f \in W^{2\nu+1}H_\omega^*$ ($\nu \in N$) і $n = 2, 3, \dots, \infty$ справедлива нерівність

$$\|f - \sigma_n(f)\|_{\varphi(L)} \leq n \int_0^{1/n} \varphi\left(\frac{1}{2} \int_0^x \Omega_{2\nu}(\omega, 2t - 1/n) dt\right) dx, \quad (6)$$

непокращувана для $n = 2m$ ($m \in N$) на всьому класі $W^{2\nu+1}H_\omega^*$.

Доведення теореми 1.

Нам потрібна низка допоміжних результатів, які, у певному сенсі, є поширенням лем 5.2.7 і 5.2.8 з [21, с.230-231] на випадок класів $W^r H_\omega^*$ та простору $\varphi(L)$. Для цього нагадаємо деякі визначення та поняття, зв'язані з перестановками функцій [22].

Нехай $f(t)$ є сумовою на відрізку $[a, b]$ функцією і при будь-якому фіксованому $y \geq 0$ $l_y(f) = \{t \in [a, b]: |f(t)| > y\}$.

Припускаємо $m(f, y) = \text{mes } l_y(f)$. Функція $t = m(f, y)$ визначена для $0 \leq y < +\infty$, не зростає і $m(f, 0) = b - a$, $m(f, +\infty) = \lim_{y \rightarrow +\infty} m(f, y) = 0$.

Якщо $m(f, y)$ неперервна і строго спадна, то існує зворотна до неї строго спадна функція $R(f, t) \equiv R(f; a, b; t)$, яку називають спадною перестановою функції $f(t)$. У загальному випадку функція $m(f, y)$ може мати проміжки сталості, а також розриви першого роду у кінцевій або лічильній кількості точок. Щоб однозначно визначити зворотну до неї функцію $R(f, t)$, графік $m(f, y)$ виправляють певним чином [22, с. 131].

Лема 1.

Нехай $f(t) \in W^r H_\omega[a, b]$ ($r \in N$) і

$$F(x) = \int_a^x f(t) dt \quad \left(a \leq x \leq b, b - a \leq \frac{1}{2} \right),$$

причому $F(b) = 0$. Якщо $\omega(t)$ є опуклий вгору модуль неперервності, то майже всюди на відрізку $[0, b - a]$ справедлива нерівність

$$|R^{(1)}(F, x)| \leq \frac{\Omega_r(\omega, x)}{4}. \quad (7)$$

Доведення леми 1.

Відомо з [22, с. 134], що з абсолютної неперервності функції $F(x)$ на відрізку $[a, b]$ випливає абсолютно неперервність перестановки $R(f, x)$ на відрізку $[0, b - a]$. Зафіксуємо точку $x_0 \in (0, b - a)$, в якій існує похідна $R^{(1)}(F, x_0)$, і припустимо $y_0 = R(F, x_0)$. Через визначення перестановки на інтервалі (a, b) знайдуться такі точки x_1 і x_2 ($x_1 < x_2$), що $x_2 - x_1 \leq x_0$ і

$$|F(x_1)| = |F(x_2)| = R(F, x_0), \quad \text{sgn } F(x_1) = \text{sgn } F(x_2), \quad (8)$$

$$|F(x)| > y_0 \quad \forall x \in (x_1, x_2).$$

Враховуючи спадний характер перестановки $R(f, x)$, функції $F(x)$ і співвідношення (9) для досить малого за абсолютною величиною $h < 0$ підберемо числа $h_1 > 0$ і $h_2 < 0$ так, щоб

$$|h_1 - h_2| < |h|, \quad a < x_1 < x_1 + h_1 < x_2 + h_2 < x_2 < b$$

та виконувались рівності

$$R(F, x_0 + h) - R(F, x_0) = |F(x_1 + h_1) - F(x_1)| = |F(x_2 + h_2) - F(x_2)|, \quad (9)$$

$$\operatorname{sgn}[F(x_1 + h_1) - F(x_1)] = \operatorname{sgn}[F(x_2 + h_2) - F(x_2)]. \quad (10)$$

Неважко показати [23], що для обраних вказаним чином чисел h, h_1, h_2 справедлива нерівність

$$\frac{1}{|h|} \leq \frac{1}{4} \left(\frac{1}{|h_1|} + \frac{1}{|h_2|} \right). \quad (11)$$

Тоді із співвідношень (9)-(10), з урахуванням нерівності (11) маємо

$$\frac{|R(F, x_0 + h) - R(F, x_0)|}{4} \leq \frac{1}{4} \left| \frac{F(x_1 + h_1) - F(x_1)}{h_1} - \frac{F(x_2 + h_2) - F(x_2)}{h_2} \right| \quad (12)$$

Якщо $f(t) \in W^r H_\omega[a, b]$ ($b - a \leq 1/2$), то спрямовуючи h до 0 для лівої похідної функції $R(f, x)$ в точці отримаємо

$$|R_{-}^{(1)}(F, x_0)| \leq \frac{1}{4} |F^{(1)}(x_1) - F^{(1)}(x_2)| = \frac{1}{4} |f(x_1) - f(x_2)|.$$

Візьмемо з класу $W^r H_\omega^*$ функцію $g(t)$, що збігається з функцією $f(t)$ всюди на відрізку $[a, b]$. Тоді, враховуючи властивість функції $\Omega_r(\omega, t)$, із співвідношення вище маємо

$$|R_{+}^{(1)}(F, x_0)| \leq \frac{1}{4} |g(x_1) - g(x_2)| \leq \frac{1}{4} \Omega_r(\omega, x_2 - x_1) \leq \frac{1}{4} \Omega_r(\omega, x_0).$$

Оцінка правої похідної $R_{+}^{(1)}(F, x_0)$ отримується аналогічним вищевикладеному чином. Лема 1 доведена.

Позначимо через $f_{2\nu}(t)$ функцію із класу $W^{2\nu} H_\omega^*$ ($\nu \in N$), похідна якої порядку 2ν є непарна 1-періодична функція, причому

$$f_{2\nu}^{(2\nu)} = \frac{1}{2} \begin{cases} \omega(2t), & \text{якщо } 0 \leq t \leq \frac{1}{4}, \\ \omega(1 - 2t), & \text{якщо } \frac{1}{4} \leq t \leq \frac{1}{2}, \end{cases} \quad (13)$$

де $\omega(t)$ є опуклий вгору на відрізку $[0, 1/2]$ модуль неперервності. Неважко перевірити (див., напр., [2]), що для визначеності вище функції $f_{2\nu}(t)$ має місце наступна рівність

$$f_{2\nu}(t) = (-1)^\nu \left(\frac{1}{2\pi} \right)^{2\nu-1} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{b_{2k+1} \sin((2k+1)2\pi t)}{(2k+1)^{2\nu}}, \quad (14)$$

де коефіцієнти b_{2k+1} визначені рівняннями (2).

Визначимо на фиксованому відрізку $[a, b]$ ($b - a \leq 1$) функцію

$$\psi_{2v}(\omega; a, b; t) = f_{2v}\left(t - \frac{a+b}{2}\right). \quad (15)$$

Використовуючи рівняння (13) і властивості опуклого вгору модуля неперервності, неважко показати належність функції $\psi_{2v}(\omega; a, b; t)$ класу $W^{2v}H_\omega[a, b]$ ($v \in N$). Покладемо

$$F_{2v+1}(x) \equiv F_{2v+1}(\omega; a, b; x) = \int_a^x \psi_{2v}(\omega; a, b; t) dt, \quad a \leq x \leq b. \quad (16)$$

Ясно, що $F_{2v+1}(x) \in W^{2v+1}H_\omega[a, b]$ ($v \in N$) і, на підставі формул (14)-(15), $F_{2v+1}(b) = 0$. Оскільки $F_{2v+1}(a+x) = F_{2v+1}(b-x)$, $0 \leq x \leq (b-a)/2$ то, зберігаючи позначення, використовувані під час доведення леми 1, маємо

$$\begin{aligned} & \left| \frac{R(F_{2v+1}, x_0+h) - R(F_{2v+1}, x_0)}{4} \right| = \frac{1}{4} \left| \frac{F_{2v+1}(x_1+h_1) - F_{2v+1}(x_1)}{h_1} - \right. \\ & \left. - \frac{F_{2v+1}(x_2+h_2) - F_{2v+1}(x_2)}{h_2} \right|. \end{aligned} \quad (17)$$

Переходячи до границі при $h \rightarrow 0$ із (18), враховуючи рівняння $x_1 = a + t$, $x_2 = b - t$, $x_0 = x_2 - x_1$ ($0 \leq t \leq (b-a)/2$) і співвідношення (2), (14–16), отримаємо

$$\begin{aligned} |R^{(1)}(F_{2v+1}, x_0)| &= \frac{1}{4} \left| F_{2v+1}^{(1)}(x_1) - F_{2v+1}^{(1)}(x_2) \right| = \\ &= \frac{1}{4} |2f_{2v}(x_0/2)| = \frac{1}{4} \Omega_{2v}(\omega, x_0). \end{aligned} \quad (18)$$

Права похідна $R_+^{(1)}(F_{2v+1}, x_0)$ оцінюється за допомогою вищеприведених міркувань. Оскільки перестановка функції $F_{2v+1}(x)$ спадає на відрізку $[0, b-a]$, то із рівняння (18) випливає, що майже всюди на $[0, b-a]$ ($b-a \leq 1$), має місце рівність

$$R^{(1)}(F_{2v+1}, x) = -\frac{1}{4} \Omega_{2v}(\omega, x) \quad (v \in N). \quad (19)$$

Лема 2.

Нехай функція $\varphi(x) \in \Phi$ неперервна і монотонно зростає на $[0, \infty)$. Якщо $f(t) \in W^{2v+1}H_\omega[a, b]$ ($b-a \leq 1/2$, $v \in N$), то в умовах леми 1 має місце співвідношення

$$R(F, x) \leq R(F_{2v+1}, x) \quad (0 \leq x \leq b-a), \quad (20)$$

$$\int_a^b \varphi(F(x)) dx \leq \int_a^b \varphi(F_{2v+1}(\omega; a, b; x)) dx. \quad (21)$$

Доведення леми 2.

Із співвідношень (8) і (19) випливає, що майже всюди на відрізку $[0, b-a]$ ($b-a \leq 1/2$), $R^{(1)}(F, x) \geq R^{(1)}(F_{2v+1}, x)$.

Тоді для будь-якого $x \in [0, b-a]$

$$\int_x^{b-a} R^{(1)}(F, t) dt \geq \int_x^{b-a} R^{(1)}(F_{2v+1}, t) dt. \quad (22)$$

Оскільки $R(F, b-a) = R(F_{2v+1}, b-a) = 0$, то із (22) випливає справедливість нерівності (20).

Через монотонне зростання функції $\varphi(x)$ на $[0, \infty)$ та її парності на R для будь-якого $v > 0$ маємо

$$\begin{aligned} mes\{x: 0 \leq x \leq b-a, R(\varphi(f), x) > y\} \\ = mes\{x: a \leq x \leq b, \varphi(f(x)) > y\} = \\ = mes\{x: a \leq x \leq b, |f(x)| > \varphi^{-1}(y)\} = \\ = mes\{x: 0 \leq x \leq b-a, R(f, x) > \varphi^{-1}(y)\} = \\ = mes\{x: 0 \leq x \leq b-a, \varphi(R(f, x)) > y\}. \end{aligned} \quad (23)$$

Використовуючи визначення інтеграла Лебега і співвідношення (23), маємо

$$\int_a^b \varphi(f(t)) dt = \int_0^{b-a} R(\varphi(f), t) dt = \int_0^{b-a} \varphi(R(f, t)) dt. \quad (24)$$

Із (20) та (24) отримаємо

$$\begin{aligned} \int_a^b \varphi(F(t)) dt &= \int_0^{b-a} R(\varphi(F), t) dt \leq \int_0^{b-a} R(\varphi(F_{2v+1}), t) dt \\ &= \int_a^b \varphi(F_{2v+1}(t)) dt. \end{aligned}$$

Лема 2 доведена.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТИВ

Продовжуючи доведення теореми 1, розглянемо довільну функцію $f(t) \in W^{2v+1}H_\omega^*$ ($v \in N$). Покладемо

$$g(f, t) = f(t) - \sigma_n(f, t). \quad (25)$$

Тоді для будь-якого $0 \leq t \leq 1, t \neq i/n$ ($i = \overline{0, n}$), внаслідок викладеного в п. 1, справедливо

$$g^{(1)}(f, t) = f^{(1)}(t) - \psi_n(f^{(1)}, t). \quad (26)$$

Розглядаючи функцію $g^{(1)}(f, t)$ на фіксованому відрізку $\left[\frac{i-1}{n}, \frac{i}{n}\right]$, довизначимо її на кінцях відрізка по неперервності. Зрозуміло, що функція $g^{(1)}(f, t)$ є елементом класу $W^{2v}H_\omega[(i-1)/n, i/n]$. Враховуючи визначення функції $\sigma_n(f, t)$ із (25), маємо $g(f, i/n) = 0, i = \overline{0, n}$. Тоді функції $g^{(1)}(f, t)$ і $g(f, t)$ задовільняють на відрізку $\left[\frac{i-1}{n}, \frac{i}{n}\right]$ умовам леми 2, що накладаються на функції $f(x)$ і $F(x)$ відповідно. З урахуванням (21) і (25) для $n = 2, 3, \dots$ запишемо

$$\int_{(i-1)/n}^{i/n} \varphi(g(f, t)) dt \leq \int_{i-1}^i \varphi\left(F_{2v+1}\left(w; \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n}; t\right)\right) dt. \quad (27)$$

Використовуючи співвідношення (2) та визначення функції $F_{2v+1}(x)$ (14)-(16) неважко переконатись, що,

$$\int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} \varphi \left(F_{2v+1} \left(w; \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n}; t \right) \right) dt = \int_0^{1/n} \varphi \left(\frac{1}{2} \int_0^x \Omega_{2v}(\omega, 2t - \frac{1}{n}) dt \right) dx. \quad (28)$$

На підставі (25) запишемо

$$\|f - \sigma_n(f)\|_{\varphi(L)} = \sum_{i=1}^n \int_{(i-1)/n}^{i/n} \varphi(g(f, t)) dt.$$

Тоді, застосовуючи на кожному відрізку $\left[\frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} \right]$, ($i = \overline{1, n}$) нерівність (27) і враховуючи (28) для $n = 2, 3, \dots$, отримаємо оцінку зверху $\|f - \sigma_n(f)\|_{\varphi(L)} \leq n \int_0^{1/n} \varphi \left(\frac{1}{2} \int_0^x \Omega_{2v} \left(\omega, 2t - \frac{1}{n} \right) dt \right) dx$. (29)

Розглянемо на відрізку $[0, 1]$ для $v \in N$ функцію

$$\lambda_{2v}(\omega, t) = (-1)^i \psi_{2v} \left(\omega; \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n}; t \right), i = \overline{1, n}. \quad (30)$$

Використовуючи властивості опуклого вгору модуля неперервності $\omega(t)$ і співвідношення (13)-(15), неважко показати, що $\lambda_{2v}^{(2v)}(\omega, x)$ належить до класу H_ω^* у випадку парних n , а значить, $\lambda_{2v}(\omega, t) \in W^{2v} H_\omega^*$.

Очевидно, що функція

$$L_{2v+1}(\omega, x) = \int_0^x \lambda_{2v}(\omega, t) dt \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (31)$$

для $n = 2m$ ($m \in N$) є елементом класу $W^{2v+1} H_\omega^*$.

Із (14)-(16) і (30)-(31) випливає, що

$$L_{2v+1}(\omega, i/n) = 0, i = \overline{0, n}. \quad (32)$$

Завдяки інтерполяційному характеру функції $\sigma_n(f, t)$ маємо

$$\sigma_n(L_{2v+1}(\omega), t) = 0, 0 \leq t \leq 1. \quad (33)$$

Використовуючи рівняння (14)-(16), (30)-(33) та (28), запишемо для $n = 2m$ ($m \in N$)

$$\|L_{2v+1}(\omega) - \sigma_n(L_{2v+1}(\omega))\|_{\varphi(L)} = n \int_0^{1/n} \varphi \left(\frac{1}{2} \int_0^x \Omega_{2v} \left(\omega, 2t - \frac{1}{n} \right) dt \right) dx. \quad (34)$$

Співставляючи отриману раніше оцінку зверху (29) з оцінкою (34), переконуємось в тому, що для парних n співвідношення (5) не-покращуване на всьому класі $W^{2v+1} H_\omega^*$ ($v \in N$).

Теорема 1 доведена.

Наслідок 1.

Нехай $\varphi(x) = |x|^p$ ($0 < p < \infty$) і $\omega(t)$ – опуклий вгору модуль

неперервності. Тоді для будь-якої функції $f \in W^{2v+1}H_\omega^*$ ($v \in N$) і $n = 2, 3, \dots$ справедливо непокращувана для парних n нерівність

$$\|f - \sigma_n(f)\|_{L_p}^p \leq 2^{-p} n \int_0^{1/n} \left| \int_0^x \Omega_{2v}(\omega, 2t - \frac{1}{n}) dt \right| dx. \quad (35)$$

Граничним переходом в (35) при $p \rightarrow \infty$ отримаємо відповідні точні оцінки похибки наближення у метриці простору C при $n = 2m$ ($m \in N$) і $r = 2v + 1$ ($v \in N$).

Наслідок 2.

Нехай $\omega(t)$ – опуклий вгору модуль неперервності. Тоді при $n = 2m$ ($m \in N$) і $r = 2v + 1$ ($v \in N$) справедлива рівність

$$\begin{aligned} \sup_{f \in W^r H_\omega^*} \|f - \sigma_n(f)\|_C &= \frac{1}{4} \int_0^{1/n} \Omega_{2v}(\omega, t) dt \\ &= \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2\pi} \right)^{r-2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{b_{2k+1} \sin^2 \left(\frac{(2k+1)\pi}{2n} \right)}{(2k+1)^r}. \end{aligned}$$

У метриках просторів $\varphi(L)$, породжених неперервними і спадними функціями $\varphi(x)$ ($0 \leq x < \infty$), отримані оцінки наближення класів 1-періодичних функцій $W^{2v+1}H_\omega^*$ ($v \in N$), де $\omega(t)$ – опуклий вгору модуль неперервності, кусково-сталими функціями $\sigma_n(f, t)$ інтерполюючими функції $f(t) \in W^{2v+1}H_\omega^*$ на множині точок $t_i = i/n$ ($i = \overline{0, n}$).

Отримані оцінки є непокращуваними для $n = 2m$ ($m \in N$) на всьому класі $W^{2v+1}H_\omega^*$ ($v \in N$). Дані результати є своєрідним поширенням раніше відомих результатів на класи $W^{2v+1}H_\omega^*$ і більш загальні простори $\varphi(L)$.

Висновки

1. Отримані оцінки наближення 1-періодичних функцій з класів $W^{2v+1}H_\omega^*$ ($v \in N$), де $\omega(t)$ – опуклий вгору модуль неперервності, кусково-сталими функціями $\sigma_n(f, t)$, інтерполюючими функціями $f(t) \in W^{2v+1}H_\omega^*$ на множині точок $t_i = i/n$ ($i = \overline{0, n}$) в метриках просторів $\varphi(L)$.

2. Отримано оцінку похибок наближення класів 1-періодичних функцій із класів $W^{2v+1}H_\omega^*$ ($v \in N$), де $\omega(t)$ – опуклий вгору модуль неперервності, кусково-сталими функціями $\sigma_n(f, t)$ в інтегральній метриці L_p ($0 < p < \infty$). Оцінки виражені через функцію $\Omega_{2v}(\omega, t)$.

3. Доведено теорему про зв’язок неперервної і монотонно зростаючої на $[0, \infty)$ функції $\varphi(x) \in \Phi$ і будь-якої функції $f \in W^{2v+1}H_\omega^*$

($\nu \in N$) і $n = 2, 3, \dots, \infty$; а також двох лем та двох наслідків з теореми.

4. Результати проведеного дослідження є своєрідним поширенням раніше відомих результатів наближення функцій на класи 1-періодичних функцій $W^{2\nu+1}H_\omega^*$ та більш загальні простори $\varphi(L)$.

5. Доведено, що отримані оцінки є непокращуваними для $n = 2m$ ($m \in N$) на всьому класі $W^{2\nu+1}H_\omega^*$ ($\nu \in N$).

6. Отримані нові результати теорії апроксимації функцій можуть бути використані для подальших практичних застосувань, зокрема, в теорії вейвлетів. Прикладним аспектом використання отриманих наукових результатів є також можливість застосування оцінок похибок наближення теорії чисельних методів при побудові чисельних алгоритмів й обробці сигналів.

ПОСИПАННЯ

1. Корнейчук, Н. П. (1962). Об экстремальных свойствах периодических функций. *Доклады АН УССР*, 8, 993-998.
2. Сторчай, В. Ф. (1973). Точные оценки для норм дифференцируемых периодических функций в метрике L_2 . *Український математичний журнал*, 25, 6, 832-841.
3. Н. П. Корнейчук, *Точные константы в теории приближения*, Наука, Москва, 1987.
4. Черницкая, О. В. (1998). Об аппроксимации непрерывных функций кусочно-постоянными в интегральных метриках. *Вестник Днепропетровского университета. Математика*, 3, 128-137.
5. Tchenitskaya, O. V. (1999). Approximation of continuous functions classes by step functions in integral metrics. *East journal on approximations*, 5, 4, 403-418.
6. Черницкая, О. В. (1999). Поперечники классов $H^\omega[a, b]$. *Вестник Днепропетровского университета. Математика*, 4, 101-105.
7. Малоземов, В. Н. (1966). Об отклонении ломаных. *Вестник ЛГУ*, 2, 7, 150-153.
8. Сторчай, В. Ф. (1969). Об отклонении ломаных в метрике L_p ? *Математические заметки*, 5, 1, 31-37.
9. Логинов, А. С. (1969). Приближение непрерывных функций ломаными. *Математические заметки*, 6, 2, 149-160.
10. Малоземов, В. Н. (1967). К полигональной интерполяции. *Математ. заметки*, 1, 5, 537-540.
11. Корнейчук, Н. П. (1996). О лінійних поперечниках класів. *Український математичний журнал*, 48, 9, 1255-1264.
12. Bel'skii, S. A. (2002). On Piecewise-Constant Approximation of Continuous Functions of n Variables in Integral Metrics. *Ukrainian*

Mathematical Journal, 54, 358-370. Отrimано з:
<https://doi.org/10.1023/A:1020505231310>.

13. Иванов, В. И. (1988). Приближение в L_p кусочно-постоянными функциями. *Mathematical Notes*, 44(1), 523-532.
14. Pichugov, S. A. (1996). Approximation of measurable periodic functions in measure by step functions. *Ukrainian Mathematical Journal*, 48, 795-800. Отrimано з: <https://doi.org/10.1007/BF02384229>.
15. Agoshkova, T. A. (2014). Approximation of Periodic Functions of Many Variables in Metric Spaces by Piecewise-Constant Functions. *Ukrainian Mathematical Journal*, 65, 1447-1459. Отrimано з: <https://doi.org/10.1007/s11253-014-0871-5>.
16. Kochurov, A. C. (2013). Прямые и обратные теоремы о приближении кусочно-полиномиальными функциями. *Фундаментальная и прикладная математика*, 18(5), 129-144.
17. Шабозова, А. А. (2017). Приближение кривых ломаными в L_p . *Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия*, 4(4), 622-630.
18. Шабозова, А. А. (2017). Приближение пространственных кривых ломаными в L_p . *Труды Института математики и механики УрО РАН*, 23(4), 311-318.
19. Конунова, У. Х. (2016). О приближении непрерывных функций линейными интерполяционными сплайнами (ломаными). *Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*, 3, 24-31.
20. Корнейчук, Н. П. (1981). Поперечники в L_p классов непрерывных и дифференцируемых функций и оптимальные методы кодирования и восстановления функций и их производных. *Известия АН СССР. Серия математика*, 45, 2, 266-290.
21. Корнейчук, Н. П. (1984). Сплайны в теории приближения. Москва: Наука, 352 с.
22. Корнейчук, Н. П. (1976). Экстремальные задачи теории приближения. Москва: Наука, 320 с.
23. Корнейчук, Н. П. (1967). Точные оценки для норм дифференцируемых периодических функций в метрике L . *Математические заметки*, 2, 6, 569-576.

ADVANTAGES OF LOGARITHMIC SIGNATURES IN THE IMPLEMENTATION OF CRYPTO PRIMITIVES

Yevgen Kotukh

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-620X>

Dnipro Polytechnic University, Dnipro, Ukraine

Gennady Khalimov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2054-9186>

Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine

INTRODUCTION

Computationally complex tasks, or "hard problems" for brevity, is a broad term that encompasses problems that require a significant number of resources to solve. Cryptography uses them by establishing an equivalence between the security of a scheme and the intractability of a complex problem. Two hard problems have been widely used in public-key cryptography: integer factorization and the discrete logarithm problem. In 1994, Shor [1] showed that these classical complex problems can be easily solved on a large-scale quantum computer. Progress in the creation of quantum computers is becoming more and more tangible. This has prompted the cryptographic community, industry, and many standards organizations to plan to replace the public-key cryptography in widespread use today with a quantum-secure alternative: post-quantum cryptography.

Quantum-resistant cryptosystems based on lattices, linear codes with error correction, multidimensional polynomial equations, one-sided functions, on isogeny of elliptic curves, on non-commutative groups also exploit computationally complex tasks.

OBJECTIVE AND TASKS

The quantum security evaluations of the cryptosystems submitted to the NIST competition and pre-selected as candidates for post-quantum cryptography are constantly being revised and refined. The latest results on the construction of a polynomial quantum algorithm for solving the LWE problem with polynomial modulus-noise relations are exit. Despite the error found in the algorithm, new ideas regarding the application of the complex Gaussian function and the windowed quantum Fourier transform, in the author's opinion, will be able to find new applications in quantum computing or develop new ways to solve the LWE problem. We would venture to assume that any

crypto-algorithm that has regularity properties in its structured data will be broken by a quantum computer. The properties of superposition and quantum entanglement make it possible to perform calculations on all states of the qubit register simultaneously. This property models the full set of states of a classical computer. The presence of regularity in the computational data of the algorithm, for example, periodicity (frequency resonances) in algebraic structures (rings, groups, lattices, etc.) can potentially be filtered by some algorithm with a complexity less than Grover's algorithm. We propose to change the approach to the design of cryptosystems. We replace the concept of a problem that is difficult to solve by a problem that has many equivalent solutions without regularities, when all solutions are equally likely. In this case, quantum cryptanalysis is reduced to Grover's scheme with exponential implementation complexity. We will set linear equations with respect to the unknowns for which we use the values of the logarithmic signatures. The number of equations for secret values of logarithmic signatures is less than their number. This leads to an incomplete system of linear equations with respect to unknowns and the impossibility of solving it in polynomial time. The only attack on a cryptosystem comes down to sorting and defining variables. The secrecy of the cryptosystem of the constructed problem with incompletely determined equations is determined by the power of many solutions.

MATERIALS AND METHODS

The logarithmic signature in the algorithm is a basic cryptographic primitive with excellent cryptographic properties of non-linearity, non-commutability, unidirectionality, and factorability by key. Below we will consider the basic information about cryptosystems with logarithmic signatures. The representation of the logarithmic signature is associated with the positional numbering system. Let G is a finite group. The logarithmic signature α for a group G is a sequence of subsets $A_i \subseteq G$ of the form $\alpha = [A_1, \dots, A_s]$, such that for each element g of the group G there is only one factorization (*) $g = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_s$, where $a_i \in A_i$ for $i = 1, \dots, s$. Sets A_i are called blocks. The size of the list of blocks is denoted by $r_i := |A_i|$. For simplicity, we call the elements $A_1 \cup \dots \cup A_s$ logarithmic signature elements α . Under certain conditions, we consider the ordering of the elements of the block, then $k_i = 0, \dots, r_i - 1$ we denote through a_{ik_i} every $(k_i + 1)$ -th element of the block A_i . A vector (r_1, \dots, r_s) is called a type α , a

$$\ell(\alpha) = \sum_{i=1}^s r_i -$$

with the length of the logarithmic signature. The set of logarithmic signatures of the group is denoted by $\Lambda(G)$. The logarithmic signature is formed from subblocks. Each subblock contains vectors/strings that can be represented as numbers. A cryptogram is determined by the sum of vectors selected by a key (number). The problem of the complexity of the computational security of the cipher lies in the difficulty of finding the decomposition of the cryptogram into vectors, if the correspondence between the positions of the vectors and its values is not known. From the definition, we obtain certain properties of logarithmic signatures.

RESULTS

Let $n \in \mathbb{N}$ For a cyclic group, $(\mathbb{Z}_{2^n}, +)$ a sequence of the form $\alpha = [[0, 2^{n-1}], [0, 2^{n-2}], \dots, [0, 2], [0, 1]]$ is a normalized logarithmic signature of the type $(2, \dots, 2)$. Computing the factorization of an element is equivalent to computing its binary mapping, in particular, if $n = 4$, $9 = 1001$ has the factorization of $2^3 + 0 + +0 + 2^0$. Consider the possibility of calculating the factorization of a group element for the specified logarithmic signature and a certain element of the group. For example, an exhaustive search attack by finding all possible factorizations represented by the logarithmic signature $\alpha = [A_1, \dots, A_s]$ of the group G , constitutes $|G| \times (s - 1)$ group operations in the worst case. Such an iterative finds the correct factorization for any logarithmic signature, but is not possible in the general case. The example demonstrates that for certain logarithmic signatures it is easy to compute factorizations. For practical use in cryptosystems, *MST* it is necessary to define logarithmic signatures for which factorization is computationally infeasible, as well as signatures for which there are efficient decomposition algorithms. Mostly, the terms "simple" and "complex" logarithmic signatures are used to denote the difference between logarithmic signatures, for which it is computationally easy and difficult to obtain factorizations, respectively.

CONCLUSIONS

One of the first constructions of a logarithmic signature for finite groups of permutations was proposed for the construction of a symmetric cryptosystem. The basic property of this construction is the possibility of factorization by key. In 2002, Magliveras developed two public key cryptosystems MST1 and MST2 [2]. Lempken used logarithmic signatures and random overlays to create a general MST3 encryption scheme. In this scheme, the public key consists of common logarithmic signatures and some random numbers, and the secret key consists of a random overlay

and a sandwich transform. The assumption of the undecidability of this scheme is the problem of group factorization on non-Abelian groups [3,4,5]. Also, motivated by attacks, Svaba and van Trung reviewed an extended version of the general scheme called eMST3 cryptosystems [6]. Further development of the MST3 cryptosystem was proposed on the basis of high-order groups of generalized Suzuki groups, small Ree groups, three parametric groups, groups of automorphisms of the Suzuki functional field and automorphisms of the Ree functional field [7].

The advantage of logarithmic signatures is that the calculation of ciphertexts is implemented by a simple addition operation with bitwise XOR. The disadvantage is the large size of signature - logarithmic arrays of arrays to ensure a high level of secrecy. A promising direction is the use of logarithmic signatures as a basic crypto primitive, which implements keyless encryption and factorization by the logarithmic signature key.

REFERENCES

1. Peter W. Shor. Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring. In 35th FOCS, pages 124–134. IEEE Computer Society Press, November 1994
2. SS Magliveras , “A cryptosystem from logarithmic signatures of finite groups,” in Proceedings of the 29th Midwest Symposium on Circuits and Systems, pp. 972–975, Elsevier Publishing, Amsterdam, The Netherlands, 1986.
3. SS Magliveras and ND Memon, “Algebraic properties of cryptosystem PGM,” Journal of Cryptology, vol.5, no.3, pp.167–183, 1992.
4. A. Caranti and F. Dalla Volta, “The round functions of cryptosystem PGM generate the symmetric group,” Designs, Codes and Cryptography, vol.38, no.1, pp.147–155, 2006.
5. S. S. Magliveras , P. Svaba , T. van Trung , and P. Zajac, “On the security of a realization of cryptosystem MST3”, Tatra Mountains Mathematical Publications, vol.41, pp.65– 78, 2008.
6. P. Svaba and T. van Trung, “Public key cryptosystem MST3 cryptanalysis and realization”, Journal of Mathematical Cryptology, vol. 4, no. 3, pp. 271–315, 2010.
7. Gennady Khalimov, Yevgen Kotukh, Oleksandr Sievierinov , Svitlana Khalimova , Sang-Yoon Chang, Yaroslav Balytskyi , Strong Encryption Based on the small Ree groups International Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PIC S&T’2022) October 10 – 12, 2022 Kyiv – Kharkiv.

ПОРІВНЯННЯ БАГАТОПРОЦЕСОРНОЇ ТА БАГАТОПОТОЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЙ ЕНТРОПІЙНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ІМПУТУВАННЯ ПРОПУСКІВ У ДАНИХ НА МОВІ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

Олексій Земляний

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6157-8725>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Олег Байбуз

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7489-6952>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

У галузі науки про дані дослідницький аналіз є важливим етапом. Він допомагає вивчити характеристики даних, виявити закономірності, аномалії, очистити дані від викидів і створити початкові моделі. На цьому етапі можна визначити розподіл даних, оцінити його параметри, знайти викиди та побудувати кореляційну матрицю. Виявлення пропущених значень є серйозною проблемою попереднього аналізу, оскільки немає універсального методу для всіх випадків. Потрібно підбирати або комбінувати різні методи. Більшість моделей машинного навчання не можуть працювати з пропущеними значеннями, тому їх необхідно обробити під час підготовки даних. Одним з підходів до імпутування є ентропійний метод [1], який враховує невизначеність даних.

Ця робота присвячена порівнянню багатопроцесорної та багатопоточної реалізацій ентропійного підходу для імпутування пропусків у даних на мові програмування Python. Ми досліджуємо, як різні підходи до паралелізації можуть впливати на продуктивність імпутування. Використання багатопроцесорних і багатопотокових технологій дозволяє значно прискорити обчислювальні процеси, що є важливим для роботи з великими обсягами даних, але на мові програмування Python ця задача має свої особливості.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Мова програмування Python належить до сімейства інтерпретованих мов програмування, що означає, що інструкції програми виконує програма-інтерпретатор. Коли мова йде про оптимізацію обчислень, перша ідея пов'язується з багатопоточною організацією обчислень.

Але у випадку мови програмування Python з цього приводу є певні обмеження, оскільки її інтерпретатор не є повністю багатопотоковим [2]. Метою даної роботи є дослідження підходів щодо оптимізації обчислень при реалізації ентропійного підходу для імпутування пропусків у даних на мові програмування Python. В якості прикладу будемо використовувати набір даних, доступний на платформі Kaggle.com, збірний датасет UCI Heart Disease Data [3], створений кардіологічними центрами в Угорщині, Швейцарії та США.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Інтерпретатор Python не підтримує повноцінну багатопоточність. Для роботи багатопоточних програм у Python існує глобальне блокування інтерпретатора (GIL). Даний потік повинен утримувати це блокування, щоб мати можливість безпечно працювати з об'єктами Python. Без GIL навіть прості операції можуть викликати проблеми в багатопоточних програмах: наприклад, якщо два потоки одночасно збільшують лічильник посилань на один і той самий об'єкт, лічильник може збільшитися лише один раз замість двох.

Тому встановлено правило, що тільки той потік, який отримав GIL, може працювати з об'єктами Python або викликати функції Python/C API. Щоб емулювати паралельність виконання, інтерпретатор регулярно намагається перемикати потоки. Блокування також зникається навколо потенційно блокуючих операцій вводу/виводу, таких як читання або запис файлу, щоб інші потоки Python могли працювати у цей час.

Відтак, GIL, або Global Interpreter Lock, – це м'ютекс, який обмежує доступ до інтерпретатора Python у багатопотокових середовищах, дозволяючи виконувати лише одну інструкцію одночасно. Хоча GIL забезпечує безпеку та цілісність даних, він обмежує ефективне використання багатоядерних процесорів і багатозадачність.

Python підтримує багатопоточність за допомогою модуля *threading*, але через GIL лише один потік може взаємодіяти з об'єктами Python у будь-який момент часу. Це ускладнює паралельне виконання завдань, особливо обчислювально інтенсивних. GIL був впроваджений, коли Python почав використовуватися для багатопотокових додатків, щоб запобігти проблемам з одночасним доступом до спільних ресурсів і забезпечити безпеку роботи з пам'яттю та об'єктами. У Python 3.2 було впроваджено систему для часткового розділення GIL, що покращило продуктивність у певних випадках. Проте GIL продовжує обмежувати багатозадачність, тому потоки в Python підходять краще для завдань, пов'язаних з очікуванням вводу-виводу,

ніж для інтенсивної обробки даних.

Взаємодія потоків з GIL може спричинити непередбачувані результати, зокрема перегони даних (race conditions), коли кілька потоків змінюють одні й ті самі дані. Один з ефективних способів обійти GIL – це спроба використати багатопроцесорну обробку (multiprocessing) замість багатопоточності. Оскільки кожен процес має власний інтерпретатор Python і GIL, вони можуть паралельно працювати на різних ядрах. Існують Python-бібліотеки, наприклад, concurrent.futures, які надають високорівневий доступ до багатопроцесорної обробки, дозволяючи легко перемикатися між пулами потоків і процесів залежно від потреб програми.

Порівняємо ефективність цих підходів з точки зору прискорення часу обчислень для задачі імпутування пропусків у даних на основі ентропійного підходу.

Результати

В нашому тестовому датасеті, як описано в роботі [4], штучно вносяться пропуски, далі проводиться імпутування пропущених значень різними реалізаціями ентропійного підходу, оцінюється середньо-квадратична похибка та час виконання алгоритмів. Розглядаються 10% пропусків, 20%, 30% та 40%. Додається патерн пропусків, з випадковою кількістю повних рядків та ознак. Виконується 10 ітерацій генерування пропусків в даних та імпутацій трьома різними реалізаціями ентропійного підходу. Обчислюється середня помилка імпутації для кожного обсягу пропусків та середній загальний час імпутування.

Імпутація даних за ентропійним підходом для кожної ознаки виконується незалежно одна від одної, тому ми можемо розпаралелити обчислення таким чином, що кожній ознаці відповідає свій потік чи процес обчислень. Ми будемо порівнювати точність імпутування та час обчислень для послідовного підходу, багатопоточного (multithreading) та багатопроцесорного (multiprocessing) підходів. В реалізаціях алгоритму імпутування будемо використовувати ThreadPoolExecutor() та ProcessPoolExecutor() з модуля concurrent.futures [5].

В нашій задачі немає проблеми перегонів даних, оскільки кожний потік чи процес вирішує свою окрему задачу та повертає результат у вигляді стовпця з імпутованими даними для ознаки, за яку він відповідає. Таким чином, нам немає потреби здійснювати блокування спільніх даних в межах обчислень. Єдине наше обмеження буде стосуватись використання GIL.

Дослідження проводились на комп’ютері з процесором Intel i7-3770, що має 4 фізичних ядра та 8 логічних ядер, оскільки використовується технологія Intel® Hyper-Threading. У таблицях 1 та 2 наведено результати обчислень для двох незалежних сесій тестування. Оскільки попередні тести показали, що за швидкодією виграє реалізація з багатопроцесорним підходом, прийнято рішення також провести випробування з різною кількістю робочих процесів: 4, 8 та за замовчуванням (визначається системою).

Таблиця 1 – Порівняння ефективності різних реалізацій ентропійного методу імпутування пропусків в даних, сесія 1

Реалізація	10%	20%	30%	40%	Час виконання
Послідовний підхід	6.676	6.954	9.294	9.426	22.112261
Багатопоточний підхід	6.676	6.954	9.414	9.566	22.698414
Багатопроцесорний підхід	6.676	6.830	9.320	9.480	18.651492

Таблиця 2 – Порівняння ефективності різних реалізацій ентропійного методу імпутування пропусків в даних, сесія 2

Реалізація	10%	20%	30%	40%	Час виконання
Послідовний підхід	6.62	7.7	9.79	9.92	20.875952
Багатопоточний підхід	6.596	7.466	9.802	9.73	22.014434
Багатопроцесорний підхід, за замовчуванням	6.552	7.384	9.704	10.236	17.612596
Багатопроцесорний підхід, 4 робочі процеси	6.644	7.502	9.894	9.904	15.486620
Багатопроцесорний підхід, 8 робочих процесів	6.570	7.564	9.602	9.85	17.541755

Можна побачити, що різниці в середніх значеннях похибки в залежності від обраного підходу майже немає в тому сенсі, що кожний з підходів не може надати перевагу саме у досягненні кращої точності імпутування, оскільки оптимізація була направлена на збільшення швидкодії обчислень. Порівняння послідовного підходу та багатопоточного показує, що багатопоточний підхід не дає переваги у швидкодії, і, навіть, може її погіршити. І тільки багатопроцесорний підхід надає дійсне зменшення часу обчислень. З нашого дослідження випливає, що ми можемо покращити швидкодію, якщо кількість

робочих процесів буде дорівнювати кількості фізичних ядер процесора. Тому важливо брати до уваги саме цю характеристику.

Висновки

Ми розробили три реалізації ентропійного методу для імпутування пропусків у даних на основі послідовного, багатопоточного та багатопроцесорного підходів. В ході програмного експерименту виявлено, що багатопоточний підхід не надає переваги у порівнянні з послідовним підходом, що пояснюється наявністю обмежень у використанні GIL, описаних в документації. Можливо навіть погіршення результату, що пояснюється часом, що витрачається на перемикання між потоками. Реальне покращення результату від використання багатоядерних процесорів у випадку мови програмування Python можна побачити при застосуванні багатопроцесорного підходу. Важливо також зауважити, що вдалий вибір кількості робочих процесів залежить від кількості фізичних ядер процесора.

В якості рекомендацій щодо оптимізації обчислень на мові програмування Python можна запропонувати використання векторних обчислень, доцільно позбавлятись надлишкових операцій, уникати багаторазових операцій введення/виведення та використання глобальних змінних, а для виявлення місць в коді, що витрачають багато часу, використовувати профілювання, наприклад, за допомогою модуля cProfile.

ПОСИЛАННЯ

1. Delavallade, T., & Dang, T. H. (2007, July). Using entropy to impute missing data in a classification task. In *2007 IEEE International Fuzzy Systems Conference* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2007.4295430>
2. Initialization, Finalization, and Threads — Python 2.7.18 documentation. (б. д.). 3.12.3 Documentation. <https://docs.python.org/2/c-api/init.html#threads>
3. UCI Heart Disease Data. (б. д.). Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. <https://www.kaggle.com/datasets/redwankarimsony/heart-disease-data>
4. Zemlianyi, O., & Baibuz, O. (2024). Methods for imputing missing data on coronary heart disease. *System technologies*, 2(151), 33-49. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-2-151-2024-04>
5. concurrent.futures – Launching parallel tasks. (б. д.). Python documentation. <https://docs.python.org/3/library/concurrent.futures.html>

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ЗАДАЧАХ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА МОНІТОРИНГУ

Костянтин Суковенко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8109-9382>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Постановка проблеми в контексті інформаційної технології підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу полягає в ідентифікації та розв'язанні ряду викликів, що виникають у процесі використання цих технологій. Багато систем відеоспостереження використовують складні алгоритми для розпізнавання об'єктів та аналізу поведінки, проте, ефективність цих алгоритмів може бути обмежена в умовах обмежених ресурсів, або в складних умовах оточення, що потребує подальшого вдосконалення.

Одним із ключових аспектів є забезпечення точності та достовірності інформації, яка використовується для прийняття рішень. Навіть невеликі помилки у виявленні об'єктів, або аналізі поведінки можуть привести до серйозних наслідків. Зі збільшенням обсягів зібраних даних зростає і значення етичних та правових аспектів, таких як: захист приватності, використання даних і зберігання інформації. Потрібно знайти баланс між користуванням цими даними та захистом прав людини.

Для більш ефективного прийняття рішень важливо забезпечити інтеграцію систем відеоспостереження з іншими джерелами інформації, такими як: системи датчиків, соціальні медіа, бази даних тощо. Оскільки системи відеоспостереження стають все більш підключеними до мережі, вони стають уразливими перед кібератаками та зовнішнім впливом «третіх осіб», які можуть спричинити фізичне пошкодження обладнання. Забезпечення стійкості до атак та кібербезпеки є ключовим завданням для збереження інформаційної безпеки та недопущення небажаних втручання у процеси прийняття рішень.

Таким чином, створення ефективної та надійної інформаційної технології підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу вимагає комплексного підходу, що враховує технічні, етичні, правові та кібербезпечні аспекти. Для досягнення цієї мети необхідно забезпечити високу якість та безпеку обробки відеоданих.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Одним із ключових елементів інформаційної технології відеоспостереження є автоматизований відео аналіз. Ця технологія використовує алгоритми штучного інтелекту для розпізнавання об'єктів, аналізу поведінки та виявлення аномалій у відео потоці. Наприклад, системи можуть автоматично виявляти рухливі об'єкти, розпізнавати номерні знаки автомобілів або визначати людську поведінку на вулиці чи в приміщенні. [3]

Здатність обробляти великі обсяги відеоданих у реальному часі є неймовірно важливим пунктом у інформаційній технології підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу. Завдяки швидкому розвитку технологій обчислювальної техніки та програмного забезпечення, сучасні системи ефективно аналізують великі потоки відеоданих і витягають корисну інформацію для прийняття рішень. Також варто згадати про інтеграцію відеоданих з геопросторовою інформацією. Ця інтеграція дозволяє створювати комплексні системи моніторингу, які забезпечують не лише візуальну інформацію, але й контекстуалізують її у просторі. Наприклад, системи автоматично визначають місцеположення подій на карті, що допомагає в оперативному реагуванні на надзвичайні ситуації. Проте, разом з потужними можливостями інформаційної технології виникають і виклики. Один із найбільших серед них - захист приватності, збір та аналіз великих обсягів відеоданих може порушувати приватність громадян, тому важливо розробляти та застосовувати ефективні заходи захисту даних. Машинне навчання та нейронні мережі є ключовими компонентами сучасних систем відеоаналізу. Шляхом тренування на великих наборах даних, ці алгоритми стають все більш точними і ефективними у виявленні об'єктів та аналізі поведінки на відео. [1-3]

У сучасному світі, де робота стає все більш монотонною та вимагає постійного навантаження, важливо визнати наслідки, які це може мати на якість та ефективність рішень, які приймають люди. Ця проблема виявляється досить актуальною у різних сферах, включаючи виробництво, інженерію, та інші. Постійне навантаження та монотонна робота можуть впливати на психічний стан працівників та їх загальну продуктивність. Втрата концентрації та втома можуть перешкоджати здатності до обґрунтованого прийняття рішень. Довготривала монотонність може привести до втрати мотивації та інтересу до виконання роботи, що додатково ускладнює процес прийняття рішень. [1]

Крім того, постійна рутинність може привести до застосування шаблонних підходів до рішень, що у свою чергу може привести до

втрати гнучкості та неспроможності адаптуватися до нових ситуацій. Недостатність часу для вивчення нових питань чи аналізу альтернативних шляхів також може привести до недостатності інформації для прийняття обґрунтованих рішень. [1]

Для запобігання цим ризикам, важливо регулярно оптимізувати робочий процес та шукати можливості для вдосконалення. Розвиток інформаційних технологій надає можливість використання різних алгоритмів та методів у такій діяльності. Одним із способів підтримки прийняття рішень є використання систем підтримки прийняття рішень (СППР), які допомагають зменшити вплив навантаження та монотонності на якість прийнятих рішень. [1] Таким чином, урахування ризиків, пов'язаних із постійним навантаженням та монотонною роботою, важливе для забезпечення ефективного та обґрунтованого прийняття рішень у сучасному світі.

Методологія розробки СППР за моделлю швидкого прототипування, запропонована [2], включає такі етапи:

Ідентифікація цілей та завдань: На цьому етапі ретельно уточнюються цілі розробки СППР, планується процес розробки, визначається склад розробників та джерела знань.

Отримання знань: Здійснюється процес передачі знань від експертів до інженера зі знань (когнітолога), що включає в себе накопичення та систематизацію експертних знань.

Концептуалізація (структуризація) знань: На цьому етапі визначається структура отриманих знань про предметну область, що допомагає у подальшому формалізувати ці знання для використання в системі.

Формалізація знань: Етап формалізації передбачає побудову формалізованого представлення концепцій про предметну область на основі обраної (або розробленої) моделі представлення знань.

Реалізація прототипу: На цьому етапі розробляється прототип СППР на базі вибраних або розроблених програмно-технічних засобів.

Тестування результатів реалізації: Етап тестування спрямований на перевірку та оцінку роботи СППР відповідно до реальних вимог та запитів користувачів. [3,4]

Ця методологія забезпечує систематичний та ефективний підхід до розробки СППР, що дозволяє забезпечити якісну та функціональну систему, відповідну потребам користувачів. Використання структурованих методів та інтеграція різноманітних аспектів забезпечують розробку надійних і безпечних СППР, які здатні ефективно підтримувати процес прийняття рішень у різних галузях, який підвищує довіру до системи та її загальну ефективність.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянути етичні та правові питання, пов'язані з використанням відеоданих, та розробити рекомендації щодо забезпечення захисту приватності та дотримання норм безпеки даних.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання відеоданих в системах відеоспостереження та моніторингу породжує ряд етичних питань, які потребують уваги та вирішення з метою забезпечення захисту приватності та інших прав громадян.

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень (ІТППР) у сфері відеоспостереження та моніторингу є ключовою складовою для оптимізації процесів аналізу, обробки та використання відеоданих. Ця технологія використовується для автоматизації та покращення прийняття рішень на основі інформації, отриманої з відеозаписів. Основна мета цієї технології - забезпечити операторам та системам відеоспостереження потужні інструменти для автоматичного виявлення подій, об'єктів та паттернів у відеопотоці, що допомагає у прийнятті ефективних та обґрунтованих рішень.

Метод використання технологій комп'ютерного зору на основі даних з відеонагляду в поєднанні з системами підтримки прийняття рішень (СППР) є важливим напрямком вдосконалення процесів управління та контролю в різних сферах. Це дозволяє зменшити навантаження на персонал, оптимізувати процеси аналізу та виявлення подій, а також покращує результативність виконання завдань. Технології комп'ютерного зору надають можливість автоматизувати процеси аналізу відеоданих, а СППР допомагають приймати обґрунтовані рішення на основі цієї інформації. [1]

Ключовою складовою використання технологій комп'ютерного зору є використання систем відео аналітики, яка виявляє об'єкти, розпізнає обличчя, виявляє рух та аналізує аномальні події на відеозаписах. Перед тим як комп'ютер може виявити об'єкти на зображеннях, вихідне зображення піддається попередній обробці, що включає зменшення шуму та підвищення контрастності. Після цього відбувається виділення особливих ознак, таких як кольори, текстури або форми, та класифікація цих об'єктів на основі навчених моделей. Зокрема, для цих цілей використовуються згорткові нейронні мережі (CNN), які є одним з базових підходів у глибокому навчанні для розпізнавання об'єктів на зображеннях. Такий підхід полягає в застосуванні паттернів для розпізнавання об'єктів на зображеннях. [1-3]

Класифікація зображень є однією з найбільш поширених задач в області комп'ютерного зору. Вона базується на класифікації об'єктів та локалізації їх на зображеннях, що дозволяє визначити їх координати та положення на фреймі. Існує багато методів виявлення об'єктів, проте важливими характеристиками є швидкість обробки та якість виявлення. Таким чином, використання технологій комп'ютерного зору в поєднанні з системами підтримки прийняття рішень у сфері відеоспостереження та моніторингу є перспективним напрямком для покращення ефективності та точності виявлення об'єктів, розпізнавання облич та аналізу подій.

Приватність та конфіденційність осіб, що зображені на відео, становлять одне з найбільш важливих етичних питань у контексті використання систем відеоспостереження. Збирання та обробка відеоданих стає джерелом порушення особистої приватності, це в свою чергу, часто викликає серйозні застереження та негативну реакцію громадськості. Проблема захисту приватності осіб на відеозаписах та системах моніторингу постає через можливість використання цих даних для ідентифікації осіб, їх руху та поведінки без їхньої згоди, що є дуже важливим, оскільки в сучасному світі людина не може цього уникнути. Це особливо актуально у випадках, коли відеоспостереження проводиться у публічних місцях, таких як вулиці, парки, аеропорти та інші об'єкти загального користування.

Щоб забезпечити захист приватності осіб на відео, необхідно вжити ряд заходів. По-перше, важливо обмежувати збір та зберігання відеоданих лише до необхідного мінімуму, обмежуючи термін їх зберігання та обробки. Деякі системи вже використовують технології анонімізації або маскування обличчя для захисту приватності осіб, зображених на відео. Додатково, дуже важливим аспектом є регулярна оцінка ризиків порушення приватності та вдосконалення технологій захисту даних для мінімізації можливих загроз.

Спрямованість та масштаб відеоспостереження є ключовими аспектами, які впливають на етичність та ефективність використання систем відеоспостереження. Вони визначають, наскільки точно та широко відбувається моніторинг певних територій або об'єктів та які групи людей стають об'єктом спостереження. Спрямованість відеоспостереження визначається цілями та завданнями, які передбачаються застосовувати систему, наприклад, вона може бути спрямована на забезпечення безпеки громадських місць, контроль за дотриманням правил на робочих майданчиках, або використовуватися для виявлення злочинців чи запобігання крадіжкам. Важливо, щоб спрямованість відеоспостереження була чітко визначена та обмежена відповідно до завдань, що стоять перед системою. Масштаб же

відеоспостереження, визначає, наскільки великою або обмеженою є територія, що піддається спостереженню, а також які об'єкти або особи знаходяться під наглядом. Тому масштаб може варіюватися від великих публічних майданчиків до вузьких промислових коридорів. Масштаб відеоспостереження також може бути тимчасовим, наприклад, під час масових заходів або екстремічних ситуацій, або постійним, для постійного моніторингу конкретних місць.^[4]

Етичні аспекти спрямованості та масштабу відеоспостереження включають забезпечення пропорційності між необхідністю спостереження та захистом приватності, а також запобігання випадковому або систематичному спостереженню за конкретними групами людей або об'єктами. Наприклад, система великого масштабу відеоспостереження на громадському майданчику повинна бути спрямована на загальну безпеку та запобігання злочинності, а не на систематичне відстеження конкретних осіб без обґрунтованих підстав.

Розглянувши приватність, конфіденційність, спрямованість та масштаб важливо зрозуміти що кожен з цих пунктів має об'єднуватися між собою, до того ж важливо згадати про транспарентність та інформованість громадян. Транспарентність та інформованість громадян про наявність та функціонування систем відеоспостереження є необхідними складовими для забезпечення етичного використання цих технологій. Особи що знаходяться під впливом цих технологій мають право знати, що їхнє оточення може бути об'єктом відеоспостереження та які дані можуть бути зібрани, збережені та використані. Перш за все, важливо забезпечити транспарентність відносно розташування камер відеоспостереження та їх функціонування. Інформація про місце розташування камер, їх орієнтацію та обсяг спостереження повинна бути доступною для громадськості. Це може бути досягнуто через встановлення видимих позначень на місцях, де відбувається відеоспостереження, а також через публікацію інформації на веб-сайтах муніципалітетів або організацій, що відповідають за встановлення камер.

Далі, важливо забезпечити інформованість громадян про правила використання та обробки відеоданих. Громадяні повинні мати змогу отримати інформацію про те, як вони можуть впливати на процеси відеоспостереження та їх власні дані.

Висновки

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективності в різних сферах життя. З розвитком

технології штучного інтелекту, обробки великих даних та машинного навчання, ми можемо очікувати подальшого покращення функціональності та ефективності цих систем. Проте, важливо також враховувати етичні та правові аспекти, забезпечуючи захист приватності та дотримання норм безпеки даних. Розумне поєднання технологій та правового регулювання допоможе забезпечити оптимальний баланс між забезпеченням безпеки та захистом особистої свободи.

З метою забезпечення захисту приватності осіб на відео, важливо вживати ряд заходів. Слід обмежувати збір та зберігання відеоданих лише до необхідного мінімуму, а також обмежувати термін їх зберігання та обробки.

Захист приватності осіб на відео, вимагає комплексного підходу, що поєднує технологічні, організаційні та правові заходи. Лише таким чином можна забезпечити баланс між безпекою та приватністю. Дуже важливо ретельно обмірковувати та обмежувати спрямованість та масштаб відеоспостереження з етичних позицій, забезпечуючи баланс між безпекою та захистом прав та приватності громадян.

Щоб забезпечити етичне використання відеоспостереження, важливо забезпечити пропорційність між необхідністю спостереження та захистом приватності, а також забезпечити транспарентність та інформованість громадян про функціонування систем відеоспостереження. Тільки шляхом узгодженого застосування цих принципів можна забезпечити ефективне та етичне використання відеоспостереження в сучасному суспільстві.

ПОСИЛАННЯ

1. Романець, В., & Бісікало, О. (2023). Information technology in customer service: use of computer vision and decision support systems. SWorldJournal, 1(21-01), 65–72. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-21-01-046>
2. Субботін, С. О., Олійник, А. О., & Гофман, Є. О. (2012). У Інтелектуальні інформаційні технології проектування автоматизованих систем діагностиування та розпізнавання образів (с. 317). м. Харків ТОВ «Компанія Сміт».
3. Пустоваров, В. В. (2021). Інформаційна технологія розробки системи підтримки прийняття рішення про розпізнавання будівель на космічних та аерофотознімках. (с. 26). Черкаси.
4. Пустовіт, Я., & Гбур, З. (2024). Аналіз існуючих стратегій у державному управлінні щодо використання штучного інтелекту в обороні. Успіхи і досягнення у науці, (1 (1)). [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-1\(1\)-172-185](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-1(1)-172-185)

ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ ТОЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ЗАДАЧІ ПРО СУМУ ПІДМНОЖИНІ НА РІЗНИХ ПЕРСОНАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРАХ

Михайло Ленський

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1445-2142>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Ганна Михальчук

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5476-6349>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Задача про суму підмноожини є відомою NP-повною задачею, яка полягає у визначенні, чи існує підмноожина з даного набору чисел, сума якої дорівнює заданому цільовому значенню. Ця задача має багато застосувань у криптографії, комбінаториці та оптимізації. Знаходження точного розв'язку для великих екземплярів задачі є обчислювально складним, оскільки кількість можливих підмноожин зростає експоненціально зі збільшенням розміру вхідного набору.

У цій роботі розглядається точний алгоритм для розв'язання задачі про суму підмноожини з прискоренням на GPU. Алгоритм базується на методі пошуку з поверненням (backtracking) [1], загальній технології, яка досліджує простір можливих розв'язків шляхом рекурсивного розгалуження на кожному елементі вхідного набору.

Алгоритм складається з двох фаз: фази пошуку в ширину, що виконується на центральному процесорі (CPU), та фази пошуку в глибину, що виконується на графічному процесорі (GPU).

У фазі пошуку в ширину алгоритм починає роботу з порожньої підмноожини та розширяє її, додаючи по одному елементу за один крок у порядку вхідного набору. Проміжні підмноожини та їх суми зберігаються в черзі. Також застосовуються правила обрізання гілок для відкидання непродуктивних підмноожин. Фаза пошуку в ширину зупиняється, коли досягнуто задане визначене обмеження глибини, або коли черга порожня, або коли знайдено розв'язок.

На початку фази пошуку в глибину дані з черги передаються в пам'ять графічного процесору, після чого запускається певна кількість паралельних потоків. Кожен потік виконує пошук в глибину на різних піддеревах простору пошуку, починаючи з різних підмноожин у черзі. Фаза пошуку в глибину слідує тій самій логіці, що й фаза пошуку в ширину, але використовує стек замість черг для зберігання проміжних підмноожин. Фаза завершується, коли всі потоки завершують свою роботу, або коли знайдено розв'язок.

В розглянутому алгоритмі використовується обрізання гілок для

обмеження простору пошуку. Коли поточна часткова сума перевищує цільове значення, гілка вважається непродуктивною, і алгоритм повертається назад, щоб дослідити альтернативні гілки. Крім того, якщо сума поточної підмножини та максимально можливої суми, що залишилася, менша за цільове значення, гілка відкидається, щоб уникнути вичерпного дослідження непродуктивних шляхів. Ці правила обрізання гілок дозволяють виключити великі частини простору пошуку, які не можуть містити допустимого розв'язку.

Алгоритм було реалізовано мовою програмування C# з використанням бібліотеки ILGPU, яка забезпечує високорівневу абстракцію для програмування на GPU. Ця бібліотека дозволяє розробникам писати код для графічних процесорів, використовуючи звичну для них мову C#, що значно спрощує процес розробки паралельних обчислювальних програм.

Основною перевагою використання ILGPU є її здатність автоматично генерувати високоефективний код для GPU, оптимізований під конкретну архітектуру графічного процесора. Це дозволяє досягти максимальної продуктивності, не вдаючись до низькорівневого програмування на мовах, таких як CUDA або OpenCL, які вимагають глибоких знань архітектури GPU та специфічних оптимізацій.

Було проведено тестування швидкості роботи алгоритму на трьох різних персональних комп'ютерах, що обладнані наступними зв'язками CPU та GPU:

1. Intel Core i5-8250U, Nvidia GeForce MX150.
2. AMD Ryzen 7 5800H, Nvidia GeForce GTX 1650.
3. AMD Ryzen 5 7600, Nvidia GeForce RTX 4070 Ti SUPER.

Для проведення обчислювального експерименту було створено 5 наборів тестових даних. Кожен такий набір містить від 50 до 1000 цілих додатних чисел. Для кожного набору даних обрано цільове значення, яке дорівнює сумі певної кількості чисел з набору. Таким чином, гарантовано існує принаймні одна підмножина чисел з кожного набору, сума якої дорівнює цільовому значенню.

Щоб зменшити кількість можливих розв'язків, числа в наборах були згенеровані в діапазоні від 10^7 до 10^8 . Оскільки час роботи алгоритму значно залежить від порядку чисел у наборі даних, алгоритм запускався по 25 разів на кожному наборі. Перед кожним запуском алгоритму числа в тестовому наборі даних переміщувалися. Порядок перемішаних чисел є однаковим на кожному з персональних комп'ютерів. Запуски алгоритму на GPU проводилися на різних кількостях потоків (від 512 до 65536). Результати тестування наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Середній час роботи алгоритму на різних наборах даних

Тип	ПК	Середній час роботи за різної кількості елементів, мс				
		50	100	200	500	1000
CPU	1	4603	8271	4115	4854	24358
	2	1485	3087	1484	1829	9995
	3	883	1912	860	1100	6458
GPU (512 потоків)	1	1023	2292	1524	1834	11879
	2	966	2326	1450	1615	10333
	3	588	1427	849	938	5988
GPU (1024 потоків)	1	1017	2144	1251	1399	10832
	2	1035	2278	1196	1264	9544
	3	300	588	345	487	3103
GPU (2048 потоків)	1	1440	4114	1796	2403	23025
	2	575	1494	648	653	7218
	3	198	508	213	236	2507
GPU (4096 потоків)	1	2078	4944	3526	3454	35688
	2	697	1690	1281	1289	13301
	3	97	303	132	156	1524
GPU (8192 потоків)	1	2550	4386	3656	4684	48355
	2	1305	1898	1450	1923	18507
	3	76	129	82	107	865
GPU (16384 потоків)	1	2516	5518	2726	5290	41121
	2	1499	2206	1508	2395	21424
	3	48	87	55	96	567
GPU (32768 потоків)	1	2878	5078	2905	5492	41584
	2	1202	1956	1450	2220	21318
	3	74	117	66	181	759
GPU (65536 потоків)	1	2764	5815	3274	5798	45441
	2	1372	2599	1188	2349	24731
	3	69	126	130	245	933

Аналіз результатів, наведених у таблиці 1, демонструє значні переваги паралельних обчислень на GPU порівняно з послідовним виконанням на CPU. Для великих входних наборів даних найкращі показники часу досягаються на ПК з графічним процесором RTX 4070 Ti SUPER у разі використання від 4096 до 65536 потоків.

Зокрема, для набору з 1000 елементів найшвидший час 567 мс було отримано на RTX 4070 Ti SUPER з 16384 потоками, що майже в 12 разів швидше, ніж виконання на CPU того самого комп'ютера (6458 мс), і в 43 рази швидше, ніж на найслабшому з протестованих ПК із CPU Intel Core i5-8250U (24358 мс).

Крім того, результати демонструють, що існує оптимальна кількість потоків для різних розмірів входних даних і різних GPU. Наприклад, MX150 більш ефективно працює на невеликій кількості потоків,

а RTX 4070 Ti SUPER – навпаки.

Результати тестування демонструють значні переваги використання GPU для прискорення розв'язання задачі про суму підмножини. Ключовими чинниками, що зумовлюють високу ефективність GPU є:

– **Масивний паралелізм.** Сучасні GPU містять тисячі обчислювальних ядер (наприклад, графічний процесор RTX 4070 Ti SUPER має 8448 ядер CUDA), що дозволяє одночасно виконувати велику кількість потоків і підвищує продуктивність для добре паралелізованих завдань. У розглянутому алгоритмі кожен потік виконує пошук у одному з піддерев простору розв'язків.

– **Спеціалізована архітектура.** GPU оптимізовані для виконання операцій над масивами даних та матричних обчислень з використанням апаратно реалізованих примітивів і вбудованих функцій.Хоча в запропонованому алгоритмі не використовуються специфічні для GPU операції, його паралельна природа добре підходить для архітектури GPU.

– **Висока пропускна здатність пам'яті.** GPU обладнані окремою високошвидкісною пам'яттю (наприклад, RTX 4070 Ti SUPER має 16 ГБ пам'яті GDDR6X з пропускною здатністю 672,3 ГБ/с), що дозволяє ефективно забезпечувати обчислювальні потоки необхідними даними.

Ці властивості роблять GPU ідеальними для прискорення задач, де можна паралелізувати обчислення і розподілити їх між численними потоками. Задача про суму підмножини є яскравим прикладом такої задачі через можливість незалежного рекурсивного пошуку в різних гілках дерева розв'язків.

Підбиваючи підсумки, розглянутий алгоритм є ефективним методом розв'язання NP-повної задачі про суму підмножини. Завдяки паралельним обчисленням на GPU та застосуванню правил обрізання гілок, алгоритм може знаходити точні розв'язки для великих екземплярів задачі за прийнятний час. Крім того, алгоритм можна розширити для розв'язання інших споріднених NP-повних задач. Використання потужного GPU може значно прискорити виконання алгоритму.

ПОСИЛАННЯ

1. Skiena S. S. The Algorithm Design Manual. 2nd ed. London : Springer, 2008. 730 p.

Розробка програмного забезпечення для прикладного статистичного аналізу випадкових величин

Олексій Клименко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5164-1688>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Математична статистика — наука, яка розробляє математичні методи систематизації та використання статистичних даних для наукових і практичних висновків. Математична статистика базується на теорії ймовірностей, яка дозволяє оцінити достовірність і точність отриманих висновків, зроблених на основі статистичного матеріалу. Наприклад, для оцінки необхідного розміру вибірки для отримання результатів необхідної точності у вибірковому дослідженні. Перевірка статистичних гіпотез є змістом одного з широких класів задач математичної статистики. Статистична гіпотеза — гіпотеза про тип розподілу та властивості випадкової величини, яка може бути підтверджена або спростована шляхом застосування статистичних методів до вибіркових даних [1-6].

На сучасному етапі розвитку прикладної статистики важливе місце займає питання перевірки нормальності вимірювань. За даними Statistical Science Journals, понад 60% статистичних досліджень, проведених у 2020 році, використовували різні методи перевірки нормальності, що підкреслює актуальність цього питання. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення, автоматизація процесів перевірки нормальності відкриває нові можливості для статистиків, дозволяючи проводити аналіз швидше та ефективніше. Зокрема, за даними Statistical Analysis System Institute, використання автоматизованих систем дозволяє скоротити час аналізу на 40-50% [1, 3].

Прикладна математична статистика передбачає, що нормальні закон розподілу ймовірностей є фундаментальним для експериментальних вимірювань, які широко використовуються в практичних задачах. Ці вимірювання дають важливу інформацію про стан і положення об'єктів. Аналіз зразків вимірювань, отриманих з часом, дозволяє глибше зрозуміти досліджене явище [2, 6].

Отже, можна зробити висновок, що розробка програмного забезпечення та проведення досліджень використовуючи сучасні інформаційні технології є актуальним і має велике практичне та наукове значення для сучасної статистики.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

При проектуванні та реалізації генераторів псевдовипадкових послідовностей необхідно дотримуватись наступних загально-прийнятих вимог: простота апаратної або програмної реалізації; максимальна швидкодія; максимальна наближеність послідовності отриманої на виході генератора до теоретичного закону розподілу (не обов'язково рівномірного); можливість керування вихідними параметрами; можливість роботи генераторів псевдовипадкових послідовностей в широкому діапазоні частот; можливість швидкого переналагодження його роботи в залежності від вибору вихідних параметрів. Метою статті є розробка програмного забезпечення для прикладного статистичного аналізу випадкових величин.

АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦІЇ ВИБІРКИ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНІ

У процесі проведення прикладних досліджень часто виникає потреба аналізувати групу процесів або об'єктів, що володіють певними якісними або кількісними характеристиками [2, 4, 6]. При виборі генератора псевдовипадкових величин слід враховувати наступні критерії: якість випадковості; швидкодія; простота реалізації; безпека; можливість налаштування; відповідність застосування. Тобто генератор має проходити стандартні тести на випадковість (наприклад, тестування NIST, Diehard), а період генератора повинен бути достатньо довгим, щоб уникнути повторення послідовностей. На рис. 1 наведено алгоритм методу статистичних випробувань, який застосовано у розробленому програмному забезпеченні.

Генератор повинен бути достатньо швидким для конкретних застосувань, особливо якщо потрібно генерувати великі обсяги випадкових чисел, але при цьому має бути легко реалізованим у потрібному програмному середовищі. Для криптографічних застосувань генератор має бути стійким до атак, тобто задовільнити вимоги криптографічної безпеки. Генератор повинен дозволяти налаштування параметрів для відповідності специфічним вимогам завдань. Вибір генератора повинен відповідати конкретним потребам проекту, будь-то моделювання, криптографія, наукові обчислення чи інші завдання. Загалом, важливо тестувати вибраний генератор у контексті конкретних завдань і вимог, щоб переконатися в його придатності та надійності.

Перевірка програмного генератора псевдовипадкових величин здійснюється за допомогою кількох основних методів і тестів, які оцінюють його статистичні властивості та відповідність критеріям випадковості [5, 6]. По перше – це візуальна перевірка: гістограма

розділу та статистичні характеристики. Тобто, перевірка відображення частоти значень, які генерує генератор псевдовипадкових величин, для візуальної перевірки рівномірності розподілу, а також графічне представлення кількох послідовностей для виявлення можливих закономірностей.



Рисунок 1 – Алгоритм методу статистичних випробувань

Використання статистичних тестів:

- тест частоти (Frequency Test), за допомогою якого визначається перевірка, чи рівномірно розподілені значення генератору псевдовипадкових величин;
- тест на послідовність (Runs Test), який визначає перевірку довжин послідовностей однакових значень для виявлення нерівномірності;
- критерій Колмогорова-Смирнова, за яким відбувається перевірка, чи розподіл значень відповідає теоретично рівномірному розподілу;
- тест кумулятивної суми (Cumulative Sums Test), перевірка відхилень сум послідовностей від очікуваних значень;
- Chi-square тест (χ^2 -тест), перевірка відповідності частот значень до очікуваних частот у рівномірному розподілі. Також

використовуються більш складні статистичні тести: критерій Шермана; критерій Морана; критерій Фроцині; критерій Грінвуда-Кесенберрі-Міллера, критерій Чанга та Спіринга.

Опис розробленого програмного забезпечення

Розроблено програмне забезпечення для генерації випадкових величин з рівномірним законом розподілу різними генераторами, а також можливістю аналізу вибірок випадкових величин за допомогою критеріїв оцінки інформативності вибірок рівномірних випадкових величин описаних вище. На рис. 2 наведено інтерфейс програмного забезпечення.

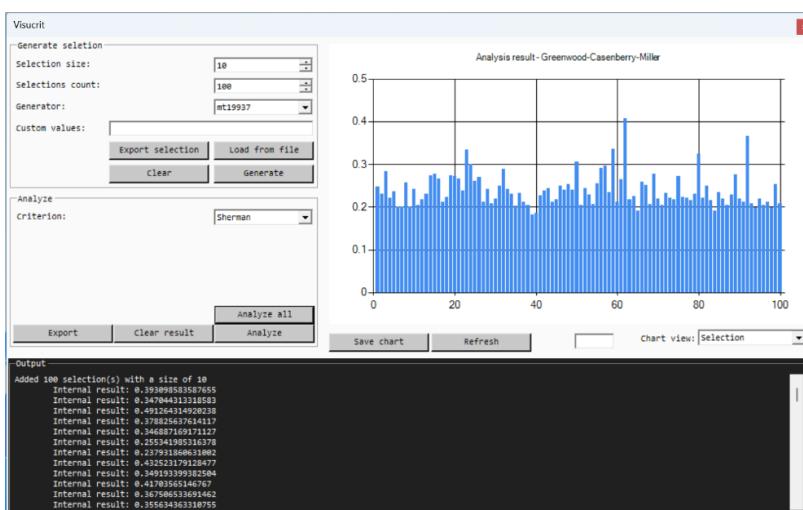


Рисунок 2 – Інтерфейс програмного забезпечення

Інтерфейс розробленого програмного забезпечення розділений на три вікна: 1) для вибору довжини вибірки, кількості експериментів та вибору самого генератора; 2) для графічного відображення вибірки чи результату перевірки критерію; 3) для виведення результатів дослідження. У першому вікні користувач вибирає розмір та кількість вибірок для генерації, а також сам генератор. У другому вікні користувач може спостерігати або зберігати графічне подання вибірки, яку він згенерував або завантажив у програму, а також результат оцінки критерію. У третьому вікні користувач може спостерігати результат оцінки кожної вибірки, яку він згенерував або завантажив за допомогою програмного забезпечення.

Висновки

На сьогодні існує безліч стандартних генераторів псевдовипадкових величин, але слід пам'ятати, що більшість з запропонованих генераторів не видають якісну випадковість і не підходять для роботи з будь-якими прикладними завданнями (неруйнівний контроль, кібербезпека та захист інформації, тощо), яка вимагає точної статистики. Розроблене програмне забезпечення включає сучасні програмні генератори за допомогою яких можна проводити дослідження та порівнювати з власними генераторами. У запропонованому програмному забезпеченні застосовано сучасні алгоритми генерації випадкових величин, що наддає можливості застосовувати його для прикладних задач. У подальшому передбачається проведення додаткового дослідження щодо перевірки інформативності з застосуванням статистичних критеріїв **Шермана; Морана; Фроцині; Грінвуда-Кесенберрі-Міллера, Чанга та Спіринга**. Особливістю представленого програмного забезпечення є можливість завантаження вибірок випадкових величин з текстових файлів, що у більшості випадків є зручним при дослідженнях та подального аналізу даних у прикладних задачах.

ПОСИЛАННЯ

1. Parthasarathy, H. (2022). Advanced Probability and Statistics: Remarks and Problems. CRC Press.
2. Malaichuk, V., Klymenko, S., & Astakhov, D. (2023). Computer processing of measurements in problems of observation of the condition of technical objects. *Journal of Rocket-Space Technology*, 30(4), 99-106. <https://doi.org/10.15421/452213>
3. Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2020). Applied statistics and probability for engineers. John Wiley & Sons.
4. Kobzar, A.I. (2006) Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Scientists. Fizmatlit, 816 p.
5. Rohrbeck, C. (2023). Christian Rohrbeck's contribution to the discussion of 'The First Discussion Meeting on Statistical aspects of climate change'. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics*, 72(4), 852-852.
6. Malaichuk, V., Klymenko, S., & Astakhov, D. (2022, May). Study of informativity of the inversion criterion in testing the hypothesis about accidentality in problems control and cyber security. In International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machine building (pp. 40-41).

КАРТОГРАФІЧНА СКЛАДОВА В ЕЛЕКТРОННІЙ ТОРГІВЛІ

Анна Селіванова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-1508>

Державний торговельно-економічний університет, Київ, Україна

Ганна Самойленко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9374-2833>

Державний торговельно-економічний університет, Київ, Україна

Вступ

У сучасному світі бізнесу управління бізнес-процесами (Business Process Management, BPM) є важливим аспектом для підвищення ефективності та продуктивності організацій. Однією з важливих технологій, що сприяє розвитку BPM-систем, є картографічна складова, яка дозволяє візуалізувати бізнес-процеси та дані на інтерактивних картах. Картографічна складова — це інтеграція геоінформаційних систем (ГІС) у Web-системи управління бізнес-процесами. Вона дозволяє користувачам візуалізувати різні аспекти бізнесу на географічних картах, що сприяє прийняттю більш обґрутованих рішень. Це особливо важливо для компаній, які мають територіально розподілені активи, клієнтів або операцій.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Дослідження взаємодії в електронній торгівлі і розробки імітаційних моделей, інформаційних технологій та програмних рішень дозволяють вибудовувати ефективні методи управління діяльністю підприємств електронної торгівлі.

Ефективна оптимізація логістичних маршрутів стає ключовою умовою для успішної конкуренції на ринку електронної комерції. У світі, де швидкість та точність доставки важливі для споживачів при виборі онлайн-магазину, взаємодія з вбудованою картографічною складовою набуває значущості. Так, до основних функцій картографічної складової можна віднести візуалізацію даних, моніторинг в реальному часі, оптимізацію маршрутів та ресурсів. Інтерактивні карти дозволяють відображати дані про бізнес-процеси, такі як розташування філій, логістика, розподіл клієнтів, аналіз ринку тощо. За допомогою ГІС можна відстежувати логістичні процеси в режимі реального часу, наприклад, рух транспортних засобів. За допомогою карт можна оптимізувати маршрути доставки, управління активами та

розподіл ресурсів, що знижує витрати і підвищує ефективність. Оптимізація маршрутів є фундаментальним елементом для підвищення ефективності логістичних процесів в електронній торгівлі та доставці товарів загалом. Вона дозволяє мінімізувати витрати на паливо, зменшити час доставки та підвищити задоволення клієнтів.

Метою дослідження є аналіз можливостей використання картографічної складової у системах управління бізнес-процесами.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Маршрутизація в логістиці досить часто моделюється за допомогою графів. Поняття графа дозволяє структурувати інформацію та алгоритмізувати різноманітні типові задачі. Саме тому існує цілий набір алгоритмів, які працюють з інформацією, представленою у вигляді графів. Графи є потужним інструментом для моделювання та аналізу бізнес-процесів. Вони складаються з вузлів (вершин), які представляють елементи процесу, та ребер (зв'язків), які описують взаємодії між цими елементами [1,2]. Графи дозволяють візуально представляти процеси, показуючи зв'язки між різними етапами і учасниками. Використання графів дозволяє виявляти неефективності, вузькі місця та оптимізувати потоки робіт (рис. 1).

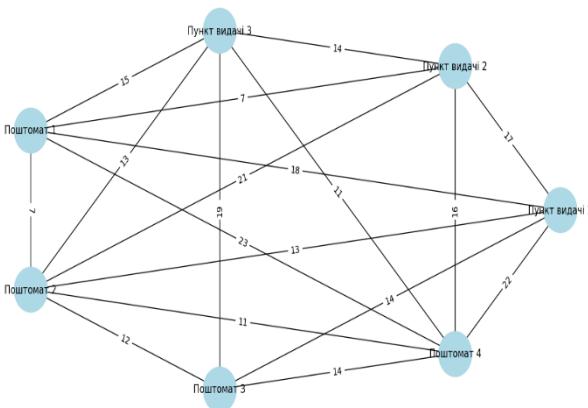


Рисунок 1 – приклад побудованого графу на Python

Можливість користувачам переглядати та додавати свої мітки на карту може стати перспективним напрямом в електронній торгові.

Вибір між використанням готового картографічного API та розробкою власного є вирішальним для цієї задачі. Однак розробка власного API не є головною метою проекту. Тому вибір відповідної бібліотеки для досягнення цієї мети має велике значення. Однією із таких бібліотек є Leaflet [3], що можна ефективно використовувати для оптимізації логістичних маршрутів. Для поєднання логістичного додатку на Python з використанням Leaflet для відображення та оптимізації маршрутів, можна використовувати бібліотеку Folium. Folium - це бібліотека для створення інтерактивних карт на мові програмування Python, яка базується на Leaflet (Рисунок 2) [3,4].

```

import folium
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

# Створення пустого графа
G = nx.Graph()

# Добавлення вузлів (вершин)
G.add_node('A', pos=(51.5074, -0.1278))
G.add_node('B', pos=(51.5154, -0.1419))
G.add_node('C', pos=(51.4975, -0.1357))
G.add_node('D', pos=(51.5020, -0.1047))

# Добавлення ребер (зв'язків) та їх ваги
G.add_edge('A', 'B', weight=5)
G.add_edge('A', 'C', weight=7)
G.add_edge('B', 'D', weight=3)
G.add_edge('C', 'D', weight=2)

# Отримання позицій вузлів для відображення на карті
pos = nx.get_node_attributes(G, 'pos')

# Малювання графа
nx.draw(G, pos, with_labels=True, node_size=500, node_color='skyblue')

# Виведення графа
plt.show()

# Створення базової карти
mymap = folium.Map(location=[51.5074, -0.1278], zoom_start=13)

# Добавлення маркерів для вузлів графа
for node, coord in pos.items():
    folium.Marker(location=coord, popup=node).add_to(mymap)

# Добавлення ліній для ребер графа
for edge in G.edges():
    points = [pos[edge[0]], pos[edge[1]]]
    folium.PolyLine(locations=points, color='blue', weight=2).add_to(mymap)

# Збереження карти в файл
mymap.save('graph_with_map.html')

```

Рисунок 2 - Приклад використання Leaflet (Folium) на Python

РЕЗУЛЬТАТИ

Графи можуть бути поєднані з інтерактивними картами для візуалізації та аналізу даних у системах управління бізнес-процесами. Це поєднання дозволяє візуалізувати структуру бізнес-процесів та їх зв'язки між собою, забезпечити інтерактивність та гнучкість у взаємодії з даними на картах, роблячи їх більш доступними та зрозумілими для користувачів, вбудовувати інтерактивні карти у системи управління бізнес-процесами за допомогою бібліотеки Leaflet для подальшого використання та аналізу.

Висновки

Інтеграція інтерактивних карт дозволяє покращити розуміння та ефективність управління бізнесом, завдяки візуалізації даних, аналізу та прогнозуванню тенденцій, а також оптимізації процесів. Це відриває нові можливості для підвищення конкурентоспроможності та успішного розвитку підприємства в сучасних умовах.

ПОСИЛАННЯ

1. Campesato, O. (2020). *Python 3 for Machine Learning*. Mercury Learning and Information.
2. Mueller, J. P., & Massaron, L. (2019). *Python for data science for dummies*. John Wiley & Sons.
3. *Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps*. (б. д.). Leaflet - a JavaScript library for interactive maps. <https://leafletjs.com>
4. *Matplotlib — Visualization with Python*. (б. д.). Matplotlib — Visualization with Python. <https://matplotlib.org>

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКОРЕЛЬОВАНИХ ВИБІРОК ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

Олексій Федоренко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6385-3584>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Математична статистика - це одна з основних областей математики, пов'язана зі збором, аналізом, інтерпретацією та поданням даних. Її методи та наукові підходи широко використовуються в різних наукових і практичних областях і відіграють важливу роль у розвитку сучасної науки і техніки. Сьогодні, у зв'язку зі швидким збільшенням обсягу даних та необхідністю прийняття обґрутованих рішень в умовах невизначеності, важливість математичної статистики очевидна як ніколи раніше[1-3].

Важливим аспектом математичної статистики є можливість перетворення необроблених даних у корисну інформацію. Наприклад, медицина використовує статистичні методи для оцінки ефективності нових ліків і методів лікування, що підтверджується багатьма дослідженнями, опублікованими в великих медичних журналах, таких як *The New England Journal of Medicine* и *The Lancet* (Smith et al., 2020). За допомогою статистичного аналізу можна виявити закономірності та тенденції, які були б проігноровані, тим самим значно прискорив науковий прогрес і поліпшення якості життя.

В економіці математична статистика відіграє важливу роль в аналізі фінансових ринків, прогнозуванні економічних показників, пошуку тенденцій та розробці стратегій управління ризиками. Дослідження, опубліковані в таких виданнях, як "Journal of Economic Literature" та "Econometrica", показують, як статистичні моделі можуть допомогти економістам прогнозувати рецесії та формулювати заходи пом'якшення їх наслідків (Jones et al., 2019).

Соціальні науки також активно використовують статистичні методи вивчення соціальних явищ і процесів. Наприклад, у соціології та психології статистика дозволяє нам вивчати поведінку великих груп, виявляти фактори, що впливають на суспільні настрої, і формулювати ефективні соціальні плани, як показано в статтях, опублікованих в *American Journal of Sociology* та *Journal of Personality and Social Psychology*.

Таким чином, можна помітити що математична статистика не тільки сприяє розвитку різних наукових дисциплін, але й безпосередньо впливає на наше повсякденне життя.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Метою є дослідження властивостей та методів аналізу автокорелювання вибірок випадкових величин, а також демонстрація їх практичної значущості в різних галузях сучасної науки та техніки. Автокореляція, або залежність поточних значень ряду від попередніх значень, є важливим фактором, який необхідно враховувати при аналізі даних для отримання коректних і надійних результатів. До завдання слід віднести визначення понять кореляція та автокореляція, їх математичні описи. Визначити які основні показники грають роль при дослідженні автокорельованих виборок випадкових величин.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розберемось що таке статистична однорідність. У математичній статистиці термін "статистична однорідність" означає властивість, згідно з яким спостерігаються дані, зібрані з різних джерел або в різні моменти часу, володіють схожими статистичними властивостями. Це означає, що розподіл ймовірностей і статистичні параметри (середнє, дисперсія і т.д.) Статистична однорідність - важливе припущення при аналізі даних за допомогою статистичних методів. Якщо дані не володіють цією властивістю, статистичні висновки можуть бути спотворені або ненадійні.

Для перевірки статистичної однорідності зазвичай використовуються різні методи, включаючи аналіз часових рядів, тести порівняння розподілів та інші статистичні методи. Розпочинаючи дослідження, треба зрозуміти різницю між двома термінами: кореляція та автокореляція [3-4].

Кореляція: у математичній статистиці кореляція зазвичай означає міру ступеня лінійної залежності між двома змінними. Це може бути кореляція Пірсона, Спірмена або Кендала, які вимірюють ступінь лінійного зв'язку між двома наборами даних. Кореляція може бути між будь-якими двома змінними, незалежно від того, є вони тимчасовими рядами чи ні. [2]. Автокореляція: це особливий випадок кореляції, коли ми вивчаємо залежність між значеннями однієї і тієї ж змінної у різni моменти часу всередині часового ряду. Таким чином, автокореляція вимірює ступінь лінійної залежності між послідовними значеннями однієї змінної в межах часового ряду. Якщо ряду є автокореляція, це означає, що значення змінної у певний час пов'язані з попередніми значеннями цієї ж змінної.

Таким чином, основна відмінність між кореляцією та автокореляцією полягає в тому, що кореляція вимірює зв'язок між двома різними

змінними, у той час як автокореляція вимірює зв'язок між послідовними значеннями однієї і тієї ж змінної в часовому ряду.

Автокореляція може мати різну структуру та силу залежно від конкретного процесу даних. Вона може бути позитивною, коли значення змінних змінюються разом, і негативною, коли вони змінюються протилежно.

Попередні дослідження у галузі автокореляцій у математичній статистиці охоплюють широкий спектр тем і методів. Ось кілька ключових напрямків та досягнень:

Теорія автокореляції: дослідження зосереджуються на теоретичних аспектах автокореляції, включаючи властивості різних типів автокореляційних функцій, їх вплив на статистичні оцінки та інші статистичні параметри.

Статистичні методи оцінки автокореляції: розробка та удосконалення методів оцінки автокореляції для різних типів даних, включаючи тимчасові ряди, панельні дані та інші.

Застосування в практиці: вивчення впливу автокореляції на статистичні моделі та методи, а також розробка корекційних методів для урахування автокореляції в аналізі даних.

Обробка часових рядів: дослідження моделей автокореляції у часових рядах та їх застосування для прогнозування та аналізу трендів у фінансах, економіці, метеорології та інших галузях.

Розвиток комп'ютерних методів: використання комп'ютерних програм та алгоритмів для швидкого та точного аналізу автокореляції у великих обсягах даних. Так як сучасний науковий світ широко пов'язаний із комп'ютерними технологіями і через роботу з великим об'ємом експериментальних вимірювань, то розвиток комп'ютерних методів обробки статистичних даних являється доволі актуальним питанням.

Експериментальні автокорельовані виміри містять інформацію про стан технічних об'єктів. Проведемо обчислювальні експерименти та оцінimo їх інформативність. Згенеруємо моделі автокорельованих випадкових величин, використовуючи комп'ютерні генератори рівномірних незалежних вимірів $\xi(k/n_j)$, де n – розмір вибірки, j – номер вибірки ($j=1,2\dots N$). Із швидким розвитком комп'ютерних технологій використання таких генераторів значно полегшує роботу із обробкою статистичних даних. Складність таких досліджень обумовлена великим об'ємом теоретичних та експериментальних масивів інформації, яка піддається обробці[2,4].

Спочатку сформуємо логістичну вибірку випадкових величин $\xi(k/n_j)$. Їх зв'язок описується рівнянням:

$$w(\xi)d\xi = W(y)dy \quad (1)$$

Після проведення інтегрування отримуємо наступний вираз:

$$\xi(k/n_j) = F(y)n_j \quad (2)$$

де

$$F = (y(n_j)) = \frac{1}{1 + \exp(-\frac{\pi}{\sqrt{3}}y(n_j))} \quad (3)$$

В результаті отримаємо формули формування незалежних $y(k/n_j)$ випадкових величин з логістичним законом розподілення ймовірностей.

$$y(k/n_j) = \frac{\sqrt{3}}{\pi} \ln \left(\frac{\xi\left(\frac{k}{n_j}\right)}{1 - \xi\left(\frac{k}{n_j}\right)} \right) \quad (4)$$

В такому випадку математичне очікування дорівнює $M[y(k/n_j)] = 0$, а дисперсія у свою чергу - $D[y(k/n_j)] = 1$.

Використовуючи їх, сформуємо автокорельовані вибірки $z(k/n_j)$ випадкових величин з коефіцієнтом кореляції $\zeta_1^*(n_j)$ першого порядку:

$$z(k/n_j) = \zeta\left(\frac{n}{j}\right) z(k-1/n_j) + \sqrt{1 - \zeta^2\left(\frac{n}{j}\right)} y(k/n_j) \quad (5)$$

де $M[z(k/n_j)z(k-1/n_j)] = \zeta\left(\frac{n}{j}\right)$

Класична математична статистика використовує коефіцієнти кореляції $\zeta_1^*(n/j)$ як критерії перевірки незалежних вимірювань $x(i/n_j)$ [2]. $\zeta_1^*(n/j)$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(i/n_j)x(i-1/n_j) - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(i/n_j) \right)^2 + \frac{1}{n} x(i/n_j)x(n/n_j) \\ &\quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^2(i/n_j) - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(i/n_j) \right)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Тут при $n > 20$ критерій $\zeta_1^*(n/j)$ це випадкова величина і її закон розподілення асимптотично логістичний і інтервалі від 0,4 до 0,3.

Їх математичні очікування та дисперсія дорівнюють $M[\zeta_1^*] = -\frac{1}{n-1}$, $D[\zeta_1^*] = \frac{n(n-3)}{n+1(n-1)^2}$.

Тепер, продовжуючи цей експеримент, необхідно використовувати комп'ютерні засоби обробки статистичних даних, побудувати гістограми, які у свою чергу нададуть візуальну інформацію на рахунок чи присутня кореляція між двома вибірками: незалежними та

автокорельованими.

Висновки

Математична статистика як фундаментальна наука надає нам потужні інструменти для аналізу даних та прийняття обґрунтованих рішень в умовах невизначеності. Ігнорування автокореляції може призводити до значних помилок у висновках та прогнозах, що може сильно вплинути на дослідження у фінансових, кліматичних, медичних сферах, тощо.

Вивчення автокорельованих вибірок випадкових величин підтверджує необхідність і значущість використання спеціалізованих статистичних методів для коректного аналізу даних. Це забезпечує більш надійні та точні висновки, що зрештою сприяє науковому прогресу та покращенню якості життя. Насамкінець, рекомендується продовження досліджень у цій галузі, а також впровадження отриманих результатів у практичну діяльність для підвищення ефективності та точності аналізу даних у різних сферах.

ПОСИЛАННЯ

1. Parthasarathy, H. (2022). Advanced Probability and Statistics: Remarks and Problems. CRC Press.
2. Kobzar, A.I. (2006) Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Scientists. Fizmatlit.
3. Malaichuk, V., Klymenko, S., & Astakhov, D. (2023). Computer processing of measurements in problems of observation of the condition of technical objects. *Journal of Rocket-Space Technology*, 30(4), 99-106. <https://doi.org/10.15421/452213>.
4. Malaichuk, V., Klymenko, S., & Astakhov, D. (2022, May). Study of informativity of the inversion criterion in testing the hypothesis about accidentality in problems control and cyber security. In International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machine building (pp. 40-41).

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНТЕГРАЦІЯ АЛГОРИТМУ SVM В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ДЛЯ ВИБОРУ ПРОФЕСІЇ ЛІКАРЯ

Олексій Ізмалков

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3732-7474>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційно-вимірювальних технологій (ІВТ) проклав шлях до значних покращень у різних галузях, включаючи медичну сферу. Однією з ключових сфер, де ІМТ можуть мати значний вплив, є допомога людям у виборі медичної професії. У цій статті розглядається роль алгоритмів машин опорних векторів (SVM) у цьому контексті, досліджується їхній потенціал для покращення процесу прийняття рішень майбутніми медичними працівниками.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Визначити можливості використання інтегрованого рішення алгоритму SVM та його аналіз та обробку.

Розуміння алгоритму SVM.

Машина опорних векторів (Support Vector Machine, SVM) – це алгоритм машинного навчання, який широко використовується для задач класифікації та регресії. Основний принцип SVM полягає в тому, щоб знайти гіперплощину, яка найкраще розділяє набір даних на класи. Це досягається шляхом максимізації відстані між точками даних різних класів, що гарантує, що класифікатор має найкращу можливу здатність до узагальнення на невидимих даних. У контексті вибору медичної кар'єри SVM можна використовувати для аналізу різних факторів, таких як особисті інтереси, академічна успішність, набори навичок та інші відповідні атрибути, щоб класифікувати і передбачити найбільш підходящу медичну професію для людини. Ефективний збір та попередня обробка даних є важливим етапом для використання алгоритму SVM у прогнозуванні медичних професій для студентів. Академічні записи, психологічні оцінки, інтереси та здібності є основними джерелами даних. Для обробки відсутніх значень використовуються методи імпутації та прогностичного моделювання. Нормалізація ознак використовується для забезпечення однакового впливу ознак на модель. Кодування категоріальних змінних перетворює категоріальні дані у числовий формат. Інженерія функцій

дозволяє створювати нові функції для покращення продуктивності моделі. Збір і обробка даних створюють підґрунтя для розробки точної та надійної моделі, яка може забезпечити персоналізовану профірієнтацію для майбутніх медичних працівників.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Застосування SVM у виборі медичної кар'єри.

Збір та попередня обробка даних.

– Перший крок передбачає збір великої кількості даних про студентів, включаючи академічні записи, психологічні оцінки, інтереси та здібності. Ці дані слугують вхідними даними для SVM-моделі.

– Попередня обробка даних для обробки пропущених значень, нормалізації ознак і кодування категорійних змінних забезпечує оптимальну роботу алгоритму SVM.

Збір даних.

a) Академічні записи.

– Типи даних: Сюди входять оцінки, результати тестів, курсові роботи, записи про відвідування та інші показники академічної успішності.

– Джерела: Шкільні записи, бази даних стандартизованих те-стів та дані, надані учнями самостійно.

– Мета: Академічні записи дають змогу оцінити базу знань студента, його здатність до навчання та стабільність успішності, що є критично важливими факторами для визначення придатності до різних медичних професій.

b) Психологічні оцінки.

– Типи даних: Особистісні тести (наприклад, індикатор типу Майерс-Бріггс), тести когнітивних здібностей та оцінка емоційного інтелекту.

– Джерела: Психометричні тестові компанії, шкільні консультації та самостійне онлайн-тестування.

– Мета: Психологічне тестування допомагає визначити такі риси, як емпатія, стресостійкість, здатність приймати рішення та навички міжособистісного спілкування, які мають вирішальне значення для успіху в різних медичних ролях.

c) Інтереси та здібності.

– Типи даних: Інвентаризація інтересів, позакласні заходи, хобі, волонтерська робота та стажування.

– Джерела: Опитування учнів, записи про позакласну діяльність та особисті інтерв'ю.

– Мета: Ці дані дають уявлення про те, якими галузями медицини

захоплюються студенти і де вони досягають найбільших успіхів, допомагаючи узгодити вибір кар'єри з особистими інтересами та сильними сторонами.

Попередня обробка даних.

a) Обробка відсутніх значень.

– Ідентифікація: Визначення відсутніх значень у наборі даних, які можуть виникнути через неповний збір даних або помилки у звітності.

Технології.

– Імпутація: Заміна відсутніх значень середнім значенням, медіаною для неперервних змінних або найчастішим значенням для категоріальних змінних.

– Прогностичне моделювання: Використовуйте алгоритми, такі як k-найближчих сусідів (k-NN) або регресійні моделі, для прогнозування та заповнення відсутніх значень на основі інших наявних даних.

– Видалення: У випадках, коли дані відсутні повністю випадково і становлять невеликий відсоток набору даних, відповідні записи можна видалити.

b) Нормалізація ознак.

– Мета: Забезпечити, щоб всі ознаки однаково впливали на продуктивність моделі, запобігаючи непропорційному впливу ознак з великими числовими діапазонами на результати.

Методика.

– Мінімальне-максимальне масштабування: Зміна масштабу значень ознаки до фіксованого діапазону, зазвичай від 0 до 1.

– Стандартизація: Перетворення значень ознак до нульового середнього значення та одиничної дисперсії, що особливо корисно, коли ознаки мають гаусівський розподіл.

– Надійне масштабування: Масштабування ознак відповідно до статистичних даних, стійких до викидів, наприклад, з використанням медіані та інтерквартильного діапазону.

c) Кодування категоріальних змінних.

– Мета: Перетворити категоріальні дані в числовий формат, який можна обробити за допомогою алгоритму SVM.

Методика.

– Одноголосне кодування: Створює двійкові стовпчики для кожної категорії, де наявність категорії позначається 1, а її відсутність - 0. Це ефективно для номінальних категоріальних змінних, які не мають порядкового зв'язку.

– Кодування міток: Присвоїти кожній категорії унікальне ціле число. Цей метод більше підходить для порядкових категоріальних

змінних, де порядок категорій має значення.

– Двійкове кодування: Перетворення категорій у двійкові числа, а потім розбиття цифр на окремі стовпчики, що допомагає зменшити розмірність порівняно з однозначним кодуванням.

d) Інженерія функцій.

– Створення нових функцій: Розробка нових функцій, які можуть підвищити продуктивність моделі, об'єднавши існуючі або витягнувши більше інформації.

– Доменна експертиза: Використання знання з освітніх та психологочних досліджень для створення функцій, які відображають відповідні закономірності та взаємозв'язки.

Ефективний збір і попередня обробка даних мають вирішальне значення для використання алгоритму SVM у прогнозуванні відповідних медичних професій для студентів. Ретельно збираючи широкий спектр релевантних даних і застосовуючи надійні методи попередньої обробки, ми можемо гарантувати, що вхідні дані для SVM моделі є вичерпними і чистими. Цей фундаментальний крок створює основу для розробки точної, надійної та справедливої класифікаційної моделі, яка може забезпечити персоналізовану профорієнтацію для майбутніх медичних працівників.

Вибір функцій.

Виявлення найбільш релевантних ознак, які впливають на вибір кар'єри, має вирішальне значення. Такі методи, як аналіз головних компонент (PCA) та рекурсивне виключення ознак (RFE), можуть бути використані для зменшення розмірності та покращення продуктивності моделі.

Модельна підготовка.

– Потім оброблені дані розбиваються на навчальну та тестову вибірки. Алгоритм SVM тренується на навчальному наборі, навчаючись виявляти закономірності та взаємозв'язки в даних.

– Можна експериментувати з різними функціями ядра (лінійними, поліноміальними, радіальними базисними функціями), щоб визначити, яка з них найкраще підходить для даних.

Оцінка моделі.

– Навчена SVM-модель оцінюється за допомогою тестового набору для вимірювання її точності, достовірності, запам'ятовування та оцінки F1.

Методи перехресної перевірки можуть додатково забезпечити надійність моделі.

Прогнозування та інтерпретація.

– Після валідації SVM-модель може прогнозувати найбільш підходящу медичну професію для нових точок даних (студентів).

Інтерпретованість моделі може бути покращена за допомогою таких методів, як SHAP (SHapley Additive exPlanations) для пояснення прогнозів.

Переваги використання SVM у виборі медичної кар'єри.

1. Персоналізоване керівництво:

– Модель SVM забезпечує персоналізовану кар'єру орієнтацію, засновану на комплексному аналізі індивідуальних характеристик, що призводить до більш усвідомленого та відповідного вибору професії.

2. Ефективність і точність.

– Здатність SVM обробляти багатовимірні дані та його надійність у завданнях класифікації забезпечують високу точність у прогнозуванні найкращої медичної професії.

Прийняття об'єктивних рішень:

– Підхід алгоритму, заснований на даних, виключає упередженість і суб'єктивізм, пропонуючи об'єктивні рекомендації, засновані на емпіричних даних.

3. Масштабованість.

– SVM-моделі можна легко масштабувати та оновлювати за допомогою нових даних, що дозволяє постійно вдосконалюватись та адаптуватись до мінливих тенденцій у медичній галузі.

Виклики та майбутні напрямки.

Хоча SVM має численні переваги, необхідно вирішити певні проблеми:

1. Якість та доступність даних.

– Забезпечення якісних і всебічних даних має вирішальне значення для успіху моделі. Необхідно докласти зусиль для збору різноманітних і репрезентативних даних.

2. Інтерпретованість моделі.

– Покращення інтерпретованості SVM-моделей має важливе значення для завоювання довіри з боку користувачів (студентів та консультантів з питань кар'єри). Необхідні методи, які дають уявлення про процес прийняття рішень в моделі.

3. Інтеграція з існуючими системами.

– Безперешкодна інтеграція систем профорієнтації на основі SVM з існуючими освітніми та консультаційними системами є життєво важливою для практичної реалізації.

Майбутні дослідження можуть вивчати гібридні моделі, що поєднують SVM з іншими алгоритмами машинного навчання для подальшого підвищення точності та надійності прогнозування. Включення механізмів зворотного зв'язку для вдосконалення моделі на основі досвіду користувачів може підвищити її ефективність.

Висновок

Алгоритм машина опорних векторів (SVM) можна використовувати для класифікації людей за різними медичними професіями на основі їхніх психофізичних особливостей. Він працює шляхом створення гіперплощини, яка розділяє дані на різні класи.

Застосування алгоритмів SVM в інформаційно-вимірювальних технологіях має значні перспективи для покращення обґрунтованості вибору медичної професії. Використовуючи сильні сторони SVM в обробці складних і багатовимірних даних, ми можемо за-пропонувати персоналізовану, точну і об'єктивну профорієнтацію майбутнім медикам. Оскільки ми продовжуємо вдосконалювати ці моделі і вирішувати пов'язані з ними проблеми, потенціал SVM в цій галузі буде тільки зростати, що в кінцевому підсумку сприятиме більш усвідомленому і повноцінному вибору кар'єри в медичній сфері.

ПОСИЛАННЯ

1. Watts, A. G. (2002). The role of information and communication technologies in integrated career information and guidance systems: A policy perspective. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 2(3), 139-155.
2. VidyaShreeram, N., & Muthukumaravel, A. (2021, June). Student career prediction using machine learning approaches. In First International Conference on Computing, Communication and Control System (p. 444).
3. Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30.

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ГЛІБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ШУМІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

Максим Гавриленко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4339-0254>

Дніпропетровський університет ім. Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Ольга Мацуга

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6444-8566>

Дніпропетровський університет ім. Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

У сучасному цифровому світі якість зображень відіграє важливу роль у різних сферах, включаючи медицину, науку, розваги та комунікацію. Шум, що виникає внаслідок недосконалості обладнання, проблем в передавальних каналах або випадкових фізичних факторів, значно знижує ефективність обробки та сприйняття зображень.

Традиційні методи фільтрації, такі як гаусівський, медіанний, білатеральний або нелінійний адаптивний фільтри, є ефективними, проте мають свої обмеження, особливо в умовах складних шумових характеристик [1; 2]. Натомість, глибокі нейронні мережі демонструють високу ефективність у задачах приглушення шуму завдяки здатності навчатися на великих обсягах даних і виявляти складні патерни шуму [3–5]. Актуальною при цьому є задача вибору найкращої архітектури нейронної мережі для видалення шуму із зображень.

Ціль та задачі

Ціллю даної роботи було дослідити різні архітектури нейронних мереж в задачі видалення шумів на зображеннях. Для досягнення цілі потрібно було виконати наступні завдання:

1. Створити набір даних, що містить оригінальні зображення разом з їх зашумленими версіями.
2. Обрати і навчити декілька моделей глибокого навчання для видалення шумів із зображень.
3. Провести порівняльний аналіз роботи навчених моделей та класичних фільтрів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для навчання і тестування моделей нейронних мереж потрібно

мати відповідний набір зображень. В роботі було створено навчальну, валідаційну та тестову вибірки, які містили оригінальні зображення та зображення з доданим шумом. Для їх формування було використано 3 набори зображень з www.kaggle.com: 1) Butterfly Image Classification – містить зображення різних метеликів [6]; 2) 100 Sports Classification – зображення спортсменів [7]; 3) UTKFace – зображення облич людей від 0 до 116 років [8].

Навчальна вибірка формувалася у такий спосіб. З кожного з трьох наборів випадково було обрано 1000 зображень і вони масштабувалися до розміру 128x128. Потім з цих зображень було випадково обрано 30, до кожного з яких вносився певний тип шуму різного ступеня (всього було 10 ступенів шуму). Тим самим, отримувались 300 зображень з певним типом шуму різного ступеня. І так робилося для кожного з 6 видів шуму. У підсумку навчальна вибірка містила 1800 зображень. Валідаційна вибірка формувалася так само, лише її розмір був в 2 рази менший. Тестова вибірка формувалася на основі 100 оригінальних зображень із додаванням до них шуму трьох ступенів.

В процесі формування вибірок до зображень додавався шум одного з шести видів: гаусівський, Пуассона, «сіль та перець», Лапласа, змішаний, квантування (рис. 1.1) [1; 2; 9].

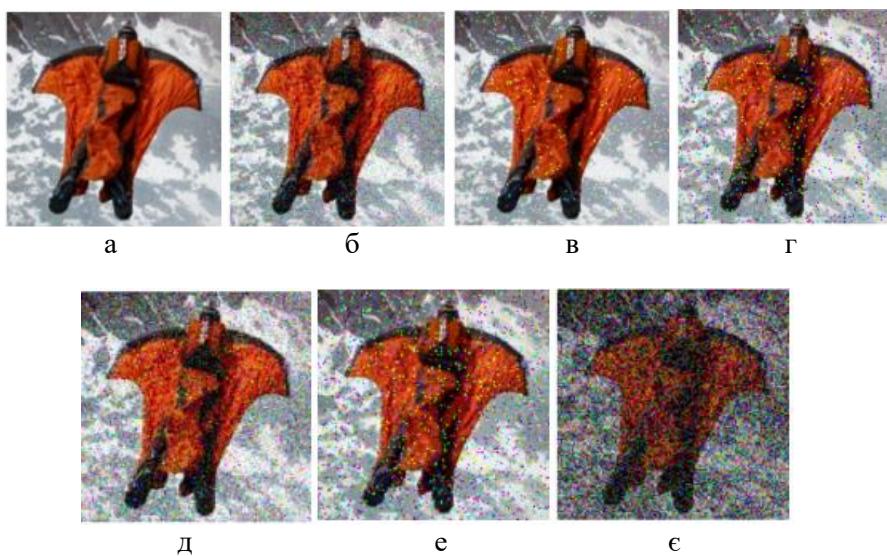


Рисунок 1 – Оригінальне зображення (а) та зашумлені зображення:
б – гаусівський шум, в – шум Пуассона, г – шум «сіль і перець»,
д – шум Лапласа, е – змішаний шум, ф – шум квантування

В якості моделей глибоких нейронних мереж для видалення шуму із зображень було розглянуто згортковий автоенкодер та U-Net. Згортковий автоенкодер є досить широковживаною моделлю для видалення шумів із зображень [3–5, 10]. U-Net розроблена для задачі сегментації зображень. Проте в роботі [11] була спроба її застосування для видалення шуму із зображень. В роботі було навчено 3 моделі:

- 1) модель згорткового автоенкодера, яка містила 3 згорткові шари в енкодері та 3 в декодері;
- 2) ще одна модель згорткового автоенкодера, яка була глибшою і містила 6 згорткових шарів в енкодері та декодері;
- 3) модель U-Net, в якій було змінено вихід та функцію втрат.

В якості функції втрат використовувалася функція MSE (Mean Squared Error). Як метрики якості були взяті PSNR (пікове співвідношення сигнал-шум) і SSIM (індекс структурної схожості).

Навчання проводилося в середовищі Google Colaboratory (Colab), яке надає відмінну можливість працювати з Jupyter Notebook онлайн, запускаючи код у хмарі Google. Використання T4 GPU в Colab дозволило значно прискорити обчислення.

В ході навчання використовувалася навчальна вибірка з 1800 зображень і валідаційна з 900 зображень. Як метод оптимізації був застосований Adam. За результатами експериментів початкову швидкість навчання було обрано 0.000003 для U-Net, 0.000009 для першого автоенкодера, 0.000025 для другого. Dropout не застосовувався.

В ході навчання усіх моделей спостерігалася проблема вибухання градієнтів. Для її усунення використовувався метод градієнтного обрізання (gradient clipping) за допомогою GradientTape з TensorFlow. Цей інструмент дозволяє автоматично обчислювати градієнти для змінних відносно певного об'єкта `tf.Variable` під час проходження уперед через модель. Результати навчання для моделі U-Net наведено на рисунку 3.

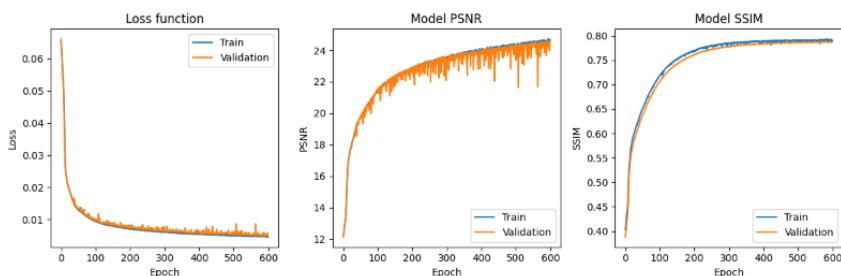


Рисунок 3 – Результати навчання моделі U-Net протягом 600 епох

РЕЗУЛЬТАТИ

З метою порівняти роботу навчених моделей між собою, а також з класичними фільтрами, було виконано наступне. Було взято 100 тестових зображень і кожне зашумлено певним видом шуму з різним ступненем зашумлення. Всього було розглянуто 3 ступені зашумлення. Після цього шум видалявся за допомогою трьох навчених моделей та класичних фільтрів і розраховувалися метрики PSNR та SSIM. Далі метрики усереднювалися за 100 зображеннями. Під час застосування класичних фільтрів для першого ступеня зашумлення брався фільтр з ядром 3x3, для другого – з ядром 5x5, і третього – з ядром 7x7 (лише для у випадку шуму Лапласа 9x9). Ці розміри фільтрів були визначені як оптимальні в ході експериментів.

Результати порівняння показали, що U-Net в більшості випадків забезпечувала кращу якість видалення шуму, ніж згорткові автоенкодери. Тому нижче подані і проаналізовані результати лише для моделі U-Net.

Усереднені результати експерименту з порівняння роботи U-Net та класичних фільтрів подано в таблиці 1.

На зображеннях з невеликою кількістю гаусівського шуму нейронна мережа майже досягає результатів фільтрів. При високому ступені зашумленості за PSNR перевагу має нейронна мережа.

На зображеннях шумом Пуассона нейронна мережа показала гірші результати, ніж медіанний фільтр. Проте чим вищою був ступінь зашумлення, тим різниця в якості між нейронною мережею і класичним фільтром була меншою.

На зображеннях з невеликою кількістю шуму «сіль та перець» нейронна мережа трохи поступається медіанному фільтру. При середньому ступені зашумленості нейронна мережа справляється краще, але при найвищій ступені зашумлення фільтри є кращим рішенням.

На зображеннях з невеликою кількістю шуму Лапласа нейронна мережа спроможна видаляти шум майже як фільтри, в деяких випадках навіть краще.

На зображеннях з невеликою кількістю змішаного шуму нейронна мережа показує трохи гірші результати за медіанний фільтр, але не сильно йому поступається.

На зображеннях з невеликою кількістю шуму квантування нейронна мережа впоралась краще фільтрів. Однак при високому ступені зашумленості нейронна мережа трохи відстає за результатами метрик від фільтрів.

Таблиця 1 – Усереднені значення метрик якості моделі U-Net та класичних фільтрів на тестових даних

	Ступінь зашумлення		
	1	2	3
Для зображень з гаусівським шумом			
Нейронна мережа U-Net	PSNR:27.15 SSIM:0.90	PSNR:21.23 SSIM:0.65	PSNR:18.22 SSIM:0.51
Фільтр Гауса	PSNR:27.47 SSIM:0.84	PSNR:19.80 SSIM:0.60	PSNR:17.62 SSIM:0.6
Для зображень з шумом Пуассона			
Нейронна мережа U-Net	PSNR:28.36 SSIM:0.90	PSNR:23.20 SSIM:0.85	PSNR:20.61 SSIM:0.81
Медіанний фільтр	PSNR:34.88 SSIM:0.96	PSNR:27.72 SSIM:0.90	PSNR:23.97 SSIM:0.82
Для зображень з шумом «сіль та перець»			
Нейронна мережа U-Net	PSNR:25.62 SSIM:0.848	PSNR:29.79 SSIM:0.61	PSNR:11.86 SSIM:0.37
Медіанний фільтр	PSNR:33.31 SSIM:0.96	PSNR:26.73 SSIM:0.88	PSNR:14.54 SSIM:0.51
Для зображень з шумом Лапласа			
Нейронна мережа U-Net	PSNR:26.77 SSIM:0.89	PSNR:20.40 SSIM:0.60	PSNR:17.76 SSIM:0.50
Медіанний фільтр	PSNR:34.79 SSIM:0.96	PSNR:19.57 SSIM:0.49	PSNR:18.83 SSIM:0.48
Для зображень зі змішаним шумом			
Нейронна мережа U-Net	PSNR:28.01 SSIM:0.94	PSNR:23.92 SSIM:0.79	PSNR:22.86 SSIM:0.73
Медіанний фільтр	PSNR:33.34 SSIM:0.95	PSNR:29.91 SSIM:0.91	PSNR:27.28 SSIM:0.87
Для зображень з шумом квантування			
Нейронна мережа U-Net	PSNR:28.22 SSIM:0.93	PSNR:25.79 SSIM:0.86	PSNR:24.94 SSIM:0.84
Медіанний фільтр	PSNR:26.69 SSIM:0.85	PSNR:26.69 SSIM:0.85	PSNR:26.8 SSIM:0.85

Висновки

У роботі розглянуто задачу видалення шумів із зображень за допомогою нейронних мереж, а також представлено експериментальні результати тренування і тестування моделей нейронних мереж на зображеннях зі штучно доданим шумом. Було створено набір кольорових зображень розміром 128x128 з шістьма видами шумів з різними ступенями зашумлення. На цьому наборі навчено два згорткові атоенкодери та модель U-Net для видалення шумів.

Роботу навчених моделей було порівняно між собою та з

класичними фільтрами на тестових зображеннях. Результати експериментів засвідчили, що модель U-Net краще справляється з видалення шуму із зображень, ніж автоенкодери. У порівнянні з класичними фільтрами модель U-Net демонструє конкурентоспроможні результати. Вона показує кращу якість у випадку шумів гаусівського, Лапласа та квантування, особливо в контексті збереження структурної інформації (вищі значення SSIM).

ПОСИЛАННЯ

1. Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). *Digital Image Processing*. <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf>
2. Szeliski, R. (2022). *Computer Vision: Algorithms and Applications* (2nd ed). Springer. <https://szeliski.org/Book>
3. Elad, M., Kawar, B., & Vaksman, G. (2023). Image Denoising: The Deep Learning Revolution and Beyond – A Survey Paper. *SIAM Journal on Imaging Sciences*. 16(3). 1594-1654. <https://doi.org/10.1137/23M1545859>
4. Chintan, D. (2021, January 23). Image Denoising Using Deep Learning. *Medium*. <https://pub.towardsai.net/image-de-noising-using-deep-learning-1a8334c81f06>
5. Solomon, S. (2021, August 27). Image Denoising using Deep Learning. *Medium*. <https://medium.com/analytics-vidhya/image-denoising-using-deep-learning-dc2b19a3fd54>
6. *Butterfly Image Classification*. (n.d.). Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/phucthaiv02/butterfly-image-classification>
7. *100 Sports Image Classification*. (n.d.). Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/gpiosenka/sports-classification/data>
8. *UTKFace*. (n.d.). Kaggle: <https://www.kaggle.com/datasets/jangedoo/utkface-new>
9. Shrivastava, A., Bisen, P., Dubey, M., & Choudhari, M. (2015). Image Denoising Using Different Filters (A Comparison of Filters). *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*. 2(4). 2214-2219. <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/174827.pdf>
10. Kuo, C. (2019, November 20). Convolutional Autoencoders for Image Noise Reduction. *Medium*. <https://towardsdatascience.com/convolutional-autoencoders-for-image-noise-reduction-32fce9fc1763>
11. Paavani, D. (2019). Image Denoising Using a U-net. https://stanford.edu/class/ee367/Winter2019/dua_report.pdf

ВИЗНАЧЕННЯ ВІКУ ЛЮДИНИ ЗА ФОТО НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Євгеній Вербенко

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8438-4990>

Дніпропетровський університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Ольга Мацуга

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6444-8566>

Дніпропетровський університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

У сучасному світі технології штучного інтелекту та машинного навчання знаходять широке застосування в різних галузях. Однією з цікавих і корисних задач, яка активно досліджується та впроваджується в практику, є визначення віку людини на основі аналізу зображень її обличчя. Складність цієї задачі пов'язана з тим, що процес старіння залежить від багатьох факторів, таких як генетика, спосіб життя та навколишнє середовище. З розвитком комп'ютерного зору та глибокого навчання стало можливим досягти високої точності у розв'язанні цієї задачі, що відкриває нові можливості для її застосування у різних сферах.

Ціль та задачі

Ціллю даної роботи було порівняти різні архітектури нейронних мереж в задачі визначення віку людини за зображеннями її обличчя. Оскільки вік є неперервною величиною, то задача визначення віку людини зводиться до задачі регресії. Її розв'язання за допомогою нейронних мереж передбачало виконання таких етапів:

- 1) обрання достатньо великого датасету, який би містив обличчя людей різних вікових категорій та рас;
- 2) вибір архітектур нейронних мереж;
- 3) підбір гіперпараметрів та тренування нейронних мереж;
- 4) порівняння якості моделей.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для розв'язання поставленої задачі було обрано датасет UTKFaces [1]. Він містить близько 24 000 розміщених зображень. Зображення розмічені по статі, расі та віку. На рисунку 1 наведено розподіл зображень за статю, расою та віком: кругові діаграми

показують розподіл за статтю та расою, а гістограма ілюструє розподіл за віком. Кількість зображень чоловіків і жінок в наборі даних майже однакова. За расою датасет незбалансований, більша частина зображень людей раси White. Розподіл за віком є багатомодальним. Можна відмітити наявність чотирьох мод на рівні 0-4, 24-28, 56-60 та 72-76 років.

З цих характеристик можна зробити висновок, що нейронні мережі буде складніше визначити вік людей, які старші 80 років, через те, що зображень людей такої вікової групи не дуже багато.

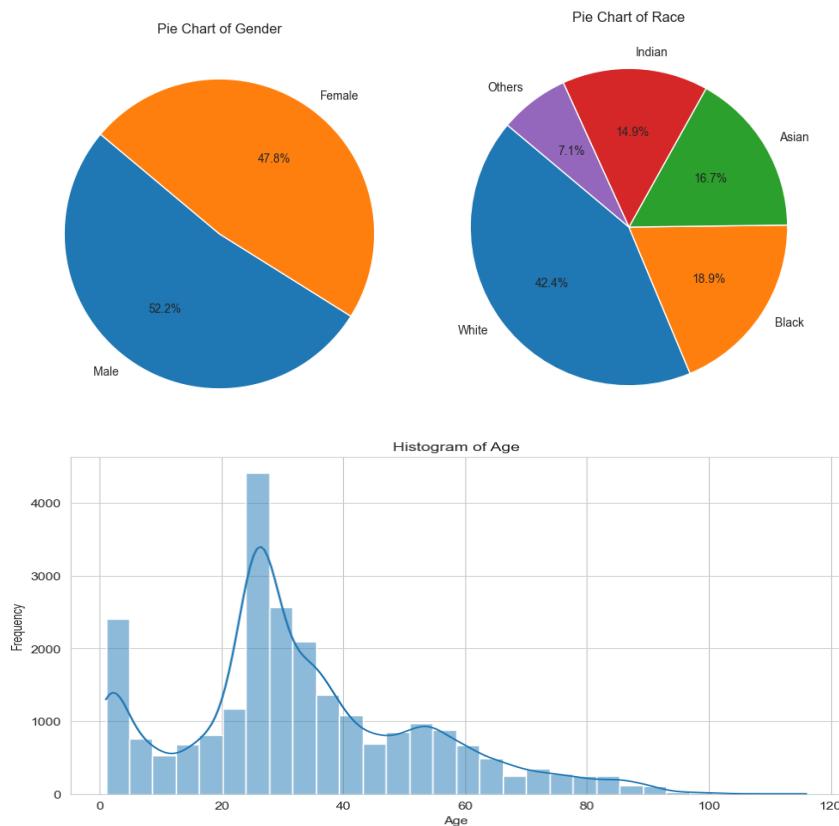


Рисунок 1 – Статистичні характеристики датасету UTKFaces

Було відібрано 4 архітектури для порівняння: AlexNet, VGG-19, ResNet-50, Inception-v4. Це перші архітектури згорткових нейронних мереж, які показали хороші результати в класифікації зображень на ImageNet (великому датасеті зображень).

AlexNet [2] (Рис. 2) – це одна з найперших архітектур, що вплинула на розвиток глибокого навчання. Вона містить вісім шарів, включаючи п'ять згорткових і три повнозв'язаних шари, і використовує ReLU в якості функції активації, дроп-аут та макс-пулінг для покращення продуктивності класифікації зображень.

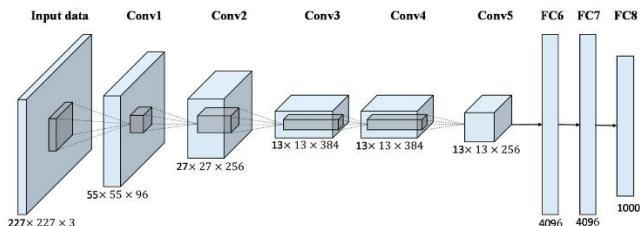


Рисунок 2 – Архітектура AlexNet

VGG-19 [3] (Рис. 3) – це архітектура згорткової нейронної мережі, яка досягла високих результатів у класифікації зображень на конкурсі ImageNet 2014 завдяки своїй простій і глибокій архітектурі. У порівнянні з AlexNet, VGG-19 значно глибша, має 19 шарів. Особливістю VGG-19 є використання малих (3×3) фільтрів, що дозволяє краще виділяти складні ознаки зображень.

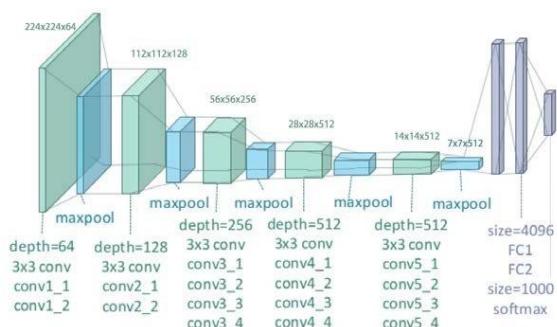


Рисунок 3 – Архітектура VGG-19

ResNet-50 [4] (Рис. 4) використовує глибоку архітектуру з 50 шарами. Ця модель може навчатись на великих наборах даних та досягати непоганих результатів. Ключовим нововведенням цієї архітектури є використання резидуальних зв'язків (residual connections), які дозволяють навчати глибші моделі без затухання градієнта та сильного перенавчання на менших об'ємах даних.

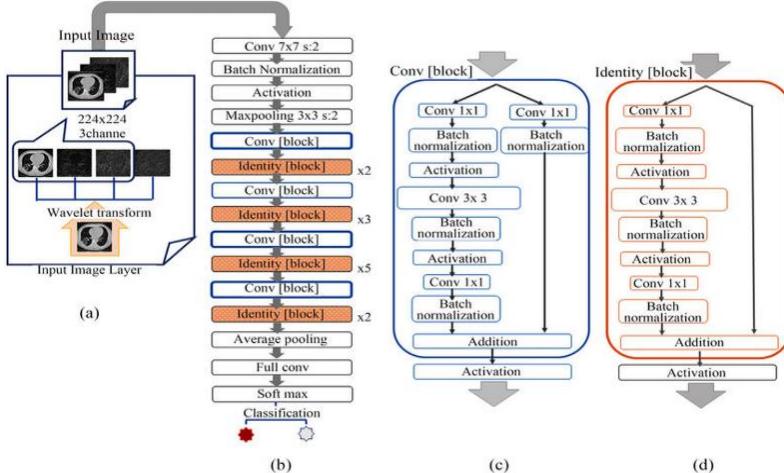


Рисунок 4 – Архітектура ResNet-50

Inception-v4 [5] (Рис. 5) була представлена дослідниками з Google у 2016 році і являє собою удосконалену версію моделі Inception-v1 (також відомої як GoogLeNet). Inception-v4 відрізняється від першої версії більш глибокою архітектурою, оптимізованими інцепційними блоками для підвищення ефективності обчислень, наявністю резидуальних зв'язків для боротьби з проблемою затухання градієнта, а також покращеними нормалізаційними шарами.

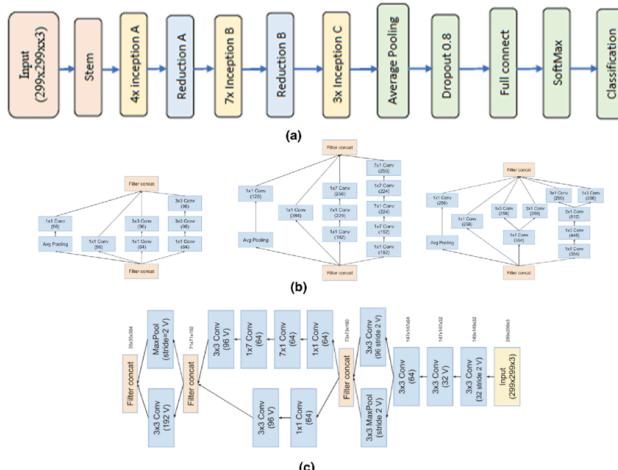


Рисунок 5 – Архітектура Inception-v4

РЕЗУЛЬТАТИ

У ході виконання роботи було навчено 4 зазначені вище нейронні мережі на наборі даних UTKFaces. У всіх мереж останній шар був замінений на повнозв'язний шар з одним нейроном і лінійною функцією активації. Під час навчання використовувалася в якості функції втрат величина MSE (середня квадратична помилка), а як метрика якості – MAE (середня абсолютна помилка).

Дані перед навчанням були розділені на тренувальну та тестову вибірки у пропорції 90% та 10%. Перед поданням на навчання зображення попередньо нормалізувалися (це важливий крок, щоб пікселі варіювались в діапазоні від 0 до 1, тому що нейронна мережа погано вчиться на даних, які мають різний масштаб) та зменшувалися до розмірів, які вимагає кожна нейронна мережа.

Для нейронних мереж AlexNet та VGG-19 був використаний метод оптимізації SGD зі швидкістю навчання 0.2, для ResNet-50 – Adam з початковою швидкістю навчання 0.02, для Inception-v4 – Adadelta з початковою швидкістю навчання 0.2. Вказані методи та їх параметр були обрані як найкращі в результаті обчислювальних експериментів.

Кожна мережа навчалась різну кількість епох, яка була потрібна для збіжності ітераційного процесу.

Моделі тренувались на системі з наступними характеристиками: відеокарта RTX 3060 TI, процесор Intel i5-12400F, оперативна пам'ять 48ГБ RAM.

Порівняльний аналіз моделей наведений у таблиці 1. В таблиці вказані значення MAE та MSE, розраховані за тестовою вибіркою на епосі, яка передувала тій, на якій було виявлено перенавчання.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз моделей

Характеристика	VGG-19	ResNet-50	Inception-v4	AlexNet
Приблизна кількість параметрів	114 млн	21 млн	30 млн	58 млн
Середній час на одну епоху	390 секунд	140 секунд	340 секунд	96 секунд
Швидкість навчання	0.2	0.02	0.2	0.2
Метод оптимізації	SGD	Adam	Adadelta	SGD
MAE	2,7	3,5	3,87	12,8
MSE	14,5	16,4	101,6	331,3
Час на обробку одного зображення	1.4 секунди	0.44 секунди	0.97 секунд	0.7 секунд

Графіки, які ілюструють зміну MAE протягом навчання, наведені на рисунку 6. Найкращі результати показали моделі VGG-19, ResNet-

50 та Inception-v4. В них найменше перенавчання та найкращий показник якості. Модель AlexNet має високий рівень перенавчання.

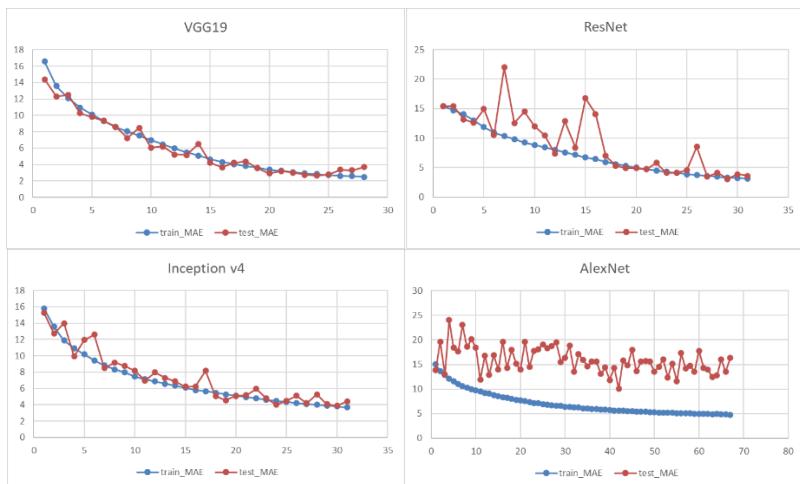


Рисунок 6 – Графіки зміни метрики MAE в ході навчання моделей

На рисунку 7 в якості прикладу наведені результати визначення віку людини за фото на основі навченої моделі VGG-19.

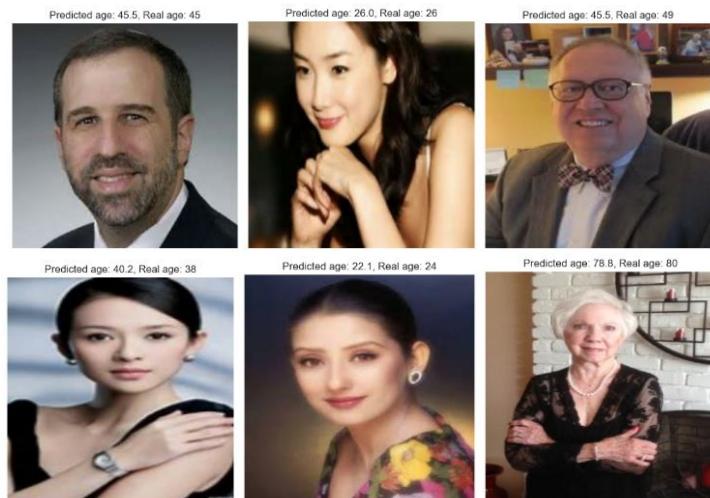


Рисунок 7 – Результати роботи навченої моделі VGG-19

Висновки

В процесі роботи було навчено 4 нейронні мережі (AlexNet, VGG-19, ResNet-50 та Inception-v4) для передбачення віку людини за фото. Для моделей VGG-19 і ResNet-50 вдалося досягти значення метрики MAE у 2,7 та 3,5 відповідно. Для Inception-v4 величина MAE становила 3,87. При цьому модель ResNet-50 найшвидше обробляє зображення. Результати навчання AlexNet виявилися незадовільними, модель була сильно перенавченою.

Якщо є потреба визначати вік людини за фото в режимі реального часу, то згідно з одержаними результатами, можна рекомендувати для цього модель ResNet-50, оскільки вона оброблює зображення втрічі швидше, ніж VGG-19. Якщо необхідна висока точність визначення віку, то краще використати VGG-19. Загалом ці дві моделі показали непогані результати для розв'язання поставленої задачі.

Посилання

1. UTKFace. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/jangedoo/utk-face-new/data>
2. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84–90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
3. Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *3rd International Conference on Learning Representations (ICLR 2015)*, 1–14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>
4. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
5. Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., & Alemi, A. (2017). Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning. *Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 31(1), 4278–4284. <https://doi.org/10.1609/aaai.v31i1.11231>

МODEлювання ліДЕРського ПОТЕнЦІалу ФАХІВця

Олексій Шевяков

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8348-1935>

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Вступ. Супровід як галузь практичної діяльності фахівців-лідерів до цих пір не дуже чітко визначений і, більш того, широко поширена точка зору, що такої галузі взагалі не існує, що завданням психологів є не супровід розвитку систем діяльності, а лише психологочне забезпечення процесу управління. Між іншим, розвиток сучасної психології управління як галузі на перетині психології та управлінської діяльності виявило прогалини та протиріччя стандартних моделей розвитку особистості фахівця. Останнє зокрема пояснює відсталість деяких країн у цьому відношенні. Дослідження наслідків обмеженої раціональності, соціальних уподобань та відсутності самоконтролю ситуації розвитку показали, що людські риси систематично впливають на управлінські рішення, а також на результати діяльності. У постіндустріальну епоху необхідно виявити вплив психологічного (зокрема лідерського) потенціалу сучасного фахівця («пасіонарного духу») на національну гідність. Лідер – це людина, яка бажає не тільки знайти себе у житті, а й реалізувати себе у ньому: повністю, до кінця вичерпавши внутрішній потенціал. Виникає питання стосовно психологічного забезпечення розвитку соціотехнічних систем діяльності, і перш за все в системі управління проектами. Початковим положенням є розуміння психології управління як науково-практичної дисципліни, об'єктом якої є система «людина (група людей) – засіб діяльності – предмет діяльності – навколоїше середовище» (соціотехнічна система), а предметом – комплекс характеристик і закономірності діяльності людини в її взаємодії з іншими компонентами системи праці.

Наукова складова професійної психології управління полягає у вивченні цих характеристик і закономірностей. Практична складова полягає у виконанні діагностичних, експертних і інших робіт, що мають на меті досягнення необхідної ефективності діяльності фахівця в соціотехнічній системі шляхом узгодження властивостей неживих компонентів системи з практичними властивостями людини, а також за рахунок розробки і застосування способів формування і підтримки цих властивостей на необхідному рівні.

Мета і завдання. Метою є обґрунтування завдань, теоретичних основ і методології психологічного супроводу таких систем діяльності, які підпадають під поняття «соціотехнічна система». При цьому акцент

робиться на супроводі компонентів систем діяльності фахівців як лідерів.

Матеріали та методи. Матеріалом, на якому розроблені теоретичні засади психологічного забезпечення, що викладаються нижче, є психофізіологічна теорія функціональних систем та метод психологічного аналізу діяльності.

Результати. Соціотехнічна система діяльності – це цілеспрямована система «людина (або група людей) – засіб діяльності (користування) – предмет діяльності – навколоишнє середовище». Підкреслимо, що соціотехнічна система не обов'язково система «людина – машина». Засобом діяльності може бути будь-який матеріальний або інформаційний об'єкт (інструмент), а предметом діяльності (дії), крім того, може бути і будь-який суб'єкт (наприклад, майбутній фахівець, менеджер, тренер). Фізіологічна теорія діяльності досить добре відома і спортсменам, і психологам. Нещодавно зроблено узагальнення всіх напрацювань в галузі прикладних аспектів психологічної теорії діяльності і розвинув її як системно-структурну теорію діяльності. Вдалося, деякою мірою, з'єднати психофізіологічну теорію функціональних систем з психологічною теорією діяльності і показати можливості використання такої «загальної» теорії діяльності для вирішення завдань психологічного забезпечення управлінської діяльності [1]. Основоположним для побудови загальної теорії діяльності є аксіоматично прийняті розуміння суті життєдіяльності людини.

Життєдіяльність – процес самореалізації закладеного в людині природою і життєвого потенціалу, що розвивається після народження; цей процес включає психофізіологічні функції і «надбіологічну» діяльність у внутрішній (психічній) і зовнішній (матеріальній і соціальній) сферах. Діяльністю є вид життєдіяльності, специфічною межею якого є спрямованість на досягнення визначеної, усвідомлюваної людиною мети. Фахівець проявляє себе в діяльності як особистість, що володіє свідомістю, волею, здібна до цілепокладання і бере на себе відповідальність за наслідки своєї праці. Життєвий потенціал є внутрішньо властива людині основа її активності. Слід розрізняти базовий і діяльнісний потенціали. Базовий потенціал формується як деяка загальна, неспецифічна функціональна система організму з елементами психічної і анатомо-фізіологічної сфер людини. Вона проявляє себе в певному рівні фізичного здоров'я людини, в її психологічній самоефективності і адекватній або неадекватній соціалізації в даному культурному середовищі.

Діяльнісний потенціал формується як специфічна функціональна система, необхідна для здійснення певного виду професійної, навчальної, побутової й іншої діяльності в тій або іншій сфері життя (трудовій,

сімейній, суспільній і т. д.).

Будь-який з розглянутих видів потенціалу може бути статусним і ситуаційним. Статусний потенціал - це стійка освіта, яка поєднує професійно-важливі якості (компетенції), добре сформовані навички виконання діяльності, стабільний стан здоров'я. Ситуаційний потенціал - це освіта нестійка, така, що змінюється при певних обставинах (наприклад, працевдатність, обумовлена функціональним станом організму або кон'юнктурною мотивацією).

Функціональна система – це одиниця інтеграційної діяльності, що є динамічною організацією анатомо-фізіологічно-психологічних утворень і процесів, що вибірково об'єднуються для досягнення результату.

Разом із функціональною системою поведінкового рівня в організмі формуються аналогічні за структурою системи для виконання окремих завдань: адаптаційно-гомеостатичного регулювання організму, окремих органів і фізіологічних систем на вимоги діяльності.

Функціональна система діяльності, як вона розглядається в «синтетичній» теорії діяльності - це складніше утворення, аніж модель поведінкового акту. Вона включає не лише поведінкові (діальнісні) функції, але і функції енергопластичного (фізіологічно-біохімічного) забезпечення цілеспрямованої діяльності, а також функції адаптації організму до зовнішніх умов. Повна функціональна система діяльності, по суті, є соціотехнічною системою, оскільки в ній входить не тільки фахівець, але й предмет діяльності, і засіб діяльності, і зовнішнє середовище. Власне людська частина функціональної системи діяльності включає п'ять підсистем.

Операціональна підсистема безпосередньо вирішує завдання діяльності, тобто на основі домінуючого мотиву у фахівця як лідера формується мета, аналізуються умови, від яких може залежати досягнення мети, з урахуванням результату цього аналізу обирається, актуалізується відповідна програма (навички, використаний раніше спосіб, алгоритм досягнення мети в аналогічних умовах). Якщо такого способу немає, то шляхом розумової роботи формується новий спосіб – програма даної, конкретної діяльності. Потім ухвалюється рішення (усвідомлене внутрішнє санкціонування про “запуск” діяльності). Після цього здійснюється сам процес діяльності з його поточним коректуванням на основі інформації, що поступає по каналу зворотного зв’язку.

Підсистеми психологічного забезпечення й адаптаційно-гомеостатичної регуляції функціонують протилежно, остання без свідомого цілепокладання і взагалі, за рідкісними виключеннями, без віддзеркалення в свідомості.

Підсистема інтегральної регуляції забезпечує узгоджену роботу всіх підсистем на двох рівнях - неусвідомлюваному (нейрогуморальна

регуляція фізіологічних і психофізіологічних функцій) і на усвідомленому – мотиваційно-ціннісна і вольова регуляція діяльності. Підсистема спонтанної психічної активності включає ті процеси, які можуть протікати паралельно з цілеспрямованими процесами в операціональній підсистемі. Мікроструктура цієї системи є глибокою організацією операціональної підсистеми діяльності на рівні циклів, дій і алгоритмів їх реалізації. На цьому рівні в процесі формування діяльнісного потенціалу фахівця-лідера відбувається утворення різних за психологічним або психофізіологічним змістом операціональних структур. З них формуються окрім психологічні операції. Далі виникає функціональна система діяльності. Вона є ніби скелетом, на якому нарощуються різні дії. Кожен блок характеризується певними групами властивостей лідера і всіх інших компонентів соціотехнічної системи. Операціональний компонент є функціональною системою, утвореною з технологічних операцій і власне людських складових - дій. Пропонована методологія має обмеження – вона розповсюджується тільки на ті види діяльності, які пов'язані з використанням зовнішніх по відношенню до фахівця засобів діяльності.

Висновки. Методологію моделювання опишемо у формі ряду положень з коментарями.

1. Опора на загальну теоретичну модель діяльності. Основні характеристики такої моделі описані вище.

2. Психологічний супровід, як і будь-який інший супровід, - процес ітераційний: від загальної ідеї, через одне або декілька проміжних, орієнтовних рішень до вирішення остаточного. Внаслідок того, що діяльність фахівця-лідера надзвичайно складна, крім методів теоретико-аналітичних повинні використовуватися і методи експериментальні.

ПОСИЛАННЯ

1. Mitova, O., Sheviakov, O., Slavska,Y., & Cherednichenko, O. (2024). Formation of the Motivation Component of Value Orientations in Children 6-7 Years Old During Mini-Basketball Classes. *Public Administration and Law Review*, 1(17), 78-88. <https://doi.org/10.36690/2674-5216-2024-1-78>.

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ МІЖКУЛЬТУРНИМИ КОМАНДАМИ

Валерія Воробйова

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3913-1289>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Олександр Крупський

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Через стрімкий розвиток цифрових технологій і зумовлені ним глобалізаційні процеси зростає міжнародна торгівля та відбувається поліблення міжнародних бізнес-відносин [5]. Компанії виходять на міжнародні ринки та відкривають філії за кордоном, що призводить до необхідності формування міжкультурних команд для ефективної роботи. Сучасні компанії стикаються з необхідністю шукати талановитих і досвідчених спеціалістів з усього світу, щоб забезпечити власну інноваційність та конкурентоспроможність на глобальному ринку. Знання місцевих культур та особливостей споживачів з певних регіонів є ключовим для успіху на міжнародних ринках.

Міжкультурна команда - це група людей, які походять з різних культурних середовищ і працюють разом для досягнення спільної мети [8]. Такі команди можуть включати людей з різних країн, етнічних груп, релігій, мов або професійних культур. Міжкультурні команди стають все більш поширеними в сучасному глобалізованому робочому середовищі, де організації працюють у різних країнах і регіонах, а співробітники часто співпрацюють віддалено або в багатонаціональному середовищі.

Саме міжкультурні команди можуть надати компанії перевагу при взаємодії з клієнтами, які є представниками різних культур, та розробці продуктів, що відповідають місцевим потребам. Ще однією важкою перевагою є різноманітність поглядів та досвіду членів міжкультурних команд, що сприяє творчому мисленню та успішному впровадженню інновацій [11].

Міжкультурні команди значним чином впливають і на покращення взаєморозуміння та збільшення співпраці між країнами і культурами. Це, в свою чергу, є надзвичайно важливим для побудови стійких міжнародних партнерств та розвитку міжнародних відносин. Міжкультурні команди стають все більш популярними через свою спроможність ефективно працювати в умовах глобалізації, що дозволяє компаніям досягти успіху на міжнародному ринку [13]. Перевагою міжкультурних команд є різноманітні перспективи, креативність та

інновації завдяки їхньому різноманітному походженню. Основні переваги міжкультурних команд наведено на рисунку 1. Однак вони та-кож можуть зіткнутися з проблемами. Ці проблеми виникають через відмінності в комунікаційному стилі, робочій етиці та організаційних звичках. Прямолінійність в одній культурі може розглядатися як не-поважна поведінка в іншій, що часто призводить до непорозумінь і конфронтаций. Розбіжність культурних норм щодо спілкування може перешкоджати ефективному передаванню інформації, спричиняючи складність у координації дій і знижуючи продуктивність. Відмінності в способах ухвалення рішень істотно впливають на динаміку міжкультуруної команди. Відмінності у сприйнятті ієархії можуть вплинути на очікування щодо розподілу ролей і відповідальності, що може викликати розбіжності під час спільної роботи та ускладнити організацію ієархічних процесів.



Рисунок 1 – Основні переваги міжкультурних команд [14]

Попри наявність значної кількості переваг, які надає створення міжкультурних команд, перед їх керівниками постають певні виклики, подолання яких потребує справжньої управлінської майстерності. Управління міжкультурними командами вимагає уваги до таких аспектів, як наявність значних культурних відмінностей, різниці у способах сприйняття інформації, різноманітність підходів до роботи та особливостей прийняття рішень. Неврахування керівником цих аспектів може привести до внутрішніх конфліктів, непорозумінь та зниження продуктивності команди.

Незважаючи на те, що глобалізація впливає на поглиблення відносин між різними культурами, ці процеси не спричиняють зменшення культурних відмінностей [4]. Отже, підходи до управління розроблюються з урахуванням цього важливого факту.

Інноваційні підходи до управління міжкультурними командами включають в себе використання новітніх технологій для полегшення комунікації та співпраці, впровадження принципів взаємної поваги та відкритості і застосування гнучких методів управління, які дозволяють адаптуватися до культурних особливостей представників команди [2]. Інноваційний підхід до управління міжкультурними командами базується на створенні сприятливого середовища для продуктивної співпраці, забезпечені доступу до ресурсів, підтримці командних ініціатив та застосуванні механізмів зворотного зв'язку і відкритості до змін [12].

Також важливу роль у розвитку міжкультурних команд відіграє економічна культура особистості [1]. Розуміння та повага до економічних норм і цінностей, характерних для різних культур, сприяє ефективному управлінню командою. Знання фінансових та економічних аспектів партнерів дозволяє уникнути непорозумінь та забезпечує взаємовигідні відносини. Організації, які приділяють увагу розвитку економічної культури своїх співробітників, можуть досягти більш високого рівня інтеграції та гармонії в міжкультурних командах [3].

Лідерство, побудоване на основі взаємної поваги та відкритості, передбачає впровадження такого управлінського підходу, при якому кожен член міжнародної команди відчуває себе важливим, незалежно від культури, до якої він належить [7]. Лідер, який керується принципом взаємної поваги, проявляє інтерес до своїх підлеглих, розуміє їхні мотивації та потреби і намагається враховувати їх під час прийняття рішень [9]. Такий підхід стимулює створення комфортної і відкритої атмосфери, де кожен має можливість висловлювати свої ідеї, думки та погляди без страху стикнутися з критикою або засудженням. Лідер визнає важливість саморозвитку кожного члена команди і сприяє формуванню довіри та співпраці в команді [10].

Отже, лідерство, побудоване на основі взаємної поваги та відкритості, ґрунтуються на взаємодії, довірі та підтримці у команді. Це, в свою чергу, підвищує мотивацію та залученість кожного члена команди і сприяє досягненню спільних цілей.

Важливість інноваційних підходів в управлінні міжкультурними командами полягає в здатності адаптуватися до зростаючої складності та різноманітності сучасного глобального бізнесу [6]. Інноваційні підходи дозволяють вирішити проблеми міжкультурної комунікації, забезпечуючи ефективний обмін інформацією та покращення розуміння між різними культурами. Такі підходи до управління дозволяють створювати більш ефективні та цілісні команди, що працюють в глобальному середовищі та досягають завдяки цьому кращих результатів. Варто зазначити, що компанії, які використовують інноваційні підходи в управлінні міжкультурними командами, стають більш привабливими для міжнародних клієнтів і партнерів, що покращує їхню репутацію та статус на ринку.

Отже, саме інноваційні підходи у міжкультурному управлінні стають ключовим чинником успіху компаній у сучасному глобальному бізнесі, допомагаючи їм адаптуватися до змін у культурному середовищі та досягти своїх стратегічних цілей.

ПОСИЛАННЯ

1. Калініченко, О. О., Мосійчук, І. В., & Пойта, І. О. (2023). Управління проектами у глобальному контексті: культурні аспекти та адаптація. *Проблеми економіки*, (56), 24-30. Retrieved from http://iuf.edu.ua/wp-content/uploads/2022/05/IUF_Conference-2022.pdf#page=45.
2. Крупський, А. П., & Стасюк, Ю. М. (2009). Коммуникативная компетентность как необходимый элемент профессиональной культуры менеджера. *Педагогіка вищої та середньої школи: [збірн. наук. праць]*, 111-116. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322699308_Kommunikativnaa_kompetentnost_kak_neobhodimiyj_element_-professionalnoj_kultury_menedzera.
3. Крупський, О. П., & Стасюк, Ю. М. (2012). Економічна культура як фактор інноваційного розвитку економіки України. *Інноваційна економіка*, 9(35), 56-60. Retrieved from <https://philarchive.org/archive/KRU-5>.
4. Харечко, В. М. (2018). Культура, цінності та економічний розвиток: аналіз деяких концепцій. *Наукові записки [Української*

академії друкарства], (1), 144-153. Retrieved from <http://nz.uad.lviv.ua/static/media/1-56/17.pdf>.

5. Щетініна, Л. В., Рудакова, С. Г., & Кравець, О. В. (2017). Сутність крос-культурної компетентності: від теорії до практики.. *Ефективна економіка*, (4). Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5537>.

6. Bilan, Y., Nitsenko, V., Ushkarenko, I., Chmut, A., & Sharapa, O. (2017). Outsourcing in international economic relations. Montenegrin journal of economics, 13(3), 175-185. <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2017.13-3.14>.

7. Fry, L., & Egel, E. (2021). Global Leadership for Sustainability. *Sustainability*, 13(11), 6360. <https://doi.org/10.3390/su13116360>.

8. Heldal, F., Sjøvold, E., & Stålsett, K. (2020). Shared cognition in intercultural teams: collaborating without understanding each other. *Team Performance Management: An International Journal*, 26(3/4), 211-226. <https://doi.org/10.1108/TPM-06-2019-0051>.

9. Islami, X., & Mulolli, E. (2020). A conceptual framework of transformational leadership as an influential tool in the team performance. *European Journal of Management Issues*, 28(1-2), 13-24. <https://doi.org/10.15421/192002>.

10. Karkovska, V., & Dorosh, I. (2019). Modern leadership: features, requirements, problems and mistakes. *State and Regions. Series: Economics and Business*, 5(110). <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2019-5-18>.

11. Leung, A. K., Maddux, W. W., Galinsky, A. D., & Chiu, C. (2008). Multicultural experience enhances creativity: The when and how. *American Psychologist*, 63(3), 169–181. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.63.3.169>.

12. Lloyd, S., & Härtel, C. (2010). Intercultural competencies for culturally diverse work teams. *Journal of Managerial Psychology*, 25(8), 845–875. <https://doi.org/10.1108/02683941011089125>.

13. Stukalo, N. et al. (2018). “Green” economy: from global concept to reality of local development, Dnipro. (in Ukrainian). Retrieved from <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294013>.

14. Tang, N., & Wang, Y. (2017). Cross-cultural teams. *The Wiley Blackwell Handbook of the Psychology of Team Working and Collaborative Processes*, 219-242. <https://doi.org/10.1002/9781118909997.ch10>.

INNOVATIONS AND STRUCTURAL PROBLEMS OF INDUSTRY: COMPARATIVE ANALYSIS OF AZERBAIJAN'S INDICATORS WITH TURKISH REPUBLICS

Gulshen Yuzbashiyyeva Zahid qizi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9609-5347>

Economy institute of Azerbaijan Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

Samira Abasova Huseyn qizi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7059-7664>

Economy institute of Azerbaijan Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

Israfil Yuzbashiyyev Habib oglu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5854-3866>

Company SOCAR Trading SA, Geneva, Switzerland

INTRODUCTION

Innovations in industry directly affect the structure of the economy, sometimes creating problems. Today, structural problems are the main factor limiting economic growth and development. These are problems created by existing non-competitive industries and markets, since the decline in economic growth potential also has a negative impact on the sectoral structure of growth. Real structural transformations will contribute to increased productivity, efficiency and sustainability, and increased incomes of the population. It is advisable to increase the qualitative component of economic growth with the introduction of radical innovations in industry.

OBJECTIVE AND TASKS

The purpose of study is innovations whose influence to structural problems of industry and national economy of Azerbaijan. This investigation consists from 3 main objectives:

- 1) analysis of economy potential of Turkish republic;
- 2) analysis of innovations in Azerbaijan industry and
- 3) SWOT analysis of investments from Turkish republics to liberated lands of Azerbaijan.

MATERIALS AND METHODS

In this article have used the statistical date grouping, used to comparative analysis, SWOT expert analysis.

RESULTS

Turkey has characterized the balanced structure of economy in 2020: industry has got 25.6% of national economy, recycling - 21.5%, services – 32.7%, transport – 12.0% trade – 16.3% and building- 5.9%. Former Soviet Union republics haven't got balanced structure: industry in Kazakhstan has got share about 32.0% in 2022, Kyrgyzstan – 18.9%, Uzbekistan – 26.7%, Turkmenistan – 36.8% (Table 1.).

As can be seen from table 1, the largest share belongs to industry in Azerbaijan economy structure in 2022 is equal to 55.2%. To increase the sustainability of the economy, it is advisable to increase the share of processing in the industrial structure in order to reduce the share of production [14-16]. To this end, many events are being carried out in Azerbaijan, concepts and programs are being adopted, the implementation of which should yield positive results in the near future.

Table 1 – Sectors of the economy, % in the national economy of Turkish republics

	Industry	Recycling	Services	Transport	Trade	Building
Turkey						
2015	22.4	18.9	32.4	12.0	16.2	9.2
2020	25.6	21.5	32.7	12.0	16.3	5.9
Azerbaijan						
2015	36.2	5.5	21.6	8.7	13.5	13.1
2022	55.2	5.4	15.8	8.0	10.6	5.2
Kazakhstan						
2015	26.2	10.8	31.6	11.8	19.1	6.3
2022	32.0	14.5	29.1	8.8	18.8	5.7
Kyrgyzstan						
2015	18.3	15.4	25.6	8.9	22.6	9.2
2022	18.9	14.1	30.5	6.9	21.6	8.4
Turkmenistan						
2015	45.9	43.2	24.9	6.4	4.2	9.2
2022	36.8	34.7	31.4	8.0	5.2	7.4
Uzbekistan						
2015	18.9	26.4	13.9	9.4	7.9	5.6
2022	26.7	27.5	20.5	7.0	7.0	6.7

* dates of 2020. Source: [10]

In the structure of the economy in Turkish countries, there is a tendency for industrial growth (processing), complication of the existing structure of economy, increased attention to transport on an innovative basis, creating the basis for sustainability and stability in the conditions of depletion of natural resources and deterioration of the ecological state.

The main problem of industrial growth in Azerbaijan are:

- inefficient sectoral and technological structure of industry (high-tech production - 2-3% of output, although in developed countries it is 15-17%);
- low labor productivity; low level of competitiveness of domestic products in global and domestic markets;
- high material intensity, energy intensity, import dependence, low level of use of public investment, low level of coordination, modern equipment is purchased for the production of non-innovative products.

The importance of competitiveness, productivity and efficiency is increasing. The spasmodic and uneven nature of technological development is justified by the growth or slowdown of the pace of technological progress (table 2).

Table 2 - Fixed assets and investments in fixed capital for Azerbaijan industry

	2018	2019	2020	2021	2022
Structural independence	1.70	1.44	0.98	1.56	-
Economic complexity of Azerbaijan, place	124	120	121	115	-
Investments in fixed assets, total by Azerbaijan industry, %	3.59	1.12	1.04	1.0	1.96
<i>Production</i>	4.51	1.06	1.0	1.03	2.18
<i>Treatment</i>	1.28	1.66	1.26	1.40	2.26

Source: [11]

As noted above (Table 2), the intensity of the impact of investments on process of reproduction of fixed assets in industries is determined by the ratio of investments to fixed assets. The replacement time for worn-out equipment is much shorter. Improving the situation can be facilitated by active investment activities to increase production efficiency, economic sustainability and improve the social situation of the population.

Let's consider mutual investments of the Turkish republics. Our country is actively attracting foreign investment for the newly liberated lands of Azerbaijan [1] due to the large costs in the field of urban development, transport infrastructure, communications, industrial enterprises, and economic restoration. The most important partner of Azerbaijan is Turkey and there are currently 111 applications from Turkey to invest in Karabakh, which will be create environmental and up-to-date engineering structures in

future. SOCAR (State Oil Company of Azerbaijan) plans to implement new investment projects in Turkey's petrochemical sector: growth projects such as international petrochemical trade, increased exports of electricity and natural gas, investments in improving the reliability of logistics and storage systems, and sustainable aviation fuel operations. The agenda includes increasing the number of projects aimed at improving energy efficiency, as well as accelerating decarbonization through the development of environmentally friendly products in Turkey [6].

On March 2024, representatives of Azerbaijan and Kazakhstan discussed the creation of a joint investment fund, the organization of joint production in industrial parks, the construction of a grain terminal in the port of Alyat, cooperation in the shipbuilding sector, as well as the possibility of participation of Kazakh companies in projects implemented in territories liberated from occupation. The representatives also discussed issues of expanding cooperation in the oil and gas sector, the possibility of increasing the volume of transit of Kazakh oil along various routes, as well as cargo transportation along the Middle Corridor [8].

Over the past 2 years, mutually beneficial trade relations between Azerbaijan and Uzbekistan have improved. The presidents of the two countries set a goal to increase the volume of mutual trade to \$1 billion over the next five years. A joint investment fund worth \$500 million, created on February 2023, creates prospects for cooperation in the field of gas chemistry, energy, agriculture, food industry, and also contributes to additional favorable conditions for bilateral and transit cargo transportation with a discount and preference of up to 50% for rail transportation through infrastructure Azerbaijan. Following the results of a trilateral meeting between representatives of Azerbaijan, Uzbekistan and Kazakhstan, held on November 2023, a joint communiqué was adopted, which reflected issues of energy exchange with a focus on cooperation in creating appropriate infrastructure, development and export of ammonia and green hydrogen, renewable sources, etc. [9].

The Azerbaijan-Kyrgyz Development Fund will begin operating since autumn of 2024. The representatives have already completed internal procedures. Yaks, agricultural products, and textiles are exported from Kyrgyzstan to Azerbaijan. Azerbaijan is investing \$850 million in projects of Kyrgyz entrepreneurs in the field of processing fruits, vegetables and construction, and also plans to supply oil products to partners and develop tourism [12].

As noted above, a sustainable economy that can compete on the basis of innovation requires a certain level of economic complexity. A country's economic complexity is a reflection of its current competitiveness and determines the potential for its future competitiveness. Therefore, to improve

the level of economic complexity, it is advisable to carry out real structural changes in order to increase the country's competitiveness and the level of sustainable development. The development of the economy and its modernization is associated with the need to change the structure of economy by not only domestic but foreign investments (table 3).

Table 3 – SWOT analysis of investments from Turkish republic to Azerbaijan industry

Strengths	Weaknesses
The main investors of Azerbaijan are Turkey and Kazakhstan, which invest in many innovative projects in the construction of cities, industrial facilities and transport and communication facilities.	Uzbekistan and Kyrgyzstan signed an agreement in 2024 on investing in industrial facilities in the liberated lands of Azerbaijan.
Opportunities	Threats
Investments are being introduced into the ICT sector enterprises, into the industrial production sector, into urban planning, and into the tourism industry subjects.	Azerbaijan's investments to other Turkish republics exceed the investments of Turkey and Kazakhstan to Azerbaijan.

Source: [2]

Despite the fact that the technology market in Azerbaijan can be called “young” in relation to developed countries, it is developing and strengthening, gaining dynamism. State support contributes to the growth of labor productivity, which indicates the advisability of state support for the innovation market.

The reform package proposed by the International Bank for Reconstruction and Development in 2022 will contribute to annual GDP growth in Azerbaijan by an average of 1.7 percentage points until 2050. Azerbaijan's long-term growth will be affected by points A to E (Table 4.).

Preliminary data suggests GDP growth will peak at 2.1 percentage points in the 2030s - when most reforms have matured and TFP growth is rising rapidly - but then in the long run in 2040 it approaches 1.6. As can be seen from Table 4, private investment reforms lead to significant additional economic growth: medium-term growth of about +0.5 in the 2030s. In the long term, gradual growth will be observed in the areas of non-energy TFP and human capital.

Additional growth is likely to come from the non-energy sector, with reforms boosting non-energy GDP growth by almost 2 percentage points through 2050. But in the long term, there may be some decline in the energy sector of Azerbaijan (see Table 4.). GDP per capita is projected to increase from US\$5,880 in 2020 to US\$10,213 in 2050. The ratio of cumulative growth to the base scenario will be 74%/11%.

Table 4 - Summary of simulations for Azerbaijan

	Average growth rate, Percentage			
	2024-50	2024-29	2030s	2040s
I. Headline GDP				
Baseline	0.5	1.1	0.5	0.1
Incremental growth from reforms (one-by-one), ppts:				
A. Non-energy TFP growth	0.9	0.6	1.1	0.8
B. Human capital growth	0.4	0.0	0.3	0.6
C. Private investment	0.3	0.2	0.5	0.1
D. Public investment	0.0	0.2	0.0	-0.1
E. Female participation	0.1	0.1	0.1	0.1
Combined reforms package	1.7	1.0	2.1	1.6
II. Non-energy GDP				
Baseline	1.6	2.0	1.8	1.3
Incremental growth from reforms (one-by-one), ppts:				
A. Non-energy TFP growth	1.1	0.9	1.5	0.7
B. Human capital growth	0.5	0.0	0.5	0.8
C. Private investment	0.2	0.1	0.3	0.2
D. Public investment	0.0	0.1	0.0	0.0
E. Female participation	0.1	0.2	0.2	0.0
Combined reforms package	1.9	1.4	2.6	1.7
III. Energy GDP (Oil +Gas) Baseline	-2.3	-0.2	-2.2	-3.5
Incremental growth from reforms (one-by-one), ppts:				
A. Non-energy TFP growth	-0.1	-0.1	-0.3	0.1
B. Human capital growth	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
C. Private investment	0.4	0.2	0.9	0.1
D. Public investment	0.0	0.3	0.1	-0.2
E. Female participation	0.0	0.0	0.0	0.0
Combined reforms package	0.3	0.4	0.5	-0.1

Source: [7]

First, the reform package cannot solve the problem of dwindling oil reserves and natural resources. Second, reforms increase the productivity of the non-energy sector relative to the energy sector. This productivity gap leads to additional investment in the non-energy sector and this increasingly reduces the impact of reforms on the energy sector.

Reforms improve not only the internal structure of the economy, but also its changes in the post-oil period of development. It is necessary to direct efforts and investments to the development of radical technological developments in the production and processing of hydrocarbons, and their optimal transportation. Real institutional reforms should be aimed primarily at industry, the sphere of high-tech services, and transport infrastructure.

CONCLUSIONS

Economic development and its modernization is associated with the need to change the structure of the economy. A qualitatively new structural policy is advisable, based on an analysis of the changes that have been observed in recent years of economic development [3-5]. Supporting the innovation market is important at the initial stage, as it can subsequently hinder further development and lead to a decrease in the dynamism of the innovation market. This requires consistency and continuity of activities to improve efficiency and focus on achieving real results.

The priorities for the development of the national economy of Azerbaijan based on competing innovations are:

- production, financial, organizational, marketing, environmental innovations in the field of energy, manufacturing, ICT, and transport infrastructure;
- concentration of all attracted investments not only in production areas, but also in urban planning and the creation of industrial structures;
- acceleration of reconstruction, rehabilitation, modernization of unprofitable industries;
- investing and supporting the coordination of research activities with practice, creating a chain “University (Scientific Institute) – industrial production – investment (financing);
- creating mechanisms to stimulate organizational innovation;
- improving state support mechanisms in order to increase agricultural production using radically intensive methods;
- support for the development of agro-industrial integration;
- sustainable development of personnel training.

REFERENCES

1. Abasova, S.H., & Habibi, H. (2022). Development of a modern communication system in the liberated territories of Azerbaijan. 4 book of the international scientific conference of researchers in the field of economy and management "Sectoral evaluation of the economic potential of Karabakh and Eastern Zangezur". UNEC, 200-212. (in Azerbaijan) Retrieved from: <https://conferences.az/uploads/file/e9f5d-qarabag-ve-sergi-zengezerun-iqtisadi-potensialinin-sektoral-qiyemetlendirilmesi.pdf>.
2. Abasova, S.H. (2022). Analysis and Assesment of ICT Innovations Impact on Competitiveness of Foreign Economic Relations: Azerbaijan's Experience. Journal “Technology Audit and Production Reserves”, 5/4(67), 29-37. - Retrieved from: <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/268042/263972>.

3. Abasova, S.H. (2022). Analysis of factors affecting innovations in the field of foreign economic relations. 2nd All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation “Priority Areas of Research in Scientific and Educational Activities: Problems and Prospects”, October 12-13, 2022, Rivne, Ukraine, 7-13.
4. Abasova, S. H., Safarov, R. A., Shamkhalova, S. O. (2022). Innovative Marketing Approaches’ Implementation of Information Technology Services in Azerbaijan Economy. Proceeding book of International Conference on Economics “Regional Development-Digital Economy”. 02-03 December 2022. Baku, UNEC-Scientific-Research institute of Economic Studies, 69-82. ISBN 978-625-6380-58-5. Retrieved from: www.iksadkongre.com/economy.
5. Abasova, S. (2023). Innovative Transformations of Science-Intensive Industries in the National Economy of Azerbaijan: from Engineering to a Developed ICT Sector. *Challenges and Issues of Modern Science, 1*, 508-526. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/98>
6. Abbasova, N. (2024). SOCAR is preparing a master plan for the implementation of new investment projects in the petrochemical sector of Turkey. Interfax-Azerbaijan. Information Agency. Economy. 19.03.2024. - Retrieved from: <https://interfax.az/view/911822>.
7. Azerbaijan. Country Economy memorandum. (2022) International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. No 9, 247p. Internet: www.worldbank.org.
8. Azerbaijan's investments in the economy of Kazakhstan exceeded \$211 million (2024). 05.03.2024. – Retrieved from: <https://www.inform.kz/ru/investitsii-azerbaydzhana-v-ekonomiku-kazahstana-previsili-211-mln-ececc3>.
9. Bayramly, R. (2024). Cooperation between Azerbaijan and Uzbekistan in the conditions of modern reality: achievements and new prospects. Center for Analysis of International Relations. 18.01.2024 – Retrieved from: <https://aircenter.az/ru/single/sotrudnicestvo-azerbaydjana-i-uzbekistana-v-usloviyah-sovremennoy-realnosti-dostijeniya-i-novye-perspektivy-1346>.
10. Center for analysis of economic reforms and communications of the Republic of Azerbaijan. (2022). "Turkic Economic Outlook" was launched in seven languages. (06.06.2022) Retrieved from: <https://ereforms.gov.az/en/media/xeberler/turk-iqtisadi-icmali-nin-yeddi-dilde-nesrine-baslanilib-406>.
11. Construction in Azerbaijan. (2023). Baku, Azerbaijan State Statistical Committee, 246 p. Retrieved from: <https://stat.gov.az/source/construction/>.
12. Timayev, A. (2023). Kyrgyzstan is interested in attracting

investments from Azerbaijan. 24 World. Economy. 07/26/2023. Retrieved from: <https://mir24.tv/news/16560025/baku-investiruet-850-mln-v-proekty-kyrgyzskih-predprinimatelei>.

13. Uzbekistan and Azerbaijan created an investment fund for \$500 million (2023). Economy. 28.02.2023. – Retrieved from: <https://www.gazeta.uz/ru/2023/02/28/usb-azerbaijan/>.

14. Yuzbashiyyeva, G.Z., Abasova, S.H., Yuzbashiyyev, I.H. (2023). Innovative Factors' Influencing to Azerbaijan National Economy Transformation. International Journal of Applied Engineering and Technology, (ISSN: 2633-4828) Published in London, UK by Roman Science Publications, 5(4 December), 217-227. Retrieved from: <https://romanpub.com/jaetv5-4-2023.php>.

15. Yuzbashiyyeva, G. Z., Abasova, S. H., Yuzbashiyyev, I. H. (2023). Investments, profits and added value: comparative analysis of data from post-Soviet countries. Journal "Endless Light in Science" (Kazakhstan), 10, 129-139.

16. Yuzbashiyyeva, G.Z., Abasova, S.H., Yuzbashiyyev, I.H. (2024) Structural GDP growth rates: comparative analysis of indicators of Eurasian countries. Endless Light in Science» (Kazakhstan), 5, 1-15.

КУЛЬТУРА МЕНЕДЖМЕНТУ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Елизавета Кравчук

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7947-9576>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Олександр Крупський

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Харчова промисловість є однією з найважливіших і стратегічно значущих галузей економіки у багатьох країнах світу. Завдяки постійному попиту на продукти харчування, цей сектор відіграє ключову роль у забезпеченні життєвих потреб населення і в економічному розвитку країн. У сучасних умовах глобалізації, швидкої зміни технологій та вимог споживачів, культура менеджменту в харчовій промисловості стає важливим чинником успішної діяльності підприємств [10]. Вона визначається комплексом цінностей, принципів, підходів та практик, що використовуються для керування організацією, її персоналом, виробничим процесом та взаємодією зі споживачами та іншими зацікавленими сторонами [1].

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Метою даної роботи є дослідження культури менеджменту підприємств галузі харчової промисловості. Дослідження цієї теми є важливим для підприємств харчової промисловості, керівників, менеджерів, а також для студентів і науковців, які цікавляться проблемами управління та розвитку цієї стратегічної галузі економіки. Дане дослідження сприятиме розумінню ключових аспектів культури менеджменту в харчовій промисловості, а також допоможе виявити можливості для покращення стратегій управління на підприємствах цього сектора.

Результати

Культура менеджменту в харчовій промисловості представляє собою комплекс цінностей, підходів, практик та уявлень, що визначають спосіб управління підприємствами цієї галузі [7]. Ця культура базується на ряді факторів, які включають якість продукції, безпеку їжі,

сталість виробництва, інноваційність та стійкість до змін [4, с. 12].

Перш за все, культура менеджменту в харчовій промисловості нерозривно пов'язана з якістю продукції. Підприємства цієї галузі повинні дотримуватися високих стандартів якості на кожному етапі виробництва, починаючи з вибору сировини та закінчуючи упаковкою готової продукції. Висока якість продукції в харчовій промисловості є важливим фактором успіху та забезпечує довіру споживачів до бренду. Культура менеджменту в цій галузі включає в себе не лише виробничі аспекти, але й пильний контроль якості на кожному етапі виробництва, щоб забезпечити відповідність найвищим стандартам і вимогам споживачів. По-друге, безпека їжі є однією з ключових складових культури менеджменту в харчовій промисловості. Забезпечення безпеки продукції включає в себе дотримання санітарних та гігієнічних норм, контроль за вмістом шкідливих речовин у продуктах, а також ефективну систему відслідковування та вилучення небезпечних партій.

Крім того, культура менеджменту в харчовій промисловості передбачає постійну інноваційність та вдосконалення. Швидкі зміни в смаках споживачів, технологіях виробництва та вимогах ринку вимагають від підприємств постійного вдосконалення своїх продуктів та процесів [2, с. 20]. Сталість виробництва є ще одним важливим аспектом культури менеджменту в харчовій промисловості. Підприємства повинні мати стабільні процеси виробництва, що дозволяє їм забезпечувати постійну якість продукції та вчасну поставку на ринок. Сталість виробництва в харчовій промисловості вимагає комплексного підходу та системного управління, спрямованого на забезпечення постійної якості продукції та задоволення потреб споживачів.

У цілому, культура менеджменту в харчовій промисловості є важливим фактором успіху підприємств у цій галузі. Вона визначає спосіб діяльності підприємств, їхні цінності та підходи до управління, що відіграє вирішальну роль у досягненні конкурентних переваг. Враховуючи змінність смаків і вимог споживачів, культура менеджменту в харчовій промисловості також сприяє постійному вдосконаленню продукції та реагуванню на зміни в ринкових умовах. Ефективна культура менеджменту є важливим інструментом для досягнення успіху підприємств у цій важливій галузі.

Сучасні дослідження в галузі менеджменту, проведені як в Україні, так і за кордоном, настійно підтверджують важливість приділення уваги керівництвом підприємств внутрішнім чинникам розвитку, зокрема, організаційній культурі [9]. «Організаційна культура визначається як певний набір цінностей і норм, які є загальними для окремих осіб і груп в організації, а також спосіб, в який вони взаємодіють між

собою та із зацікавленими сторонами поза межами компанії» [9, с. 36]. Організаційна культура, яка втілює в собі успішні, життєздатні практики, що випробували часом, у своєму розумінні відображається у способі мислення, поведінці, прийнятті рішень та взаємодії всередині підприємства. Вона є не просто набором правил і процедур, але відображенням цінностей та підходів, які визначають індивідуальність організації [3, с. 60].

Організаційна культура стає ключовим мотиваційним ресурсом економічного розвитку. Поширення практики використання концепції організаційної культури на підприємствах в Україні обумовлене важливими факторами. Зростання конкуренції в економічному середовищі вимагає від підприємств не лише зовнішньої адаптації, але й внутрішніх перетворень для забезпечення стійкої конкурентоспроможності. В цьому контексті організаційна культура стає важливим фактором, що сприяє досягненню успіху. Позитивна організаційна культура сприяє підвищенню ефективності праці, залученню та утриманню кваліфікованих кадрів. Використання концепцій, що базуються на загальнолюдських цінностях, сприяє створенню універсальних принципів управління, які враховують специфіку національного бізнесу та культурних особливостей. Це дозволяє підприємствам залучати та утримувати перспективних співробітників, а також підвищуючи ступінь їхньої мотивації. Дослідження організаційної поведінки набуває все більшої значущості в умовах постійних змін та нестабільності. Розуміння внутрішніх процесів в організаціях, факторів, що впливають на міжособистісні відносини та розвиток команд, дозволяє менеджменту ефективно прогнозувати та управляти змінами, а також вчасно реагувати на проблеми, які виникають. Світова тенденція до демократизації та співпраці у процесі організаційних змін відображається і в українському бізнес-середовищі. Перехід до більш відкритих форм управління та залучення співробітників до прийняття рішень сприяє підвищенню внутрішньої мотивації та створенню сприятливого клімату для творчості та інновацій.

Зростанню значення організаційної культури в управлінні підприємствами харчової промисловості обумовлене рядом факторів, які впливають на їхню діяльність та конкурентоспроможність. Інтеграція України у світовий економічний простір створює потребу у відповідності до міжнародних стандартів управління, включаючи аспекти організаційної культури. При цьому, підприємства зобов'язані враховувати й адаптуватися до нових вимог, що може вимагати перегляду та удосконалення існуючих культурних практик. Високий ступінь зносу основних засобів та їх моральне старіння ставлять підприємства перед завданням швидкої адаптації та модернізації. Це вимагає активної

ролі людського капіталу та розвитку організаційної культури, оскільки успішна впровадження нових технологій чи процесів залежить від готовності персоналу до змін та зміння пристосовуватися до нових умов. Значні фінансові труднощі, з якими стикаються підприємства харчової промисловості, підсилюють необхідність максимальної мобілізації всіх внутрішніх ресурсів. Це включає не лише фінансові ресурси, а й ресурси людського потенціалу та організаційної культури. Забезпечення конкурентоспроможності на ринку вимагає від підприємств не лише ефективного управління фінансами, а й гнучкості, інноваційності та відкритості до змін, що визначається рівнем розвитку їх організаційної культури. [6, с. 199-200].

Ми вважаємо що сучасна культура менеджменту підприємств харчової промисловості тяжіє до Латиноамериканської культурної групи GLOBE за визначенням [8], та характеризується:

- орієнтацією на сім'ю;
- високими рівнем дистанціювання від влади;
- низьким рівнем внутрішньогрупового колективізму;
- низьким рівнем інституційного колективізму.

Що може призвести до зниження ефективності, обмеження інновацій, проблем у комунікації та кооперації, а також до проблем у підтримці продуктивності та мотивації працівників. Для вирішення цих проблем необхідно підвищувати рівень співпраці, заохочувати відкриту комунікацію та стимулювати командну роботу, а також розвивати справедливі та прозорі процедури у прийнятті рішень. А це в свою чергу приводить до зниження інвестиційної привабливості підприємств харчової промисловості України [5].

Висновки

Таким чином, розвиток культури менеджменту в харчовій промисловості передбачає постійне вдосконалення стратегій управління, впровадження сучасних підходів та технологій, а також наголос на розвиток людського капіталу та корпоративної культури. Важливо також забезпечити взаємодію між підприємствами, галузевими організаціями та державними установами з метою спільногорішення викликів та проблем, що виникають у харчовій промисловості. Спільна робота дозволяє ефективніше вирішувати виклики та проблеми, що виникають у харчовій промисловості, такі як забезпечення якості продукції, впровадження стандартів безпеки та здоров'я, а також вплив на екологію та сталість розвитку. Посилення взаємодії сприятиме обміну досвідом та ресурсами, що сприятиме загальному підвищенню конкурентоспроможності галузі.

ПОСИЛАННЯ

1. Абдулаєв, К. Н. (2015). Корпоративне управління: процеси, стратегії, технології: колективна монографія. Х.: ХДУ, 536 с.
2. Гавкалова, Н. Л. (2019). Формування соціально-економічного механізму ефективності менеджменту персоналу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. екон. наук: спец. 08.00.04 «Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)». Харків, 28 с. Retrieved from: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/593>.
3. Захарчин, Г. М. (2014). Передумови розвитку організаційної культури на підприємстві в умовах глобалізації. Економічний простір. 2014. №231. С. 57-63.
4. Пашинська, Г. А. (2018). Виробництво харчових продуктів і напоїв: статистичний збірник. 90 с.
5. Перегуда, Р. В., & Стасюк, Ю. М. (2018). Інвестиційна привабливість підприємств харчової промисловості України. Економіка і суспільство, 17, 314-321. Retrieved from: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/06/Ekonomika-i-suspilstvo-17-2018.pdf#page=314>.
6. Хаєт, Г.Л., Єськов, О.Л. (2013). Корпоративна культура: навч. посіб. К: Центр навч. літератури, 2013. 403 с.
7. Харчишина, О. В. (2011). Формування організаційної культури в системі менеджменту підприємств харчової промисловості : Монографія. Житомир: Вид-во Житомирського державного університету ім. І Франка, 289 с. Retrieved from: <http://eprints.zu.edu.ua/8427/>.
8. Hudoshnyk, O. V., & Krupskyi, O. P. (2023). Media Possibilities of Comics: Modern Tools for the Formation and Presentation of Organizational Culture. European Journal of Management Issues, 31(1), 40-49. <https://doi.org/10.15421/192304>.
9. Krupskiy, O. P. (2014). Organizational culture: nature, types, peculiarities of implementation in Ukraine. Economic Bulletin of the National Mining University scientific journal, 45(45), 29-38.

STRATEGIC BUSINESS MANAGEMENT IN THE DIGITAL ECONOMY

Tetiana Grynko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7882-4523>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Tetiana Hviniashvili

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7961-2549>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

In the conditions of globalization processes in all spheres of social development, strategic management becomes especially relevant for Ukrainian enterprises. The digital economy makes significant adjustments to the management model of business structures. The formation of digital platforms based on cloud technologies requires deep changes in management systems at all levels, in particular, in the relationship between manufacturers, suppliers and consumers.

OBJECTIVE AND TASKS

The theoretical foundations of strategic enterprise management are based on scientific research that was actively developed in the 1980s and 1990s. The terminology of this direction was known as early as the middle of the 20th century, when economic agents began to realize the problems of the influence of the external environment on their activities.

Methods and models of enterprise management were developed at the beginning of the last century as a result of the work of such scientists as F. Taylor, G. Gant, C. Bernard and others. In their studies, planning was seen as one of the main functions of management, mostly of a short-term nature, and was expressed in the form of budgeting and control. However, with the advent of the scientific and technological revolution and multinational companies, there was a need for long-term planning and future-oriented management. This led to an increase in the number of studies in this area, which determined the essence of strategic management. Among the first foreign researchers were A. Thompson, A.J. Strickland, M. Mescon, M. Albert, F. Hedoury, I. Ansoff, G. Mintzberg, P. Drucker, M. Porter, A. Chandler, K. Bowman. Ukrainian scientists also contributed to the development of this area, including I. Yepifanova, O. Vikhanskyi, N. Shershnyova, I. Teslenok, I. Otenko, O. Pashchenko, L. Zabrodska, O. Hudz, T. Gavrylenko, D. Gorelov, S. Dovbnya, A. Zub, Yu. Kostenyuk, I.

Romanova, M. Savchenko and others.

MATERIALS AND METHODS

The significant scientific output of scientists gives reason to assert that the problem of implementation and realization of strategic management of the enterprise is relevant and transforming and needs further research. However, the influence of the digital economy on management processes and the role of a strategic approach in ensuring the successful development of an enterprise remain debatable, in particular, issues related to the development of new models and the construction of strategic scenarios of enterprise management in new economic realities, especially in the conditions of digital transformations.

RESULTS

Strategic management ensures informed management decision-making, focuses on the development of strategic plans, their evaluation, and encourages business structures to use modern management methods and tools. In general, the strategic management model has a cyclical nature and includes the following five stages: defining the mission and goals of the enterprise; strategic analysis; choosing a development strategy; strategy implementation; control and assessment of strategy implementation results [6] (Fig. 1).

According to the results of an analytical review of scientific and professional literature on strategic management, it should be noted that today there are a large number of strategic management models, which mainly have the form of block diagrams or graphs and differ from each other in the number, sequence and content of stages.

In the conditions of the digital economy, the speed and flexibility of an economic entity's response to changes is increasing [3]. Therefore, none of the existing classic models can be used in their original form, because they do not always take into account the dynamics and complexity of the modern business environment. The digital economy requires enterprises to combine different approaches, flexibility in decision-making and constant adaptation to changes, which allows to ensure a competitive advantage in the market [2].

It should be noted that strategic management in itself does not guarantee success, since an enterprise that uses strategic management in its activities may fail. To make a decision, it is necessary to: have a clearly formulated goal or task; have alternative strategy options; take into account factors that differ for different alternatives when choosing one of the

alternatives [5]. In order to ensure the effectiveness of strategic management, a model of strategic management should be developed for each economic entity, which takes into account the peculiarities of functioning and strategic goals and development priorities.

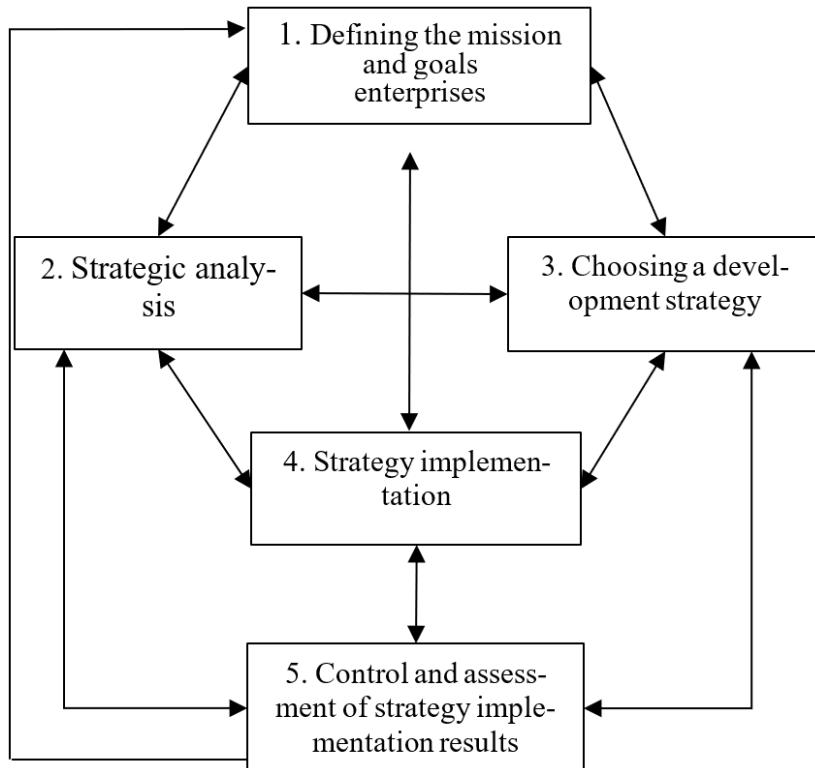


Figure 1 – Model of strategic enterprise management [6]

Since any enterprise functions as an open system and interacts with the external environment, any management actions aimed at changing the situation in the desired direction can change both the resource state of the enterprise internally and the external environment. Accordingly, achieving strategic goals and solving management tasks can be considered as a way of obtaining the desired result and minimizing undesirable situations. The management subsystem must rationally use a set of resources in order to achieve development goals. The value of resources at a certain time t is determined by the vector $r(t)$. By allocating appropriate types of resources, including financial, material, human, informational, $r(t)$ changes. But the

use of resources within a certain organization usually has its limitations, which is caused, first of all, by the insufficient amount of appropriate types of resources and the basic economic law of the development of any system. Therefore, the volume r_i is limited and can change during the entire process of management influence, i.e. $r_i(t) \in R_i(t)$, $t \in [t_0, t_1]$. The method of using or distributing resources during the entire management process is a functional strategy (resource), that is, a segment of the vector function $r[t_0, t_1] \in R[r]$, where $R[r]$ is determined by the constraints $R_i(t)$.

Management influence from the management subject is a sequence of signals, commands, instructions, etc., which lead to a strategy or allocation of resources $r[t_0, t_1] \in R[r]$. The influence of environmental factors $w(t)$ of the enterprise also changes the state of the system $x(t)$ during $[t_0, t_1]$. Accordingly, $w(t)$ is also bounded and these bounds are determined by the space $R[w]$. The system state parameters or the phase coordinates of the operation $x(t)$ are related by some formal or informal operator to the strategies r and w :

$$x(t) = F(x_0; t; r[t_0, t_1]; w[t_0, t_1]).$$

In this case, the effectiveness of the strategy is evaluated by the finite set of goals achieved with the given parameters $r_i(t)$ and $w(t)$ on the interval $[t_0, t_1]$. Such assessment takes into account various aspects, such as the implementation of set strategic guidelines, use of resources, compliance with market conditions of operation and achievement of desired results. The finite set of objectives means the set of objectives that have been achieved or can be achieved thanks to the implementation of a certain strategy. These goals can be different: increasing profitability, market growth, increasing competitiveness, improving reputation, etc. Given the given parameters, it means that the evaluation of the effectiveness of the strategy takes into account the conditions and circumstances under which it was developed and implemented. These parameters may include financial constraints, competitive market conditions, political and legal conditions, technological progress, etc.

CONCLUSIONS

Therefore, in the conditions of globalization and digital transformation of society, strategic management becomes a key element of successful activity of Ukrainian enterprises. Considering the high turbulence and complexity of the modern business environment, as well as the conditions of the digital economy, traditional models of strategic management need to be adapted and combined with new approaches in order to ensure the competitiveness of enterprises on the market. The conditions of the digital economy require enterprises to quickly respond to changes and be flexible

in management. Thus, strategic management should be able to combine different approaches, as well as ensure constant adaptation to new market conditions and requirements. In addition, in the conditions of limited resources and constant changes in the external business environment, an important aspect of strategic management is the effective use of limited resources of the enterprise, which determines the special features of the enterprise management strategy.

REFERENCES

1. Buzhimska, K. O., & Zhelikhovska, M. V. (2021). Modern trends and models of entrepreneurship development in the conditions of the digital economy. *Entrepreneurship and trade*, 28, 15–19.
2. Grynko, T., Gviniashvili, T., & Kaliberda, M. (2023). Strategic management of the enterprise in the conditions of the digital economy. *Economy and society*, (50). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-71>
3. Panchuk, A., & Malkova, K. (2021). Theoretical foundations of forming a digital strategy of enterprises. *Economy and society*, (34). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-34-76>
4. Sazonova, S., & Novikov, D. (2023). Controlling of strategic management at enterprises in the conditions of the digital economy. *Taurian Scientific Bulletin*, (15), 201–208. <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.15.24>.
5. Tokmakova, I., Shatokhin, D., & Melnyk, S. (2018). Strategic management of the development of enterprises in the conditions of digitalization of the economy. *Bulletin of the economy of transport and industry*, (64), 283–291. <https://doi.org/10.18664/338.47.338.45.v0i64.149563>.
6. Thompson, A., & Strickland, A. (1998). *Strategic Management: Concepts and Cases*. McGraw-Hill Education.

RISK IN MANAGEMENT DECISIONS OF THE MODERN ORGANIZATION AND METHODS OF MANAGEMENT OF THIS RISK

Veronika Holomozenko

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1499-7609>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Yuliia Stasiuk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-8658>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Risk management is a crucial aspect of decision-making in modern organizations [1, 10]. The ability to identify, assess, and mitigate risks is essential for ensuring the success and sustainability of businesses. The development of economic culture in society helps to improve the quality of management decisions, which in turn can lead to sustainable economic growth, risk mitigation, and increased competitiveness [2]. Risk management is a critical aspect of organizational decision-making, as it involves identifying potential risks, assessing their impact, and implementing strategies to minimize their adverse effects. Understanding the nature of risks in management decisions and implementing effective risk management techniques is essential for organizations to achieve their objectives and sustain long-term success [9].

The main goal of the study is to present the results of a research study on the risk associated with management decisions in modern organizations and the methods available to manage and mitigate these risks.

Research objectives encompass identifying and classifying the various risks encountered by modern organizations, exploring methodologies for assessing and evaluating these risks within organizational frameworks, and researching the strategies and tactics utilized by organizations to mitigate such risks.

Modern organizations encounter a diverse range of risks that impact decision-making processes. In management decisions, various types of risks can affect the outcome and success of organizational initiatives [11]. Here are some common types of risks encountered in management decisions:

1) Financial risks relate to potential losses arising from financial market fluctuations, credit defaults, liquidity issues, or investment decisions. These risks can impact the organization's profitability, cash flow, and overall financial stability.

2) Operational risks stem from internal processes, systems, or human

error that may lead to disruptions, failures, or inefficiencies in business operations. Examples include supply chain disruptions, technology failures, employee errors, and regulatory compliance issues.

3) Strategic risks arise from strategic decisions or actions that may fail to achieve the organization's objectives or lead to unforeseen consequences. This can include entering new markets, launching new products, mergers and acquisitions, or changes in business direction.

4) Compliance risks refer to the potential for legal or regulatory violations that could result in fines, penalties, legal actions, or damage to the organization's reputation. This includes non-compliance with laws, regulations, industry standards, or ethical guidelines.

5) Reputational risks involve the potential harm to an organization's reputation or brand image due to negative publicity, customer complaints, ethical lapses, or scandals. These risks can erode customer trust, investor confidence, and stakeholder relationships.

6) Market risks relate to changes in market conditions, including shifts in demand, competition, technology, or consumer preferences, which may impact the organization's sales, market share, and competitive position.

7) Cybersecurity risks have become prominent with the increasing reliance on digital technologies. These risks involve the potential for data breaches, hacking attacks, malware infections, or other cyber threats that could compromise sensitive information, disrupt operations, or damage the organization's reputation.

8) Environmental risks pertain to the potential impact of environmental factors such as climate change, natural disasters, pollution, or resource depletion on the organization's operations, supply chain, or regulatory compliance.

9) Political and regulatory risks arise from changes in government policies, trade regulations, tax laws, or geopolitical events that may affect the organization's business environment, market access, or international operations.

10) Supply chain risks involve disruptions or vulnerabilities within the supply chain, such as supplier failures, transportation delays, quality issues, or geopolitical instability, which may impact the organization's ability to deliver products or services to customers.

Understanding and effectively managing these various types of risks is essential for making informed and strategic management decisions that promote organizational resilience, sustainability, and long-term success.

To effectively manage risks, organizations must first assess and quantify the potential impact and likelihood of various risks. This involves employing a range of risk assessment techniques, including quantitative methods such as statistical analysis, probabilistic modeling, and sensitivity

analysis, as well as qualitative approaches such as risk matrices, scenario analysis, and expert judgment. By systematically evaluating risks, organizations can prioritize their responses and allocate resources more effectively [3].

Established risk management frameworks provide organizations with structured approaches for identifying, assessing, and responding to risks. These frameworks, such as the COSO Enterprise Risk Management (ERM) framework and the ISO 31000 Risk Management Standard, offer guidelines and best practices for integrating risk management into organizational processes and decision-making. By adopting a comprehensive risk management framework, organizations can enhance their ability to anticipate and mitigate risks across all levels of the organization.

Effective decision-making in the face of uncertainty is a critical aspect of risk management. Organizational leaders must navigate complex and ambiguous situations, weighing potential risks against potential rewards. This requires a combination of analytical rigor, strategic foresight, and adaptive thinking. By employing decision-making models such as the rational decision-making model, behavioral economics perspectives, and scenario planning, organizations can make more informed and resilient decisions in the presence of risk [4].

The risk management process should include five main stages: identification, analysis and evaluation, mitigation, and monitoring. However, it should be noted that these five stages can be effectively covered only if the required level of professional skills [6; 7] and a supportive organizational culture [12] are present. Once risks have been identified and assessed, organizations must implement appropriate risk mitigation strategies to minimize their potential impact. These strategies may include risk avoidance, risk reduction, risk transfer, and risk acceptance. Additionally, organizations can leverage various tactics such as diversification, insurance, hedging, contingency planning, and strategic partnerships to manage specific risks more effectively. By implementing a proactive risk management strategy, organizations can enhance their resilience and adaptability in the face of uncertainty.

Advancements in technology have transformed the landscape of risk management, providing organizations with powerful tools and capabilities for identifying, monitoring, and responding to risks in real-time. Technologies such as risk management software, data analytics, artificial intelligence, and machine learning enable organizations to analyze vast amounts of data, detect patterns and trends, and automate risk assessment processes. By leveraging technology-driven solutions, organizations can enhance the efficiency, accuracy, and agility of their risk management practices [3].

The culture of an organization plays a significant role in shaping its

approach to risk management. A culture that values transparency, accountability, and continuous improvement fosters open communication, collaboration, and risk awareness among employees. Conversely, a culture that prioritizes short-term gains over long-term sustainability may encourage risk-taking behavior and undermine effective risk management efforts. By promoting a positive risk culture and embedding risk management principles into the fabric of the organization, leaders can cultivate a resilient and risk-aware workforce [5].

Regulatory compliance represents a critical aspect of risk management for modern organizations, particularly in highly regulated industries such as finance, healthcare, and energy [8]. Organizations must navigate a complex and ever-evolving landscape of laws, regulations, and industry standards to ensure compliance and mitigate legal and regulatory risks. This requires robust governance structures, internal controls, and monitoring mechanisms to detect and address compliance issues proactively. By aligning risk management practices with regulatory requirements, organizations can minimize legal exposure and safeguard their reputation and integrity.

As organizations evolve and adapt to changing market dynamics and technological advancements, they must also anticipate and prepare for emerging risks and future trends. This includes geopolitical risks, cybersecurity threats, climate change, supply chain disruptions, and other emerging challenges that have the potential to impact organizational resilience and sustainability. By staying vigilant and proactive, organizations can identify and address emerging risks early, thereby minimizing their potential impact and capitalizing on new opportunities for growth and innovation.

In conclusion, the effective management of risk in management decisions is essential for the long-term success and sustainability of modern organizations. By adopting a proactive and systematic approach to risk management, organizations can enhance their ability to anticipate, assess, and respond to risks effectively. Through the integration of established frameworks, strategic approaches, and emerging technologies, organizations can build resilience, adaptability, and competitive advantage in the face of uncertainty. As organizations continue to navigate an increasingly complex and interconnected business environment, the importance of effective risk management will only continue to grow.

REFERENCES

1. Гринько, Т.В. (Ред). (2023). *Підприємництво: сучасні виклики, тренди та трансформації*: моногр. Видавець Біла К. О.
2. Стасюк, Ю. М. (2009). Формування економічної культури молодого

фахівця. Особистість у просторі культури: Матеріали Всеукраїнського науково-практичного симпозіуму, 24, 100-102.

3. Kabachenko, D. V. (2017). Pryiniattia upravlingskykh rishen v umovakh nevyznachenosti ta ryzyku [Making management decisions in conditions of uncertainty and risk]. *Ekonomichnyi visnyk* [Economic Herald], 2, pp. 107-115.
4. Reshetyo, V.P., & Fedotova, Yu. V.(2020). Nevyznachenist ta ryzyk: spivvidnoshennia poniat ta spetsyfika pryiniattia rishen [Uncertainty and risk: relationship of concepts and specificity of decision-making]. *Ekonomika ta upravlinnia pidpryiemstvamy* [Economics and enterprise management], 3(77), pp. 149-154.
5. Makhun, A.P. (2023). Metody pryiniattia upravlingskykh rishen v umovakh nevyznachenosti [Methods of making management decisions under conditions of uncertainty]. *Biznes. Innovatsii. Menedzhment: problemy ta perspektyvy* [Business. Innovations. Management: problems and prospects]: zb. tez IV Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (pp. 44-45).
6. Hromtseva, D. K., & Krupskyi, O. P. (2015). Професійна культура і безпека: інноваційний підхід до впровадження в медичному закладі. *European Journal of Management Issues*, 5, 15–23. <https://doi.org/10.15421/191517>.
7. Крупський, О. П., & Стасюк, Ю. М. (2010). Особистість у просторі економічної культури. Особистість у просторі культури: Матеріали II Севастопольського Міжнародного науково-практичного симпозіуму 23 вересня 2010 р. Севастополь: Рібест, 45-46.
8. Hardy, K. (2014). *Enterprise risk management: A guide for government professionals*. John Wiley & Sons.
9. Yatsenko, O., Nitsenko, V., Mardani, A., Streimikiene, D., & Tananaiko, T. (2019). Global Risks of Trade and Economic Cooperation of Ukraine with Countries of the Northern American Region. *Montenegrin Journal of Economics*, 15(3), 217-225. <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2019.15-3.16>.
10. Гринько, Т. В., & Гвініашвілі, Т. З. (2014). Економічна сутність та етапи управління змінами на підприємстві. У Гринько Т.В. (Ред). *Управління розвитком підприємства в інтеграційних умовах*: кол. монографія. (с.142-154.)
11. Zollo, M., Minoja, M., & Coda, V. (2018). Toward an integrated theory of strategy. *Strategic Management Journal*, 39(6), 1753-1778. <https://doi.org/10.1002/smj.2712>.
12. Krupskiy, O. P. (2014). Organizational culture: nature, types, peculiarities of implementation in Ukraine. *Economic Bulletin of the National Mining University scientific journal*, 45(45), 29-38.

Концептуальна модель удосконалення неакадемічного студентацького досвіду в умовах цифрової трансформації вищої освіти

Роман Павлов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7629-2730>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Тетяна Павлова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7178-3573>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Динамічні зміни у сфері вищої освіти, спричинені процесами глобалізації, цифровізації та трансформації запитів сучасних студентів, актуалізували проблему адаптації університетів до нових умов функціонування. Особливого значення в цьому контексті набуває неакадемічний студентський досвід, що охоплює широкий спектр аспектів студентського життя, не пов'язаних безпосередньо з навчанням. Саме неакадемічний досвід багато в чому визначає сприйняття студентами університетського середовища, їхню задоволеність, залученість та успішність (Ciobanu, 2013; Павлов & Павлова, 2024). При цьому ключову роль у формуванні цього досвіду відіграють специфічні потреби, очікування та цінності сучасного покоління студентів, відомого як «покоління Z» або «цифрові аборигени». Виникає необхідність у розробленні концептуальної моделі вдосконалення неакадемічного студентацького досвіду з урахуванням особливостей студентів нового покоління та викликів цифрової трансформації вищої освіти.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Метою даного дослідження є розробка концептуальної моделі вдосконалення неакадемічного студентацького досвіду в умовах цифрової трансформації вищої освіти на основі аналізу потреб та очікувань студентів покоління Z.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати наявні теоретичні підходи до вивчення неакадемічного студентацького досвіду та чинників, що впливають на його формування.

2. Систематизувати специфічні характеристики та особливості студентів покоління Z, значущі для проєктування неакадемічного досвіду.
3. Обґрунтувати ключові компоненти концептуальної моделі вдосконалення неакадемічного студентського досвіду та принципи їхнього взаємозв'язку.
4. Визначити організаційно-педагогічні умови впровадження запропонованої моделі в практику університетів у контексті цифрової трансформації вищої освіти.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Методологічним підґрунтам дослідження виступають системний, студентоцентрований і середовищний підходи до проєктування освітнього процесу у вищій школі. Теоретичне підґрунтя роботи склали праці науковців, присвячені проблематиці студентського досвіду (Benckendorff, Ruhanen & Scott, 2009; Kahu, Picton & Nelson, 2019; Temple et al., 2022), особливостям покоління Z (Hernandez-de-Menendez et al., 2020) і трендам цифрової трансформації університетів (Zhao et al., 2022). Під час дослідження застосовувалися методи теоретичного аналізу та синтезу, моделювання, узагальнення та систематизації наукової інформації.

РЕЗУЛЬТАТИ

На основі аналізу та узагальнення теоретичних підходів до вивчення неакадемічного студентського досвіду можна виокремити такі ключові чинники, що визначають його формування в сучасних умовах:

- 1) індивідуально-психологічні особливості студентів (цінності, мотивація, стиль мислення);
- 2) соціокультурні характеристики студентського контингенту (ідентичність покоління, міжкультурний бекгаунд);
- 3) організаційне середовище університету (інфраструктура кампусу, сервіси підтримки студентів, корпоративна культура);
- 4) цифрові технології та платформи, що використовуються в освітньому процесі та студентському житті.

Важливим чинником формування сприятливого неакадемічного досвіду є організаційна культура (Krupskiy, 2014), орієнтована на підтримку студентства. Культивування цінностей співробітництва, відкритості до інновацій, різноманіття форм самореалізації студентів сприяє їхньому позитивному сприйняттю університетського

середовища та активній участі в позанавчальних ініціативах.

Систематизація специфічних характеристик студентів покоління Z дала змогу визначити їхні ключові потреби та очікування в контексті неакадемічного досвіду:

- 1) персоналізація та адаптивність університетських послуг і сервісів;
- 2) інтерактивність і гейміфікація позанавчальних активностей;
- 3) інтеграція фізичного та цифрового просторів кампусу;
- 4) розширення можливостей для нетворкінгу та спільних проєктів;
- 5) проактивна психологічна та кар'єрна підтримка.

Перспективним напрямом збагачення неакадемічного досвіду студентів може стати більш активне використання коміксів як захопливого та наочного засобу подання інформації (Павлов, Павлова & Левкович, 2019; Hudoshnyk & Krupskyi, 2022). Включення елементів комікс-культури в дизайн сервісів підтримки, навігацію кампусом, брэндинг позанавчальних активностей сприятиме підвищенню заљученості студентів покоління Z.

Аналіз найкращих університетських практик щодо вдосконалення неакадемічного досвіду дозволив виявити спектр інноваційних рішень, спрямованих на задоволення актуальних потреб студентів покоління Z. Серед них можна відзначити:

- 1) інтелектуальні системи навігації кампусом і пошуку необхідних ресурсів на базі технологій штучного інтелекту;
- 2) адаптивні рекомендаційні сервіси, які пропонують студентам персоналізовані траєкторії позанавчальної активності з урахуванням їхніх інтересів і цілей розвитку;
- 3) ігрові механіки та елементи віртуальної реальності, інтегровані в дизайн неакадемічних заходів і сервісів (Павлов, 2011);
- 4) цифрові платформи для підтримки студентських ініціатив і соціального проектування.

Досвід університетів-лідерів свідчить про важливість системного підходу до трансформації неакадемічного середовища на принципах студентоцентричності, варіативності та відкритості.

З урахуванням виявлених чинників та особливостей студентів покоління Z розроблено концептуальну модель удосконалення неакадемічного студентського досвіду, що включає такі структурні блоки:

1. Ціннісно-цільовий блок, що визначає стратегічні орієнтири та принципи вдосконалення неакадемічного досвіду в умовах цифрової трансформації (студентоцентричність, персоналізація, інноваційність, відкритість).
2. Суб'єктний блок, що характеризує ролі та патерни взаємодії

ключових стейкхолдерів неакадемічного досвіду:

- студентів як активних спів-дизайнерів досвіду;
- викладачів і співробітників як провайдерів сервісів підтримки;
- адміністрації як організаторів сприятливого університетського середовища;
- роботодавців і випускників як партнерів з формування актуального досвіду.

3. Змістовний блок, що розкриває основні напрями та компоненти проєктування неакадемічного досвіду:

- цифрову екосистему університету, що інтегрує сервіси адміністративної, навчальної, психологічної підтримки;
- адаптивну інфраструктуру кампусу (коворкінги, проєктні простори, зони відпочинку та нетворкінгу);
- інтерактивні формати позанавчальних активностей (хакатони, гейміфіковані квести, воркшопи);
- персоналізовані траєкторії розвитку soft skills на базі сервісів аналітики даних.

4. Технологічний блок, що включає спектр цифрових інструментів і платформних рішень для вдосконалення неакадемічного досвіду:

- мобільні додатки для доступу до сервісів і подій кампусу;
- VR/AR технології для імерсивних освітніх та просоціальних активностей;
- чат-боти та цифрові асистенти для інформаційної та психологічної підтримки;
- аналітичні інструменти (LA, EDM) для моніторингу досвіду та персоналізації сервісів.

5. Результативний блок, що визначає критерії та методи оцінювання ефективності моделі:

- показники задоволеності студентів неакадемічним досвідом;
- рівень академічної та соціальної заличеності студентів;
- динаміка розвитку надпрофесійних компетенцій і кар'єрного потенціалу;
- лояльність студентів до університету як бренду та соціального ліфта.

Практична реалізація запропонованої моделі в діяльності університетів передбачає комплекс організаційно-педагогічних умов:

- 1) дизайн цифрової екосистеми університету на принципах модульності, кастомізації та омніканальності сервісів;
- 2) розробка персоналізованих траєкторій студентського досвіду на базі технологій штучного інтелекту;
- 3) трансформація фізичних просторів кампусу в гнучкі багатофункціональні зони для співтворчості та самореалізації;

- 4) формування цифрових компетенцій викладачів і співробітників сервісів підтримки;
- 5) заличення студентів до процесів проєктування, просування та оцінювання неакадемічних сервісів.

Висновки

Розроблена концептуальна модель удосконалення неакадемічного студентського досвіду має цілісний і динамічний характер, інтегруючи ключові чинники формування досвіду (індивідуальні особливості студентів, соціокультурний контекст, організаційне середовище, цифрові рішення) та враховуючи актуальні запити студентів покоління Z. Структурні блоки моделі (цільовий, суб'ектний, змістовний, технологічний, результативний) у сукупності забезпечують системне проєктування, реалізацію та оцінювання неакадемічного досвіду в логіці студентоцентричності, персоналізації та інноваційності.

Впровадження моделі пов'язане з масштабуванням цифрової інфраструктури університету, переходом до персоналізованих сервісів підтримки, інвентаризацією ресурсів кампусу, розвитком проактивного партнерства з ключовими стейкхолдерами. Це дасть змогу закладам вищої освіти формувати сприятливу екосистему неакадемічного досвіду, забезпечуючи високий рівень задоволеності, самореалізації та лояльності студентів у контексті викликів цифрової економіки.

Напрями подальших досліджень включають емпіричну верифікацію моделі, порівняльний аналіз кейсів її реалізації в різних університетських контекстах, оцінювання синергетичних ефектів удосконалення неакадемічного досвіду для індивідуальної успішності студентів та організаційної ефективності університетів загалом.

Посилання

1. Павлов, Р. А. (2011). Вплив світової фінансової кризи на економіку віртуального світу Second Life. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики*, 2(11), 309–316. Retrieved April, 12, 2024 from <https://fkd.net.ua/index.php/fkd/article/view/2691/2732>
2. Павлов, Р. А., & Павлова, Т. С. (2024). Неакадемічний студентський досвід в умовах постмодернізму. *European Journal of Management Issues*, 32(1), 44–58. <https://doi.org/10.15421/192405>
3. Павлова, Т.С., Павлов, Р.А., & Левкович, О.В. (2019). Моделі споживання коміксів як варіант постмодерністської соціально-економічної комунікації. In T.В. Гринько (Ed.), *Управління розвитком суб'єктів підприємництва в умовах викликів ХХІ століття* (pp. 313–324).

Біла К.О.

4. Benckendorff, P., Ruhanen, L., & Scott, N. (2009). Deconstructing the Student Experience: A Conceptual Framework. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 16(1), 84–93. <https://doi.org/10.1375/jhtm.16.1.84>
5. Ciobanu, A. (2013). The Role of Student Services in the Improving of Student Experience in Higher Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 92, 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.654>
6. Hernandez-de-Menendez, M., Escobar Díaz, C. A., & Morales-Menendez, R. (2020). Educational experiences with Generation Z. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 14(3), 847–859. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00674-9>
7. Hudoshnyk, O., & Krupskyi, O. P. (2022). Science and comics: from popularization to the discipline of Comics Studies. *History of Science and Technology*, 12(2), 210–230. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-2-210-230>
8. Kahu, E. R., Picton, C., & Nelson, K. (2019). Pathways to engagement: a longitudinal study of the first-year student experience in the educational interface. *Higher Education*, 79(4), 657–673. <https://doi.org/10.1007/s10734-019-00429-w>
9. Krupskiy, O. P. (2014). Organizational culture: nature, types, peculiarities of implementation in Ukraine. *Economic Bulletin of the National Mining University scientific journal*, 45(45), 29–38. Retrieved April, 12, 2024 from https://ev.nmu.org.ua/docs/2014/1/EV20141_029-038.pdf
10. Temple, P., Callender, C., Grove, L., & Kersh, N. (2016). Managing the student experience in English higher education: Differing responses to market pressures. *London Review of Education*, 14(1). <https://doi.org/10.18546/lre.14.1.05>
11. Zhao, Y., Pinto Llorente, A. M., & Sánchez Gómez, M. C. (2021). Digital competence in higher education research: A systematic literature review. *Computers & Education*, 168, 104212. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104212>

THE PERSONNEL MANAGEMENT SYSTEM OF THE ORGANIZATION IN THE CONDITIONS OF MARTIAL LAW AND THE MAIN DIRECTIONS OF ITS IMPROVEMENT

Anastasiia Radchenko

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0837-8660>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Oleksii Dzhusov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8600-4122>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

In times of martial law, organizations face unique challenges in maintaining effective personnel management systems. The implementation of martial law often disrupts normal operations, posing significant hurdles for workforce management and organizational stability. Therefore, understanding and improving the personnel management system becomes imperative to ensure continuity and resilience in such challenging conditions.

This study delves into the intricate dynamics of personnel management within organizations operating under martial law. By examining the existing systems and practices, it aims to shed light on the specific challenges faced by organizations during these periods of heightened security and instability. Furthermore, this research endeavors to identify key areas for improvement within the personnel management framework, offering insights into strategies and interventions that can enhance organizational resilience and effectiveness.

Ultimately, the findings of this research endeavor to empower organizations to adapt, thrive, and effectively manage their workforce amidst the uncertainties of martial law.

OBJECTIVE AND TASKS

The objective of this study is to comprehensively analyze the personnel management system within organizations operating under martial law and to identify the main directions for its improvement.

Research objectives: 1) examine the specific challenges faced by organizations in managing personnel during periods of martial law; 2) explore best practices and strategies for enhancing the personnel management system in the context of martial law; 3) develop recommendations

and guidelines for improving the personnel management system to ensure organizational resilience and effectiveness in times of martial law.

MATERIALS AND METHODS

A thorough review of relevant academic literature, scholarly articles, books, and reports on personnel management, crisis management, and martial law will be conducted to establish a theoretical framework and gain insights into existing knowledge and practices.

Case studies of organizations operating under martial law were analyzed to understand their experiences, challenges faced and HR management strategies during this period.

RESULTS

The personnel management system of an organization under conditions of martial law presents unique challenges that require careful examination and strategic planning. In times of heightened security and uncertainty, effective management of personnel becomes essential for maintaining organizational stability and resilience [4]. This study aims to investigate the personnel management system within organizations operating under martial law and to identify the main directions for its improvement.

Under martial law, organizations often face disruptions to normal operations, increased security measures, and heightened tensions in the external environment. These conditions can significantly impact the management of personnel, including recruitment, retention, training, and performance evaluation. Therefore, understanding the specific challenges faced by organizations in managing personnel during martial law is crucial for developing targeted interventions and strategies for improvement.

During periods of martial law, organizations encounter numerous challenges in effectively managing personnel. Firstly, there's restricted movement and communication due to strict regulations imposed under martial law. Employees may face difficulties commuting to work, attending meetings, or communicating with colleagues, disrupting workflow and collaboration.

Secondly, heightened security concerns require organizations to prioritize employee safety. Implementing additional security measures such as surveillance and restricted access to facilities can create a tense environment, impacting employee morale.

Thirdly, the suspension of civil liberties poses ethical dilemmas for organizations. Balancing security needs with respect for individual rights, especially freedom of assembly and expression, becomes challenging.

The next, disruptions in supply chains due to increased security measures and transportation restrictions can lead to shortages and delays in production. Organizations must navigate these disruptions through proactive planning and collaboration with suppliers.

Lastly, the uncertainty and instability associated with martial law affect employee morale and well-being. Employees may experience heightened stress and anxiety, requiring organizations to provide support and resources to maintain morale. It is also important not to underestimate the impact of social networks on the psycho-emotional state of employees [1].

Assessing the effectiveness of existing personnel management systems and practices under martial law conditions involves evaluating their ability to address the unique challenges presented by such circumstances.

The effectiveness of personnel management systems can be evaluated based on their adaptability to changing circumstances and regulations imposed during martial law. Systems that can quickly adjust policies, procedures, and workflows to comply with new restrictions while maintaining productivity are considered more effective.

Effective communication is crucial during periods of martial law to ensure employees are informed about changes, regulations, and safety protocols. Assessing the clarity, frequency, and channels of communication within the organization can provide insights into the effectiveness of personnel management practices in keeping employees informed and engaged.

Personnel management systems should prioritize employee safety and security during martial law conditions. Evaluating the measures in place to ensure employee well-being, such as security protocols, emergency response plans, and access to resources, can indicate the effectiveness of these systems in protecting employees in challenging environments.

Personnel management systems must ensure compliance with martial law regulations and legal requirements while upholding employee rights and freedoms. Assessing the organization's adherence to relevant laws, regulations, and ethical standards can help determine the effectiveness of personnel management practices in navigating legal and ethical complexities [2].

Effective personnel management systems should maintain employee morale and engagement despite the challenges of martial law. Evaluating employee satisfaction, retention rates, and morale indicators can provide insights into the effectiveness of practices such as employee support programs, recognition initiatives, and opportunities for feedback and involvement.

Lastly, assessing the ability of personnel management systems to maintain operational continuity and productivity during martial law

conditions is essential. Systems that can sustain essential operations, manage workforce disruptions, and mitigate risks to organizational stability are considered more effective in ensuring business continuity.

In times of martial law, the personnel management system of any organization undergoes significant adaptations to effectively navigate the challenges posed by the situation. One primary focus lies in ensuring the safety and security of employees. This encompasses establishing robust protocols for emergency response, evacuation procedures, and maintaining communication channels for swift dissemination of critical information.

Additionally, there's a heightened emphasis on personnel readiness and resilience. Training programs are revamped to equip employees with the necessary skills to operate efficiently under stress and uncertainty. This might include crisis management training, first aid courses, and workshops on psychological resilience to help mitigate the impact of prolonged tension.

Moreover, there's a need for enhanced coordination and collaboration within the organization. Clear lines of authority and communication channels are established to facilitate rapid decision-making and response to evolving situations. Cross-functional teams may be formed to address specific challenges, fostering a sense of unity and shared responsibility among staff members.

Adaptability becomes paramount. The personnel management system must be flexible enough to accommodate fluctuations in staffing levels, resource allocations, and operational priorities dictated by the exigencies of martial law. This may involve implementing agile workforce planning strategies, contingency staffing arrangements, and remote work capabilities where feasible.

Fostering partnerships with external agencies is a crucial aspect of organizational preparedness and resilience in times of emergency, including during martial law. Collaborating with governmental bodies, local authorities, law enforcement agencies, and relevant stakeholders can provide organizations with invaluable resources, expertise, and support to navigate the evolving landscape of a state of emergency [3].

External agencies often possess specialized knowledge and resources that can complement an organization's internal capabilities. For instance, law enforcement agencies can offer guidance on security protocols and threat assessments, while governmental bodies may provide access to emergency funding or regulatory waivers to facilitate business continuity.

Moreover, partnerships with external agencies facilitate information-sharing and coordination efforts, enabling organizations to stay abreast of emerging threats, regulations, and best practices. This exchange of

information can enhance situational awareness and inform strategic decision-making, thereby bolstering the organization's ability to adapt swiftly and effectively to changing circumstances.

Finally, maintaining morale and motivation amidst the heightened tensions is crucial. Leaders play a pivotal role in providing guidance, reassurance, and support to employees during challenging times. Recognizing and rewarding exemplary performance, fostering a sense of camaraderie, and promoting open communication channels can all contribute to sustaining morale and fostering a sense of unity within the organization.

CONCLUSIONS

In conclusion, the personnel management system of an organization plays a crucial role in ensuring the safety, well-being, and productivity of employees during times of martial law. By implementing measures to enhance security, communication, flexibility, and compliance, organizations can navigate the challenges of martial law more effectively. Continuously improving the personnel management system through crisis planning, training, employee engagement, and partnerships with external agencies can help organizations adapt to the changing landscape of a state of emergency.

REFERENCES

1. Джига, Л., & Крупський, О. (2023). Роль соціальних мереж у процесі підбору персоналу в кризових умовах. *Challenges and Issues of Modern Science*, 1, 343-349. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/65>
2. Hrapkina, V. V. (2020). Upravlinnya konkurentospromozhnistyu pidpryyemstv. *Prychornomorski ekonomiczni studiyi*. (50). 245-248.
3. Partika I. V. (2021). Rozvytok personalu yak faktor efektyvnogo funktsionuvannya orhanizatsii. In Rybchuk A. V. (Red.) *Ekonomichnyi rozvytok derzhavy, rehioniv i pidpryyemstv: problemy ta perspektyvy: [kolektivna monohrafiya]*. Lviv: Vyadvnytstvo "Rastry-7".
4. Yuskiv N., & Prokhorovska S. (2020) Personal yak faktor stratehichnogo rozvytku orhanizatsii. Materialy Rehionalnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh ta studentiv "Marketynhovi tekhnolohiyi pidpryyemstv v suchasnomu naukovo-tehnichnomu seredovyshchi". Ternopil. URL: http://elartu.tntu.edu.ua/bit-stream/123456789/16367/2/Conf_2020_Yuskiv_NThe_staff_as_a_factor_in_251-254.pdf.

INNOVATIVE APPROACHES IN MARKETING FOR THE DEVELOPMENT OF THE TOURISM INDUSTRY

Yuliia Stasiuk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-8658>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Andrii Kobchenko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5095-6815>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Marketing innovations in tourism play a key role in attracting attention and meeting the needs of tourists [1]. Modern digitalization and the development of the Internet open new opportunities for marketing in tourism, which allows the effective use of various tools for the promotion and advertising of tourism services.

One of the main areas of marketing innovation in tourism is the use of the Internet and digital technologies [12]. Through their own websites, online representations, and online tour booking systems, travel companies can effectively communicate with customers, provide information about their services, and provide convenient access to booking and purchasing [13].

Marketing innovations also involve the use of social media and influential marketing channels to promote the brand and engage the audience. Content marketing, video marketing, interactive advertising campaigns - all these tools allow companies to create interesting and attractive content that attracts the attention of potential tourists.

Expenditures on marketing innovations in the tourism sector cover a wide range of activities aimed at developing and implementing new strategies and methods for promoting and advertising tourism services and products. These expenditures include not only the creation of new marketing concepts and campaigns, but also the introduction of innovative approaches to customer promotion and acquisition. In addition, marketing innovation expenses include the introduction of new customer relationship strategies, the development of loyalty programs and the creation of a unique brand of a travel company. These measures are aimed at attracting customers' attention, increasing their interest in services and creating a positive brand image in the eyes of consumers.

The tourism industry is a powerful driver of the global economy, as well as a way to share knowledge, culture, and experience [14, 15]. However, traveling is also associated with significant risks and consequences

related to sustainable development and environmental impact [16]. Biotechnology plays a key role in the innovative development of tourism, contributing to the creation of environmentally sustainable and healthy tourism products and services. These innovations not only improve the quality of tourism services, but also make them more attractive to modern travellers focused on sustainability and health and quality of care, which in turn contributes to effective marketing strategies in the tourism industry [4, 21].

The need for people to travel faster, safer, and more efficiently has led to the invention of excellent technological solutions [17]. In recent decades, the impact of technology on travel has become even more significant due to the use of new IT services, which has led to the growth of the online travel market and the growing digitalization of the tourism industry.

The market size of the global tourism sector grew significantly in 2023 compared to 2022, amounting to about USD 1.9 trillion. Despite the sharp annual growth, global tourism revenues remained below the levels reported before the coronavirus pandemic. It is projected that in 2024, the global tourism market will reach approximately USD 2 trillion [3].

As of September 2023, Booking Holdings was the online travel company with the highest market capitalization in the world (Fig. 1). Booking Holdings, the world's leading online travel agency by revenue, recorded a market capitalization of approximately USD 112.8 billion. Airbnb and Trip.com Group follow in the ranking with a market capitalization of approximately USD 91.1 billion and USD 23.2 billion, respectively.

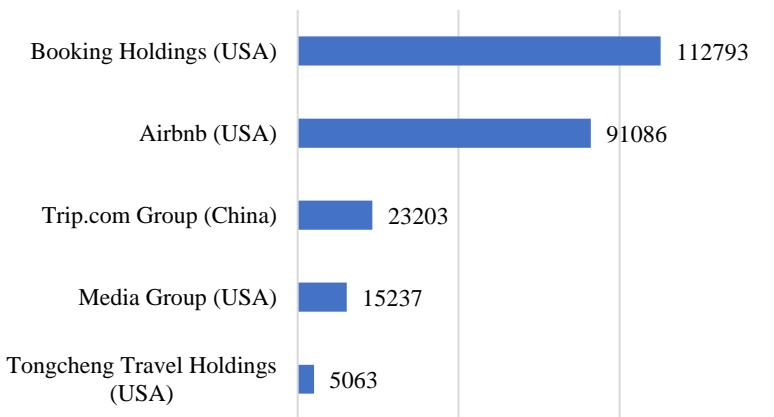


Fig. 1. Market capitalization of the world's leading online travel companies as of September 2023 (in millions of US dollars) [2]

Booking Holdings is a leading global provider of travel and related services to consumers and local partners in more than 220 countries and territories through five major consumer-focused brands: Booking.com, Priceline, Agoda, KAYAK and OpenTable, as well as through a network of subsidiary brands, including Rocketmiles, Fareharbor, HotelsCombined, Cheapflights and Momondo, bringing greater value to both our customers and partners around the world [5].

In 2023, gross travel bookings amounted to \$150.6 billion, an increase of 24% compared to the same period in 2022. According to the latest financial statements of Booking Holding, the company received revenue of \$21.36 billion in 2023 (Fig. 2). In 2022, the company received revenue of \$17.09 billion, which is more than in 2021, when revenue amounted to \$10.95 billion [5].

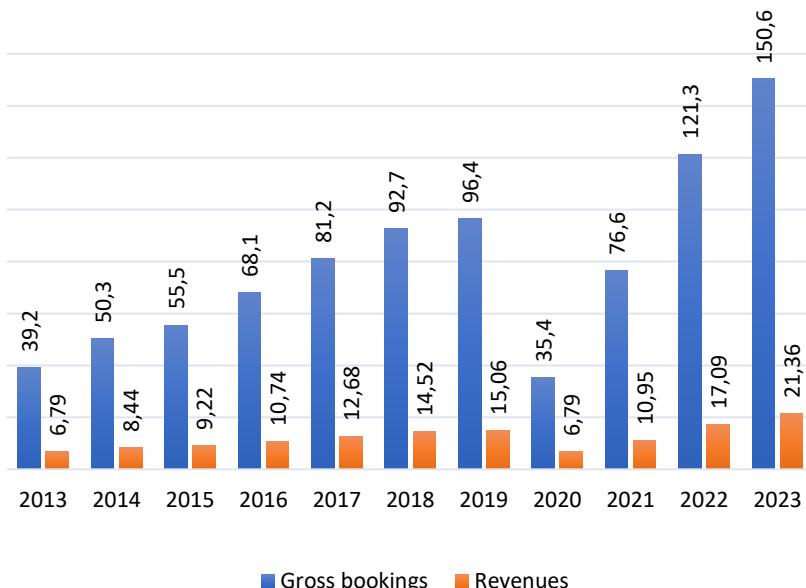


Fig. 2. Gross bookings and revenues of Booking Holdings in 2013-2023, USD billion [6-9]

Booking Holdings is focused on relentless innovation and execution, and is committed to serving both consumers and partners with unparalleled service and best-in-class technology. The company believes that global travel bookings in general will continue to grow, shifting from traditional offline methods to online channels, and expects to benefit from this travel

growth and the continued shift to online channels as it works to expand its service offerings and increase its presence in key regions. Specifically, the company is committed to (a) leveraging technology to provide consumers with the best possible experience, (b) partnering with travel service providers and restaurants for our mutual benefit, (c) managing multiple brands that work together, and (d) investing in profitable and sustainable growth [9].

One of the latest technological trends shaping the travel market is the use of artificial intelligence (AI) in the travel industry [18]. Although the introduction of AI is still in its early stages, many key players such as Expedia, Kayak (owned by Booking Holdings), Trip.com, and eDreams ODI-GEO have gradually introduced genuine AI tools to help customers in the travel planning process since the beginning of 2023. In this regard, according to an April 2023 survey on the use of ChatGPT to plan their next trip, approximately three out of ten respondents in the United States expected to use this tool when organizing their next trip [10]. However, the impact of artificial intelligence on tourism is only one of many technological innovations that are changing the way companies and customers think about and experience travel today [19]. Cloud computing used to access, manage, and store data online, the use of cryptocurrency, and the ability to travel and travel in the metaverse are some of the topics that are gaining a lot of attention in this regard [20]. According to a 2022 global study on comfort levels with preferred payment methods for travel in 2033, just over a quarter of the sample reported feeling comfortable with both virtual reality payment solutions and cryptocurrencies.

Travel apps provide a wide range of services in the travel and tourism sector, including travel booking, trip booking, hotel booking, and short-term rentals. According to Statista's Digital Market Insights, in 2022, the revenue from travel apps worldwide was approximately one billion US dollars [11]. When breaking down the travel app market by country, the United States and China emerged as the leading players, with these two countries alone generating approximately 70 percent of global revenue in 2022. That year, Booking.com was the most downloaded online travel agency app worldwide, followed by Airbnb and Expedia. Meanwhile, Hopper, which ranks sixth in global downloads, was one of the top travel apps in the United States in terms of market share in 2022, with the same share as Airbnb, Expedia, and Lyft.

In general, innovations in tourism open up new opportunities to improve the quality of services, attract new customers, and increase market competitiveness. Thus, they play a key role in creating an attractive and sustainable tourist environment.

REFERENCES

1. Labanauskaitė, D., Fiore, M., & Stašys, R. (2020). Use of E-marketing tools as communication management in the tourism industry. *Tourism Management Perspectives*, 34, 100652. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100652>.
2. Market cap of leading online travel companies worldwide. Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/1039616/leading-online-travel-companies-by-market-cap/>.
3. Market size of the tourism sector worldwide. Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/1220218/tourism-industry-market-size-global/>.
4. Голей, Ю. М., Стасюк, Ю. М., & Крупський, О. П. (2022). Дослідження світових тенденцій розвитку біотехнологій. *Інноваційна економіка*, (1), 12-22. <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.1.2>.
5. Booking Holdings. Factsheet. Retrieved from: <https://www.bookingholdings.com/about/factsheet/>.
6. Booking Holdings. Annual Reports. 2020. Retrieved from: https://s201.q4cdn.com/865305287/files/doc_financials/2020/ar/2020-anuuaal-bh.pdf.
7. Booking Holdings. Annual Reports. 2021. Retrieved from: https://s201.q4cdn.com/865305287/files/doc_financials/2021/ar/2021-Annual-Report-booking.pdf.
8. Booking Holdings. Annual Reports. 2022. Retrieved from: https://s201.q4cdn.com/865305287/files/doc_financials/2022/q4/5704910b-d65d-4528-a869-e1e1216a1f8b.pdf.
9. Booking Holdings. Annual Reports. 2023. Retrieved from: https://s201.q4cdn.com/865305287/files/doc_financials/2023/q4/BKNG-2023-10K.pdf.
10. Digitalization of the travel industry. Retrieved from: <https://www.statista.com/topics/7589/digitalization-of-the-travel-industry/#topicOverview>
11. Revenue of the travel apps market worldwide. Retrieved from: <https://www.statista.com/forecasts/1309624/worldwide-revenue-of-travel-apps>.
12. Barna, M., & Semak, B. (2020). Main trends of marketing innovations development of international tour operating. *Baltic Journal of Economic Studies*, 6(5), 33-41. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2020-6-5-33-41>.
13. Крупський, О. П., & Стасюк, Ю. М. (2024). Ефективна комунікація в галузі туризму. Маркетингові та організаційні механізми повоєнного розвитку галузі, 136-138.

- 14.Dzyad, O. V., Redko, V. Y., Krasnikova, N. O., Mihaylenko, O. G., & Stasiuk, Y. N. (2020). On the issue of sustainable development of tourism in the Black Sea countries. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(3), 471-482. <https://doi.org/10.15421/112042>.
- 15.Kusuma, C. A., & Abid, A. (2022). Developing a Digital-Based Marketing Strategy to Promote Beach Attractions in Indonesia: a Case of Botutonuo Beach in Gorontalo. *European Journal of Management Issues*, 30(4), 205-214. <https://doi.org/10.15421/192219>.
- 16.Stukalo, N. V., Krasnikova, N. A., Krupskyi, O. P., & Redko, V. Y., 2018a. Fostering Sustainable Tourism in Global Economy. *Revista ESPACIOS*, 39(42). Retrieved from: <http://www.revistasespacios.com/a18v39n42/a18v39n42p27.pdf>.
- 17.Мешко, Н. П., Редько, В. Є., & Крупський, О. П. (2016). *Региональний туризм: стратегія, ресурси, перспективи розвитку*: Монографія. Дніпропетровськ: Акцент ПП. Retrieved from: <https://turbobYTE.net/4tpmvcgu7dfq.html>.
- 18.Vorobiova, V. V., Krupskyi, O. P., & Stasiuk, Y. (2023). The Role of Digital Technologies in Modern Trade: A Study of Global Trends and Prospects for Ukraine. *Economic Journal Odessa Polytechnic University*, 2(24), 45-55. <https://doi.org/10.15276/ej.02.2023.5>.
- 19.Bhuiyan, K. H., Jahan, I., Zayed, N. M., Islam, K. M. A., Suyaiya, S., Tkachenko, O., & Nitsenko, V. (2022). Smart tourism ecosystem: a new dimension toward sustainable value co-creation. *Sustainability*, 14(22), 15043. <https://doi.org/10.3390/su142215043>.
- 20.Zayed, N. M., Mohamed, I. S., Islam, K. M. A., Perevozova, I., Nitsenko, V., & Morozova, O. (2022). Factors influencing the financial situation and management of small and medium enterprises. *Journal of Risk and Financial Management*, 15(12), 554. <https://doi.org/10.3390/jrfm15120554>.
- 21.Перегуда, Р. В., & Стасюк, Ю. М. (2018). Інвестиційна привабливість підприємств харчової промисловості України. *Економіка і суспільство*, 17, 314-321. Retrieved from: https://scholar.archive.org/work/atbmuhk3zfabbcpu5rhkcoyuby/access/wayback/http://economyandsociety.in.ua/journal/17_ukr/46.pdf.

КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАДРОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ПІДПРИЄМСТВА: РЕАЛІЇ ВОЄННОГО ЧАСУ

Ганна Нямецьук

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3199-8988>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Ярослав Черкасов

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0957-731X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Кадровий менеджмент є одним із ключових аспектів управління підприємством, що має безпосередній вплив на його ефективність, продуктивність та конкурентоспроможність. У сучасних умовах глобалізації економіки, швидкого технологічного розвитку та зростання вимог до якості продукції та послуг, роль управління людськими ресурсами набуває особливого значення. Ефективний кадровий менеджмент дозволяє підприємствам не лише залучати та утримувати кваліфікованих працівників, але й створювати умови для їх постійного професійного розвитку, підвищення мотивації та задоволеності роботою [1]. Питання ефективності кадрового менеджменту українських підприємств загострюється й внаслідок міжнародної міграції молоді, вимушеною тривалістю процесу формування інтелектуальної екосистеми країни та обмеженими можливостями залучення талантів з-за кордону [3; 5; 6].

Успішне управління кадрами включає в себе широкий спектр напрямів діяльності, таких як планування потреб у персоналі, підбір та найм, навчання і розвиток, управління продуктивністю, мотивація та винагородження, а також забезпечення сприятливого робочого середовища. Кожен із цих елементів є критичним для створення ефективної системи управління, яка сприяє досягненню стратегічних цілей підприємства.

На сучасному етапі розвитку ринку праці підприємства стикаються з рядом викликів, серед яких висока конкуренція за талановитих працівників, швидкі зміни в технологіях та методах роботи, необхідність адаптації до змін у законодавстві та соціально-економічних умовах. У цих умовах підприємства повинні постійно вдосконалювати свої підходи до управління людськими ресурсами, впроваджуючи новітні методики та інструменти, які дозволяють підвищувати ефективність кадрового менеджменту.

Особливе значення має аналіз ефективності існуючих систем

управління персоналом, який дозволяє виявити сильні та слабкі сторони, визначити основні проблеми та розробити заходи для їх усунення. Такий аналіз включає оцінку задоволеності працівників, продуктивності праці, ефективності мотиваційних програм, а також впливу кадрової політики на загальні результати діяльності підприємства.

Оцінка ефективності діяльності служб управління персоналом (HR-служб) є ключовим аспектом для будь-якого підприємства, яке прагне оптимізувати свої ресурси, підвищити продуктивність та досягти стратегічних цілей. Критерії оцінки ефективності можуть значно варіюватися залежно від специфіки підприємства, але загалом включають такі аспекти, як задоволеність працівників, продуктивність праці, утримання персоналу, витрати на управління персоналом, розвиток компетенцій та адаптація нових працівників.

Основні критерії оцінки ефективності діяльності служб управління персоналом поділяються на дві групи: суб'єктивні та об'єктивні.

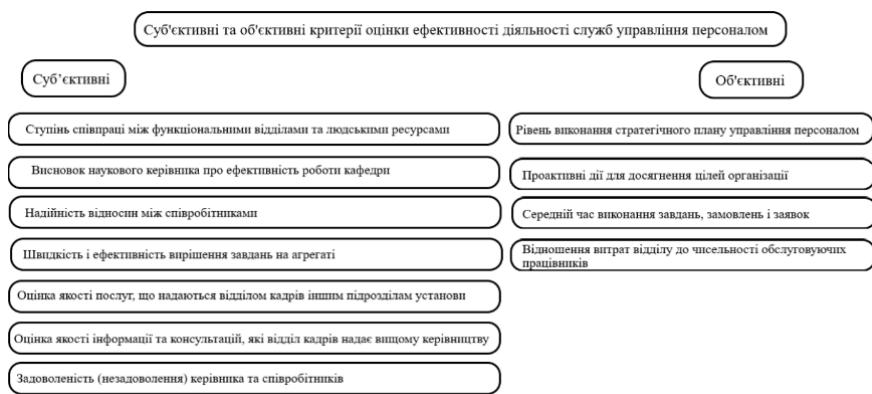


Рис. 1. Суб'єктивні та об'єктивні критерії оцінки ефективності діяльності служб управління персоналом.

Найбільш часто використовуваний метод оцінки базується на аналізі статистичних даних. Поточне керівництво виконанням завдань щодо ефективності діяльності особового складу Департаменту здійснюється щоденно керівниками всіх рівнів та регулярно доповідається на керівних (диспетчерських) нарадах, які проводить керівництво установи.

Управління персоналом є важливою складовою успішної діяльності будь-якої організації, в тому числі і промислового підприємства.

Аналіз ефективності управління людськими ресурсами в цьому контексті дозволяє визначити його сильні та слабкі сторони та визначити можливості для вдосконалення [4].

Процес найму та відбору є важливим етапом управління людськими ресурсами в компанії. Детальний аналіз цього процесу виявив кілька ключових аспектів:

Середній час на заміщення вакансії становить 45 днів, що трохи перевищує середній показник по галузі. Причинами цього можуть бути тривалість процесу внутрішнього відбору, складність вакансій та недостатня компетентність відділу кадрів.

Оцінка якості кандидатів, які увійшли до короткого списку, показала, що більшість з них відповідають вимогам та критеріям вакансії. Однак деякі кандидати не віправдали очікувань щодо навичок і професійної кваліфікації, можливо, через недостатньо ретельний відбір.

Системи навчання та розвитку людських ресурсів є критично важливими для забезпечення постійного професійного розвитку та вдосконалення здібностей працівників. Аналіз цієї системи показав наступне:

Неважаючи на те, що рівень участі працівників у навчальних програмах дещо зріс, залишається певний відсоток працівників, які не беруть участі у навчанні. Це може свідчити про недостатнє поширення інформації про можливості навчання або про необхідність надання додаткових стимулів для участі.

Відсутність чіткої системи оцінювання ефективності навчальних програм залишається однією з основних проблем. Це ускладнює підвищення ефективності програм та визначення сфер для покращення.

Утримання талановитих і кваліфікованих працівників має вирішальне значення для стабільності та успіху компанії. Детальний аналіз утримання талантів показав наступні аспекти:

Хоча загальна кількість звільнень у компанії низька, існують окремі відділи або групи працівників із високою плинністю кадрів. Це може свідчити про проблеми у цих відділах або про те, що компанія не забезпечує належних умов для розвитку своїх співробітників.

Важливим аспектом є створення мотивуючої атмосфери та можливостей професійного розвитку для співробітників. Виявлено наявність проблем із системою заохочення та кар'єрного зростання, що може призводити до незадоволеності працівників та їхнього бажання змінити роботу.

Немає сумніву, що управління людськими ресурсами є необхідним і стратегічним елементом для успішного функціонування будь-якої організації. Це включає не тільки повне управління виробничими відносинами, але й широкий спектр стратегічних заходів для

створення продуктивної та мотивованої команди. Управління людськими ресурсами охоплює, зокрема, розробку ефективних стратегій для мотивації співробітників, що дозволяє утримувати талановитих працівників та підвищувати їх продуктивність. Крім того, важливо створити корпоративну культуру, яка сприяє ефективній комунікації, співпраці та впровадженню інновацій. Таким чином, управління людськими ресурсами є не лише адміністративною функцією, але й стратегічним інструментом, який забезпечує довгостроковий успіх організації. Правильно підібраний талант стає ключовим ресурсом для досягнення бізнес-цілей і забезпечення конкурентної переваги.

Зміцнення кадрового потенціалу є необхідним елементом будь-якої організації. Але в багатьох підприємствах виникають проблеми з кадровим менеджментом, які необхідно вирішувати. Незалежно від розміру чи галузі діяльності, підприємства стикаються з викликами у виборі, наймі, розвитку та збереженні талановитих працівників. Ключове слово тут - координація. Інтеграція стратегій найму, розвитку та утримання персоналу може забезпечити ефективну роботу кадрового відділу. Однак, багато компаній стикаються з проблемами у цій області, такими як нестача кваліфікованих кандидатів, високий рівень текучості кадрів, або недостатня увага до розвитку персоналу. Ці проблеми можуть гальмувати розвиток підприємства і підривати його конкурентоспроможність. Тому вирішення проблем кадрового менеджменту є критичним завданням для будь-якої компанії, що прагне досягти успіху на ринку.

Такими проблемами можуть бути : недостатній кадровий резерв, низький рівень мотивації, фінансові обмеження, сезонність та непередбачуваність, недостатня професійна підготовка та управління талантами [3].

Вирішення проблем кадрового менеджменту на підприємстві є дуже важливим. Тому для вирішення даних проблем і покращення кадрового менеджменту на підприємстві, необхідно провести комплексний аналіз поточних процесів, ідентифікувати причини проблем і розробити стратегії для їх подолання.

Щоб вирішити проблему з недостатнім кадровим резервом треба встановити партнерства з університетами та вищими навчальними закладами дозволить підприємству активно співпрацювати у сфері стажування та надання спеціалізованих курсів. Також можна ввести програму стажування для студентів та молодих спеціалістів, що дозволить їм отримати практичний досвід та познайомитися з робочим процесом самого підприємства.

Для вирішення проблеми з низьким рівнем мотивації достатньо впровадити систему бонусів, премій та регулярного визнання

досягнень працівників. З фінансовими обмеженнями звичайно складніше, треба провести ретельний аналіз бюджету та визначення пріоритетних напрямків для ефективного використання обмежених фінансових ресурсів та розглянути можливості отримання грантів, спонсорської підтримки від бізнесу, та проведення благодійних заходів.

З проблемою сезонністю та непередбачуваністю можна ввести гнучкі графіки роботи для персоналу. Це дозволить краще враховувати сезонні коливання, запобігати перевантаженням в пікові періоди. Завчасне планування й прогнозування забезпечить ефективну підготовку та розподіл ресурсів.

Проблему недостатньої професійної підготовки можна подолати шляхом розробки навчальних програм та тренінгів для персоналу, а також створення доступу до онлайн-ресурсів для самостійного навчання. Крім того, регулярні майстер-класи та тренінги, проведені досвідченими фахівцями, можуть сприяти підвищенню професійної майстерності співробітників.

Проблему управління талантами можна вирішити шляхом проведення оцінки та ідентифікації найбільш обдарованих працівників, розробки індивідуальних планів розвитку та створення стимулюючого середовища. Це включає можливості професійного росту, кар'єрного розвитку та участі в ключових проектах.

Якщо у підприємства є проблеми, пов'язані з недостатнім кадровим резервом, низьким рівнем мотивації, фінансовими обмеженнями, сезонністю та непередбачуваністю, недостатньою професійною підготовкою чи управлінням талантами, то за допомогою вищенаведених рекомендацій можна вирішити ці проблеми та покращити кадровий менеджмент на підприємстві [2].

Отже ефективний кадровий менеджмент є фундаментальним елементом успішного функціонування будь-якої організації. Він включає в себе не лише управління персоналом, але й стратегічне планування, яке забезпечує підприємству конкурентні переваги на ринку. Успіх компанії залежить від здатності залучати, утримувати та розвивати талановитих працівників, що сприяє підвищенню їх мотивації, продуктивності та задоволеності роботою. Важливою складовою є створення умов для професійного розвитку та навчання працівників, що дозволяє їм адаптуватися до швидких змін у технологіях та ринкових умовах.

Аналіз ефективності систем управління персоналом, включаючи оцінку участі працівників у навчальних програмах, рівень плинності кадрів та мотиваційні аспекти, є критично важливим для виявлення слабких місць і розробки стратегій їх подолання. Успішне управління людськими ресурсами також передбачає вирішення проблем із

кадровим резервом, мотивацією, фінансовими обмеженнями та професійною підготовкою. Реалізація таких стратегій, як партнерство з навчальними закладами, впровадження системи бонусів та премій, гнучке планування роботи і постійне навчання, сприятиме створенню ефективної, продуктивної та мотивованої команди.

Таким чином, кадровий менеджмент є не лише адміністративною функцією, але й стратегічним інструментом для забезпечення довгострокового успіху підприємства. Оптимізація кадрових процесів та вирішення актуальних проблем управління персоналом дозволяє підприємствам досягти високої продуктивності, утримувати талановитих працівників та залишатися конкурентоспроможними на ринку.

ПОСИЛАННЯ

1. Литяцька, Д.В. (2006). Кадровий менеджмент Проблеми кадрового менеджменту на підприємствах АПК та шляхи їх вирішення в сучасних умовах господарювання (на прикладі Закарпатської області). *Наукові доповіді НАУ*, 1 (2).
2. Дончак, Л. Г., Добіжа, В. В. (2018). Удосконалення кадрового менеджменту на підприємстві. *Економіка і суспільство*, (17), 233-239.
3. Нямешук, Г. В. (2018). Зовнішньоекономічна діяльність закладів вищої освіти України: логіка та контроль процесу організації набору іноземних студентів. *Економіка: реалії часу*, (6 (40)), 76-83.
4. Жоган, І. М. (2011). Стратегічне управління персоналом підприємства, *Економічний вісник НТУУ «КПІ» : збірник наукових праць*. 8, 285–292.
5. Нямешук, Г. В., Стасюк, Ю. М. (2023). Міжнародна міграція: освітні виклики для української молоді. *Відкрита наука України: візійний дискурс в умовах воєнного стану*, 98.
6. Нямешук, Г. В. (2021). Конкурентоспроможність інтелектуальної екосистеми України: інституційно-регуляторний аспект. *Економічний вісник Дніпровської політехніки*, 2, 21-35.

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ УКРАЇНСЬКОГО БІЗНЕСУ В УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗМІН

Тетяна Смирнова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3457-3144>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Сучасний стан науково-технічного прогресу характеризується стрімким розвитком технологій. Підприємства в таких умовах повинні миттєво реагувати для задоволення потреб споживачів та суспільства. Провідні високотехнологічні світові компанії витрачають достатньо багато часу та коштів на програми управління ризиками. Для сучасних українських підприємств стратегічним завданням є розробка ефективних систем управління ризиками. Успішна реалізація програм управління ризику позитивно позначається на підвищенні конкурентоспроможності українських підприємств на внутрішньому та зовнішньому ринках.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Актуальність питання управління ризиками підприємств полягає в тому, що у сучасних умовах керівництво компаній змушене переглядати та удосконалювати методи своєї роботи, шукати альтернативні методи розвитку, а також прагнути якісно підняти на новий рівень діяльність організації, що можливо лише за умови налагодженості системи управління ризиками. Машинобудування є однією, якщо не фундаментальною галуззю, без продукції якої виробництво в інших галузях було б просто неможливим. Машинобудування є важливою частиною української економіки. Україна має значні запаси сировини, які разом із розвиненою металургійною промисловістю можуть задовольнити великі потреби виробництва. Основним ризиком і загрозою для життєдіяльності, і зокрема для господарської діяльності стало настання форс-мажорних обставин наприкінці лютого 2022 і зв'язку з прямим вторгненням росії на територію України і початком воєнних дій. Варто зазначити, що ситуація внаслідок пандемії COVID-19 та повномасштабної військової агресії вплинула на роботу підприємств і на процесі управління ризиками. Підвищена нестабільність і непередбачуваність у світовій економіці та нормативних вимогах створили нові та більш складні проблеми для управління ризиками.

Геополітичний ризик зріс із уповільненням економічного зростання. У той же час ландшафт ризиків змінюється. У той час як фінансові ризики залишаються, нефінансові ризики (такі як ризик кібербезпеки, ризик поведінки та культури, ризик моделі та ризик третіх сторін), які можуть бути складними для кількісної оцінки та управління, стають все більш важливими. Це нове середовище вимагає від підприємств переглянути свої традиційні підходи, щоб підняти свої функції управління ризиками на новий рівень ефективності. Окрім того, вторгнення росії в Україну змінило новий ландшафт ризиків, і це вимагає від керівників управління ризиками підприємства переоцінити раніше встановлені профілі організаційних ризиків[4].

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У сучасному світі зі зростанням глобалізації та посиленням міжнародної конкуренції управління ризиками постає важливою складовою успішного функціонування будь-якого підприємства, адже компанії існують в умовах, коли необхідно миттєво реагувати на задоволення потреб споживачів та швидко адаптувати систему менеджменту до нових реалій [1]. Управління ризиками є важливим процесом, оскільки він надає компанії необхідні інструменти для ідентифікації потенційних ризиків та мінімізації їх негативної дії на діяльність компанії. Для бізнесу оцінка та управління ризиками є найкращим способом підготуватися до непередбачуваних подій, які можуть стати на шляху зростання. Кожного дня з'являються нові ризики, більшість з яких пов'язані з поширенням використанням цифрових технологій [2]. Внаслідок пандемії COVID-19 та умов військового стану, і міжнародний, так і український бізнеси зіштовхнулись з зовнішнім ризиком, який проявився як проблема з ланцюгом постачання у багатьох компаніях. Досить швидко це перетворилось на загрозу існуванню компаній, впливаючи на здоров'я та безпеку працівників, засоби ведення бізнесу та здатність взаємодіяти з клієнтами [2]. Компанії були вимушенні за достатньо короткий період адаптувались до загроз епідемії. Але виникли нові ризики, такі як: повернення працівників до офісу, збільшення вразливості ланцюгів постачання, дотримання всіх санітарних умов діяльності підприємства тощо. Оскільки світ продовжує враховувати вплив пандемії, компанії поновому дивляться на свої програми управління ризиками. Центр уваги, привернутий до управління ризиками під час пандемії COVID-19 та умов військового стану, змусив багато компаній не лише переглянути свою практику ризиків та перевірки виробничих процесів, але й дослідити нові методи, технології та процеси управління ризиками [3].

Під час виробничого процесу машинобудівним підприємствам необхідно враховувати потенційні ризики, пов'язані з поточною повсякденною діяльністю. Ризики можуть виникати через характер використовуваних матеріалів, обладнання, людей тощо. Важливо мати програму, яка може визначити різні ризики, які можуть виникнути, зрозуміти ймовірність виникнення ризиків і потенційний вплив на бізнес, персонал, акціонерів, клієнтів, постачальників і громаду був ризиком, який слід було усвідомити. Звіт про ризики також має важливе значення. Аналізуючи звіти про управління закордонних компаній та українських підприємств, можна помітити суттєву різницю щодо подання звіту та кількості інформації, яка міститься в них. Однак, прийняття рішень щодо діяльності має здійснюватися на основі інформації про ризики. Компанії можуть регулярно надавати радам директорів і вищому керівництву інформацію про ризики, визначаючи найбільш актуальні стратегічні ризики. Мета полягає в тому, щоб переконатися, що незалежний погляд на ризики, що охоплює всі рівні організації, вбудований у процес планування. Таким чином можна підтримувати профіль ризику в управлінні бізнес-ініціативами та рішеннями, що впливають на якість процесів і продуктів. Такі методи, як упередження та використання сценаріїв, можуть допомогти подолати упередження щодо досягнення короткострокових цілей.

Висновки

Підприємства машинобудівної промисловості стикаються з різними ризиками, включаючи коливання попиту, зміну споживчих уподобань, державну політику, екологічні зобов'язання та постійний технологічний прогрес. Зі зростанням галузі, компанії продовжують стикатися з цими та багатьма іншими ризиками, і нездатність ефективно їх подолати може привести до великих втрат. Управління ризиками включає ідентифікацію, аналіз та реагування на фактори ризику, які є частиною життя бізнесу. Ефективне управління ризиками контролює майбутні результати, діючи запобіжно. Таким чином, управління ризиками дозволяє зменшити як можливість виникнення ризику, так і його негативні дії. Управління ризиками – це процес виявлення, оцінки та контролю загроз для капіталу та доходів організації. Ці ризики виникають із різних джерел, включаючи фінансову невизначеність, юридичні зобов'язання, технологічні проблеми, помилки стратегічного управління, аварії та стихійні лиха. Успішна програма управління ризиками допомагає організації розглянути весь спектр ризиків, з якими вона стикається. Управління ризиками також вивчає взаємозв'язок між ризиками та впливом, який вони можуть мати на

стратегічні цілі організації.

Удосконалення системи управління ризиками підприємства є одним з найважливіших складових успіху підприємства. Життєво важливо розуміти потенційні ризики, оцінювати обсяг і ефективність плану дій і розвивати живий процес управління ризиками, який періодично переглядається та оновлюється. Стратегія ризиків повинна містити чіткі цілі щодо політики ризиків, яка просувається та застосовується в організації, щоб визначити рівні ризику та реагування на ризик за всіх обставин, коли він аналізується та оцінюється. Ефективний аналіз і управління ризиками є фундаментальними для успіху українських машинобудівних підприємств. Незалежно від розміру чи масштабу компанії, важливим є ідентифікація, аналіз, класифікація, пріоритетизація та оцінка зовнішнього впливу ризиків. Управління ризиками допомагає компаніям мінімізувати свої втрати в критичні моменти. Управління ризиками є відповідальністю керівництва організації, і головна мета цього процесу спрямована на управління ризиками, ефективне використання ресурсів, максимізації прибутку та мінімізації загроз, одночасно захищаючи інтереси працівників і клієнтів. Адаптація міжнародного досвіду управління ризиками під потреби українських підприємств дозволяє використовувати досвід у побудові та плануванні системи управління ризиками. Управління ризиками на промислових підприємствах є дуже актуальною темою, з одного боку, через надзвичайно важливу роль машинобудування у світовій та національній економіці та з іншого - від зростаючої невизначеності в результатах діяльності підприємств.

ПОСИЛАННЯ

1. Кустріч, Л. О. (2022). Управління фінансовими ризиками підприємницької діяльності в умовах кризи. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія «Економічні науки»*, 5, 63-70.
2. Тиркало, Ю. Є. (2022). Оптимізація управлінських рішень в умовах підприємницького ризику і невизначеності. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*, 3, 12-16.
3. Бондарєва, Т. І. (2022). Організаційні аспекти створення інформаційної системи управління ризиками підприємства. *Часопис економічних реформ*, 2, 58-65. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Cher_2022_2_11
4. Гуцалюк, О. М., Гавrilova, Н. В., & Котлубай, В. О. (2021). Сучасні особливості управління ризиками в контексті стратегічного розвитку підприємства. *Вісник економічної науки України*, 1, 74-79. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Venu_2021_1_11

АКТИВІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ІНСТРУМЕНТІВ У СФЕРІ ГОСТИННОСТІ

Володимир Джинджоян

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0296-4092>

Дніпровський гуманітарний університет, Дніпро

Ольга Ходак

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0871-6567>

Дніпровський гуманітарний університет, Дніпро

Наталія Яковлєва-Мельник

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1266-1813>

Дніпровський гуманітарний університет, Дніпро

Готельно-ресторанний бізнес – один з небагатьох напрямків, якій здатний ефективно відновлюватися навіть після глобальних криз. Обмеження, що були пов’язані з пандемією COVID-19, активізували процеси цифровізації та впровадження інноваційних інструментів до всіх процесів сфері гостинності.

Інноваційні технології відіграють ключову роль у підтримці та конкурентоспроможності сфері гостинності та змінюють індустрію гостинності. Досягнення в галузі штучного інтелекту, мобільних технологій, персоналізованого обслуговування гостей та стійких методів мають вирішальне значення для підвищення операційної ефективності, досягнення максимального задоволеності гостей, персоналізації послуг і збереження конкурентоспроможності в цифровому середовищі, що швидко розвивається. Облік цих тенденцій допомагає готельному бізнесу відповідати мінливим очікуванням споживачів та сприяти зростанню бізнесу й галузі загалом.

Теоретичні та практичні аспекти формування інноваційної складової розвитку готельно-ресторанного бізнесу досліджувалися в роботах вітчизняних і закордонних вчених, як Андрієнко А. О. («розумне» управління в містах) [1], Д. Бухаліс (SMART-технології) [2], В. Джинджоян, (інноваційні технології) [3], В. Лагодієнко, К. Павлов, Г. Саркісян (інноваційна діяльність: управління) [4], І. Сазонець, О. Сазонець (управління інноваційними проектами) [5], Т. Тесленко (цифрова економіка) [6], П. Суанпанг, Т. Нетвонг (інтелектуальні технології) [7], Фостолович В. А. (система управління) [8].

Інтенсивність інноваційних процесів не дозволяє зупинитися на досягнутому, а лише обумовлює необхідність постійного вдосконалення процесів управління та прогнозування в діяльності

підприємств готельно-ресторанного бізнесу та подальшої розробки існуючих досліджень.

Система управління підприємством готельно-ресторанної сфери потребує постійної роботи з інформацією (збір, опрацювання, генерування нової інформації), це принципи й механізми прийняття рішень на основі різних можливих станів системи управління. Надзвичайно важливою є інформація, що надходить як зворотній зв'язок від об'єкту контролю до контролюючого органу, саме її рівень якості обумовлює подальші процеси та обумовлює застосування інноваційних підходів.

Інформаційні технології мають вирішальне значення для успіху будь-якого готельного бізнесу, надаючи інструменти, які можуть допомогти підприємствам оптимізувати свої процеси, скоротити витрати, знизити навантаження на персонал, збільшити потенціал отримання прибутку та покращити якість обслуговування клієнтів. Переваги застосування інформаційних технологій наведені в таблиці 1. В міру появи нових тенденцій та широкого використання технологій їх застосування є необхідними для задоволення очікувань клієнтів.

Таблиця 1 – Переваги використання інформаційних технологій

Причина	Вплив на галузь	Переваги для бізнесу
Конкурентна перевага	Компанії, які впроваджують нові технології, встановлюють стандарти у галузі та займають лідерство на ринку	Підтримує конкурентоспроможність бізнесу; запобігає відставанню від конкурентів із передовими технологіями
Відповідність зростаючим очікуванням клієнтів	Очікування клієнтів зміщуються у бік більш технологічно інтегрованого досвіду	Забезпечує задоволеність та лояльність клієнтів, виправдовуючи чи перевершуєчи їх очікування
Постійне вдосконалення та інновації	Заохочує культуру постійного розвитку та адаптації до нових тенденцій	Позиціонує бізнес як далекоглядного лідера; приваблює технічно підкованих клієнтів
Ефективність та управління витратами	Оптимізація операцій та покращення методів управління за допомогою технологій	Знижує експлуатаційні витрати; підвищує загальну ефективність та якість обслуговування
Розширене використання даних	Поліпшення збору та аналізу даних призводить до більш обґрутованого прийняття рішень	Дозволяє проводити більш цілеспрямований маркетинг, покращувати обслуговування клієнтів та персоналізувати досвід
Адаптація до динаміки ринку	Підтримує бізнес відповідно до індустрії гостинності, що швидко змінюється і розвивається	Забезпечує актуальність на ринку, що швидко розвивається; допомагає передбачати майбутні тенденції та вимоги

Інформаційні технології (ІТ) в індустрії гостинності – це широкий термін, який використовується для опису будь-якої технології, яка

використовується для управління та підтримки операцій у сфері гостинності. Сюди входять усі технології, що використовуються готелями, ресторанами, круїзними лайнерами, курортами та іншими підприємствами, пов'язаними з індустрією гостинності.

ІТ також включає компоненти інфраструктури, такі як мережеве обладнання, сервери та рішення безпеки, які допомагають готельному бізнесу працювати безперебійно. ІТ також допомагають підприємствам готельного бізнесу підвищити операційну ефективність, підвищити задоволеність клієнтів та надати гостям якісніші послуги. Важливо, що інформаційні технології у сфері гостинності не обмежуються комп'ютерами та інформаційними системами. Сюди також входять цифрові технології, такі як соціальні мережі, мобільні програми, платіжні системи, аналітика та багато іншого.

Індустрія гостинності одна із найбільш технологічно залежних галузей. Без інформаційних технологій управління повсякденною діяльністю готелів, ресторанів та інших підприємств, пов'язаних із гостинністю, було б неможливим. Тенденцію можна описати як загальну зміну, розвиток, зрушення у поведінці або переважну тенденцію, яку можна спостерігати у конкретній галузі. Багато подій призвели до змін у поведінці споживачів, що згодом призвело до появи нових тенденцій у сфері технологій гостинності.

Технологічні досягнення відіграли значну роль, особливо у поширенні голосового пошуку, доповненої реальності, штучного інтелекту та Інтернету речей. Інформаційні технології допомогли підприємствам готельного бізнесу краще управляти запасами, бронюванням, резервуванням та даними про клієнтів. Впроваджуючи такі системи, як POS-системи, системи управління нерухомістю та CRM-рішення, компанії можуть відстежувати дані про клієнтів, управляти рівнями запасів, обробляти платежі та замовлення. Це допомагає скоротити витрати, підвищити ефективність та покращити обслуговування клієнтів.

Інформаційні технології також дали змогу підприємствам вийти за межі фізичних кордонів своєї власності. Наприклад, власники готелів тепер можуть пропонувати послуги онлайн-бронювання, що дозволяє клієнтам бронювати з будь-якої точки світу. Крім того, технології дозволили готельному бізнесу ефективніше взаємодіяти зі своїми клієнтами через платформи соціальних мереж, мобільні програми та інші канали цифрового маркетингу.

Інформаційні технології необхідні успіху будь-якого готельного бізнесу. Використовуючи новітні технології, підприємства можуть оптимізувати операції, підвищити ефективність та покращити обслуговування клієнтів. Це допомагає скоротити витрати, збільшити

доходи та забезпечити довгострокову прибутковість. Всі ці переваги роблять інформаційні технології важливим інструментом будь-якого бізнесу в індустрії гостинності. Індустрія гостинності впровадила цифрові технології, щоб надати гостям кращий та ефективніший досвід. Від систем онлайн-бронювання до мобільної реєстрації заїзду та від'їзду технології можуть покращити якість обслуговування гостей безліччю способів.

Сьогодні в індустрії гостинності використовуються ряд найпопулярніших цифрових технологій (рис.1).



Рисунок 1 – Цифрові технології в індустрії гостинності

За допомогою платформи StartUs Insights було проаналізовано майже дві тисячі стартапів в сфері гостинності, та представлена карта інноваційних тенденцій гостинності 2023 року (рис.2) [9].

Постійно зростаючий попит на цифровізацію в сфері гостинності за останні роки, обумовлює укріплення ролі технологій у бізнесі гостинності та набуття нею життєво важливого значення. За результатами опитування (EnsembleIQ), 69% респондентів збільшили технологічні бюджети в 2023 році для впровадження передових технологій

для ефективної роботи. В той же час 73% власників готелів вважають новітні технології ключовими в роботі готелю.

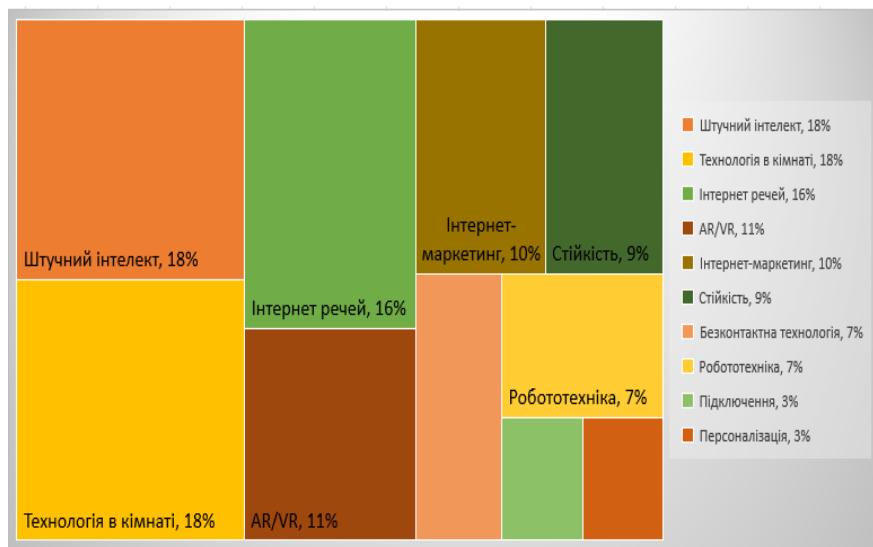


Рисунок 2 – Карта інноваційних тенденцій гостинності 2023

Розвиток інформаційних технологій сильно вплинув індустрію гостинності, змінивши роботу ресторанів та готелів:

1. Ресторани впровадили автоматизовані платіжні системи, що дозволяють клієнтам швидко розплачуватись і здійснювати платежі без участі людини.
2. Готелі впровадили цифрові платформи бронювання, які дозволяють гостям легко бронювати номери онлайн в безпечному середовищі.
3. Ресторани можуть відстежувати переваги клієнтів та збирати дані, які можна використовувати для створення більш персоналізованих страв та вражень для гостей.
4. Співробітники готелю можуть використовувати мобільні пристрої для відстеження заповненості номерів, коригування цін та надання гостям послуг підтримки в режимі реального часу.
5. ІТ-системи дозволяють ресторанам та готелям безпечно та ефективно керувати великими обсягами даних про клієнтів, що дозволяє їм краще орієнтуватися в рекламних акціях та безпосередньо спілкуватися з клієнтами різними каналами, такими як електронна пошта або текстові повідомлення.

Індустрія гостинності вже давно визнала цінність інформаційних технологій як інструмента підвищення ефективності та покращення обслуговування клієнтів. Використовуючи ІТ, підприємства цього сектора можуть отримати численні переваги, які допоможуть їм залишатися конкурентоспроможними та покращувати свою діяльність [10].

Безконтактні технології, що набули популярності під час COVID-19, стали стандартною практикою для індустрії гостинності. Згідно з опитуванням 2023 року, 70% гостей віддають перевагу готелям, які пропонують безконтактну реєстрацію та варіанти оплати за бронювання. Інтеграція безконтактної технології в готелі для автоматизованої реєстрації зайду та виїзду, обслуговування номерів і бронювання дозволяє:

- підвищити безпеку. На основі штучного інтелекту чат боти мінімізували фізичні взаємодії;
- підвищення ефективності. Додатки для реєстрації спрощують ці процеси, заощаджуючи час взаємодії гостей і покращуючи досвід мандрівників;
- зменшення витрат. Безконтактні рішення знижують операційні витрати та покращують управління ресурсами.

Крім того, більшість клієнтів обирають готелі, що пропонують інтерактивний досвід, а не традиційні послуги.

Компанії гостинності використовують голосові технології, щоб покращити враження від гостей і надати персоналізовані послуги. Ринок голосових помічників оцінювався на рівні 2,9 мільярда доларів США у 2022 році та, як очікується, досягне 22,2 мільярда доларів США до 2030 року (рис. 3) [11].

Ця технологія в індустрії гостинності дозволяє підприємствам вирішувати проблеми безпеки та нестачу персоналу. Це також є частиною стратегії безконтактного цифрового консьєржа. Готелі інтегрують голосові помічники, такі як Amazon Alexa або Google Assistant, у кімнати чи додатки, що дозволяє гостям керувати перебуванням без контактно.

Інформаційні технології в секторах індустрії гостинності відносяться до систем, які залежать від програмного забезпечення для хмарних технологій. Хмарні технології індустрії гостинності життєво важливі успіху та інновацій. Використання хмарних технологій — це те, що дозволяє брендам у суспільстві бути такими різноманітними, але при цьому функціональними. Від хмарних POS-платформ до систем бронювання на основі даних — хмарні технології займають важливу частину сфері гостинності.

Хмарні технології включають набір функцій і систем, які

встановлюють різні типи ресурсів. Ці ресурси відносяться до інфраструктур, платформ та програмного забезпечення. Важливо пам'ятати, що основу хмарних технологій складають сервери, бази даних та сховища. За допомогою цих елементів можуть виконуватись обчислювальні функції, після чого з'являється можливість використовувати програми та програмне забезпечення через надійне підключення до Інтернету.

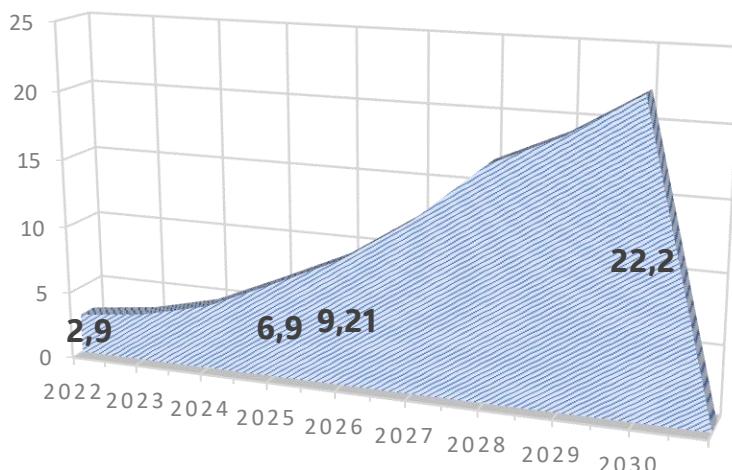


Рисунок 3 – Вартість ринку голосових помічників 2022-2030 (прогноз), млрд. дол. США

Програмне забезпечення для готельного бізнесу значною мірою залежить від хмарних технологій. Хоча традиційні системи чудово справляються зі своїм завданням, хмарні рішення мають безліч переваг:

1. Зниження операційних витрат при використанні хмарних технологій дає змогу уникнути не тільки витрат на обладнання, але й всіх витрат, пов'язаних з технічним обслуговуванням.
2. Хмарні технології у сфері гостинності можуть підвищити операційну ефективність. Від бронювання столиків у ресторані до обробки платежів співробітники за рахунок швидкого та легкого доступу до даних у результаті зможуть робити більше з меншими витратами часу.
3. Багато інструментів розроблено з урахуванням інших опцій програмного забезпечення. Наприклад, програма для керування

запасами в ресторані, така як BlueCart, може бути сумісна з деякими постачальниками POS-платформ для ресторанів. З огляду на це основною перевагою хмарних технологій є можливість об'єднання різних продуктів, швидкого оновлення програмного забезпечення для подальшої інтеграції.

4. Однією з найкращих сторін хмарних технологій у секторах індустрії гостинності є їхня здатність оновлюватися. Іншими словами, використання апаратного забезпечення дуже обмежене, оскільки існує обмежена кількість способів внесення змін до фізичних пристрій. Але коли використовують цифрову інфраструктуру та програмне забезпечення, провайдер може вносити зміни до серверної частини та отримання.

5. Хмарні технології передбачають шифрування даних та заходи конфіденційності для захисту як клієнта, так і продавця. Це схоже на те, як платіжні технології відповідають стандартам PCI. Хмарні технології дотримуються аналогічних принципів та функціонують у цифровому форматі, що надає кілька рівнів безпеки.

6. Мережеві ресторани та готелі отримують найбільше вигоди від хмарних технологій тому, що коли інформація існує в хмарі, вона доступна з будь-якого місця і в будь-який час. Якщо є облікові дані для входу в потрібний обліковий запис (акаунт), можна побачити всю інформацію про компанію. Хмарні технології зроблять доступним за необхідності змінити типи меню або додати більше дат бронювання.

7. Коли співробітники мають легкий доступ до даних компанії та клієнтів можливість підвищити рівень обслуговування клієнтів за допомогою хмарних технологій також допоможе максимізувати дохід.

Хмарні технології допомагають індустрії гостинності оптимізувати операції та підвищити точність, щоб покращити життя та якість обслуговування гостей.

Основними типами хмарних технологій є:

1. Інфраструктура як послуга (IaaS). Під інфраструктурою часто розуміються мережі, сховища та сервери, які споживачі можуть використати для своєї вигоди. У результаті люди можуть ефективніше використовувати свої поточні ресурси.

2. Платформа як послуга (PaaS). Платформи пропонуються споживачам, щоб не доводилося переміщатися і оновлювати базову інфраструктуру чи модель докладання. У свою чергу, люди можуть легко створювати та розгорнати продукти та послуги.

3. Програмне забезпечення як послуга (SaaS). Програмне забезпечення та бази даних дозволяють споживачам керувати системами та програмами в Інтернеті. За допомогою облікового запису споживачі можуть зберігати дані, передавати файли, спілкуватися з іншими

користувачами та багато іншого.

Готелі можуть використовувати хмарні технології для бронювання, зберігання даних клієнтів, відправки нагадувань майбутнім гостям та багато іншого. В результаті керівництво готелю може оптимізувати операції та підвищити ефективність на робочому місці. Тоді вони матимуть змогу ще більше масштабувати бізнес.

Ресторани можуть використовувати хмарні технології для оптимізації роботи ресторану. Наприклад, відстеження запасів у ресторані можна поставити на автопілот. Або він може автоматизувати завдання, що виконуються в системі POS. Хмарні технології є особливо цінними для мереж. Це з тим, що співробітники можуть відразу отримати доступом до інформації, що стосується всього бренда.

Складність в роботі з хмарними технологіями в індустрії гостинності спричиняють наступні фактори:

1. Нестабільне інтернет-з'єднання, яке не дозволяє отримати доступ до продукту або послуги.
2. Нездатність інтегруватися з новими продуктами та послугами у міру їх появи.
3. Сполучення даних між платформами та варіантами програмного забезпечення.
4. Проблеми безпеки або конфіденційності даних компанії, а також банківської та платіжної інформації клієнта.

Хмарні технології в секторах індустрії гостинності життєво важливі для ефективності та успіху. Без цього ми працювали б у більш традиційних умовах. Впровадження технологій та інновацій також створює можливості для зростання. Таким чином, у міру того, як брэнди у сфері гостинності продовжують розвиватися, розвиватимуться різні функції хмарних технологій [12].

Цифрова трансформація означає еволюцію галузі завдяки цифровим інноваціям. Будь то хмарні програми, онлайн-платформи або роботизовані пристрої, цифрова трансформація завжди зазнає того чи іншого технологічного прогресу.

Цифрізація ресторанної індустрії передбачає інноваційні ресторанні технології. Багато закусочних також часто можна побачити автоматизацію ресторанів, спрямовану на підвищення рівня обслуговування клієнтів. Від оптимізації повсякденних завдань до спрощення процесу замовлення – у традиційних налаштуваннях можна багато оновити. Технології постійно змінюють ресторанну індустрію, пропонуючи нові інноваційні рішення. Ці продукти та послуги допомагають покращити якість обслуговування клієнтів, скоротити витрати на ресторан, просувати заклад та з часом зробити його більш прибутковим.

Щоб йти в ногу з тенденціями у сфері ресторанного бізнесу та харчових технологій, необхідно ухвалити низку рішень для цифрової трансформації:

1. Омніканальна система виконання замовлень – це спосіб спростити операції. Рішення для багатоканального замовлення поєднує найважливішу інформацію по кожному каналу. Це рішення особливо цінне для франшиз та підприємств. Якщо власник бізнесу керує кількома офісами, він може безпечно керувати кожною деталлю свого бізнесу. Така інформація може включати інвентар, дані про споживачів, замовлення, рекламні акції та багато іншого.

2. Будь-який ресторан, що пропонує доставку, також має забезпечити моніторинг замовлень у режимі реального часу. Ця функція дозволяє клієнтам відстежувати замовлення в режимі реального часу. Зробити статус замовлення доступним вигідно з багатьох причин. Найголовніше, це дає споживачеві впевненість у тому, що його замовлення перебуває у роботі. Оскільки це допомагає відповісти на поширені питання, це також допомагає уникнути телефонних дзвінків до ресторану.

3. Використання програмного забезпечення для бронювання ресторанів для всіх замовлень. Клієнти зможуть бронювати столик у ресторані незалежно від працівника. Таке рішення може підвищити задоволеність клієнтів, оскільки люди можуть не поспішати. Для систем бронювання також є безліч цифрових функцій. Фактично багато закусочних використовують їх для масштабування свого бізнесу. Незалежно від того, чи бронюють клієнти бронювання через настільний або мобільний додаток, це, безумовно, підвищить ефективність.

4. Голосове замовлення – це функція цифрової трансформації, яка швидко захопила галузь. Це зручно, ефективно та інноваційно. Голосове замовлення дозволяє клієнтам розміщувати замовлення за допомогою усного спілкування. Це не тільки стимулює споживачів до участі у бізнесі, а й допомагає забезпечити точність кожного прийому їжі. Клієнти можуть повідомляти конкретні запити та детальну інформацію про свої замовлення. При цьому вони можуть запросити практично все, що забажають. На додаток до цих переваг голосове замовлення може допомогти ресторану дотримуватися стандартів відповідності ADA. Він є унікальним способом замовлення їжі, допомагаючи закусочним стати більш інклузивним для мас.

5. Якщо виникає необхідність, щоб ресторан зазнав цифрової трансформації, рекомендується впровадити рішення для замовлення «зроби сам». Оплата за столиком у ресторанах – популярний приклад практики DIY у ресторанах. Настільні пристрої дозволяють клієнтам переглядати типи меню, розміщувати замовлення та оплачувати

рахунки. В таких ресторанах все це можна зробити без допомоги офіціантів. Ще одним прикладом системи замовень «зроби сам» є кіоски самообслуговування. Однією з великих переваг кіосків є те, що вони пропонують безконтактні платежі. Після пандемії COVID-19 багато закладів комунального харчування віддають перевагу безконтактним операціям. Цифрова трансформація – це екосистема, орієнтована на клієнта, тому цілком логічно, що бренды роблять цей процес простіше, ніж будь-коли.

6. З моменту винайдення смартфонів додатки для доставки залишаються однією з найзручніших пропозицій в індустрії гостинності. Різні інтеграції програм для онлайн-замовлення можуть поліпшити функціональність програм як для споживачів, так і для бізнесу. Допродаж і перехресний продаж – це дві області, які можуть запропонувати клієнтам більше, одночасно збільшуючи прибуток ресторану. Дослідження показують кореляцію між онлайн-замовленнями та вищою вартістю кошика, тому ці функції можуть бути дуже прибутковими. Крім того, програми заздалегідь запрограмовані на постійне відображення додаткових пропозицій. У звичайному ресторані офіціанті та офіціантки не можуть намагатися перепродувати замовлення.

7. Встановлення преміальних цін на ринку – новаторська функція для ресторанів. Розміщення замовень на торговому майданчику дозволяє закусочним приймати замовлення від клієнтів із різних торгових майданчиків (або додатків). Змінником гри є те, що кожне замовлення може надійти на POS-платформу ресторану. Рішення для ресторанів, розташованих поза приміщенням, дозволяють власникам бізнесу реалізовувати розміщення замовень на торговому майданчику. Цей аспект цифрової трансформації ресторанів стає все більш популярним з вагомих причин. Без розміщення замовень на торговому майданчику власникам ресторанів доводиться керувати кількома планшетами. Під час завантажених змін така практика може привести до плутанини, плутанини та перевантаженості співробітників.

8. Готельна індустрія повертає обслуговування номерів та послуги харчування у номері. Однак зараз вони більш інноваційні, ніж будь-коли раніше. Гості готелю можуть замовляти обслуговування номерів за допомогою планшета в номері. Ця функція вирішує проблему того, що не кожен гостя має доступ до Wi-Fi. Також корисно включати аудіо та візуальні функції. Цифрова трансформація включає безліч технологічних рішень, які можуть працювати для обслуговування їжі в номері. Від безконтактної доставки до попереднього планування замовлень існує безліч способів максимізувати ефективність.

9. Цифрова трансформація, яку ми спостерігаємо останнім часом в індустрії продуктів харчування та напоїв, дуже футуристична.

Багато підприємств інвестують у роботизовані технології, щоб оптимізувати складні процеси. Високотехнологічний крутій лайнер нещодавно почав використовувати роботів для виконання завдань. Вони використовують гаджети, які можуть створювати для пасажирів індивідуальні рецепти коктейлів. Хоча в галузі існує безліч інших прикладів, це один із найбільш новаторських та креативних проектів.

Ресторани мають перейти на цифрові технології, щоб скоротити витрати, максимізувати ефективність та збільшити прибуток. Також важливо відзначити, що ресторани часто покращують план реалізації своєї стратегії після цифрової трансформації [13].

Інновації в готельно-ресторанному бізнесі повинні містити, в першу чергу, ті нововведення, які супроводжуються:

- підвищення ефективності управління сталим функціонуванням та розвитком сфери гостинності в регіоні, країні;
- якісно новими змінами в готельно-ресторанному продукті;
- підвищенням ефективності інфраструктури;
- підвищенням ефективності процесів формування, позиціонування та споживання готельно-ресторанних послуг;
- прогресивними змінами факторів виробництва (наприклад, впровадження нових прогресивних методів (механізмів), скорочення часу обслуговування чи процесів збору/обробки інформації);
- підвищенням іміджу та конкурентоспроможності готельно-ресторанних підприємств.

ПОСИЛАННЯ

1. Андрієнко, А. О. (2023). Упровадження концепції «Smart City» в управління великими містами України. ГО «Європейська наукова платформа».
2. Buhalis, D., & Amaranggana, A. (2015). Smart Tourism Destinations Enhancing Tourism Experience through Personalisation of Services. *Information and Communication Technologies in Tourism. ENTER 2015 Proceedings of the International Conference in Lugano. Springer International Publishing*, 377–390.
3. Джиндюян, В. В., Тесленко, Т. В., & Горб, К. М. (2022). Інноваційні технології в туризмі та гостинності. ДГУ.
4. Лагодієнко, В., Павлов, К., Павлова, О., & Саркісян, Г. (2022). Інноваційна діяльність на регіональних туристичних ринках: модернізація та регулювання. Волиньполіграф.
5. Сазонець, І., & Сазонець, О. (2023) Управління проектами та ризиками в туризмі. «Центр учебової літератури».
6. Тесленко, Т. (2021). Інформаційна (цифрова) економіка як

чинник конкурентоспроможності в умовах адаптації до змін.
Humanities studies, 8(85), 57-69.

7. Suanpang, P., Netwong, T., & Chunhapataragul, T. (2021). Smart tourism destinations influence a tourist's satisfaction and intention to re-visit. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(S1), 1-10.

8. Фостолович, В., Павлова, С., & Гуртовий, Ю. (2023). Удосконалення системи управління закладом готельно-ресторанного бізнесу через поліпшення комунікаційних процесів. *Економіка та суспільство*, (56). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-114>

9. *Top 10 Hospitality Trends & Innovations in 2023 | StartUs Insights*. (б. д.). StartUs Insights. <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/hospitality-trends/>

10. Revolution Ordering. (б. д.-а). *Revolution Ordering*. <https://www.revolutionordering.com/blog/importance-of-information-technology-in-hospitality-industry>

11. *Top Hospitality Technology Trends in 2024 | Acropolium*. (б. д.). Bespoke Software Development Company — Acropolium. <https://acropolium.com/blog/top-hospitality-technology-trends/>

12. Revolution Ordering. (б. д.-б). *Revolution Ordering*. <https://www.revolutionordering.com/blog/cloud-computing-in-hospitality-industry>

13. Revolution Ordering. (б. д.-с). *Revolution Ordering*. <https://www.revolutionordering.com/blog/digital-transformation>

УДОСКОНАЛЕННЯ МАРКЕТИНГОВИХ КОМУНІКАЦІЙ БІЗНЕС-ОРГАНІЗАЦІЇ

Анастасія Куліш

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9874-5069>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Олександр Крупський

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

У сучасних умовах економіки надзвичайно важливою стає ефективна маркетингова комунікація. Інформаційний потік неспроможно зростає, і від цього залежить конкурентоспроможність будь-якого бізнесу. Роль маркетингу в процесі підтримки товарів на ринку лише зростає [1].

Сьогодні маркетингові комунікації займають провідне місце в стратегіях конкурентної боротьби. Це пов'язано з особливостями сучасного маркетингового середовища в Україні. Ефективне використання маркетингових комунікацій стає основою для створення стійкого позитивного іміджу підприємства, забезпечує йо-му ринкову владу та сприяє отриманню доступу до необхідних ресурсів [2, 28].

Наразі особливо актуальним є питання оптимізації корпоративної комунікаційної політики. У більшості вітчизняних підприємств недостатньо розвинуті маркетингові комунікації [9]. Часто вони не мають чітких стратегій комунікації, систем планування та контролю, не підкріплені відповідною інформацією, іноді навіть стикаються з проблемами у суб'єктивній оцінці результатів. Тому одним із ключових завдань для кожного бізнесу є раціональне поєднання різних комунікаційних стратегій для досягнення най-кращих результатів за мінімальні витрати. Ефективна комунікаційна політика стає необхідною умовою корпоративного успіху на ринку [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Еволюція маркетингових комунікацій у бізнес-організаціях проявляється у переході до соціальних мереж [22]. Ця трансформація зумовлена необхідністю двосторонньої комунікації та інтерактивної презентації продукту [22]. Ефективна комунікація, як внутрішня, так і зовнішня, має вирішальне значення для організацій, і менеджери повинні розуміти сильні та слабкі сторони різних способів комунікації

[14]. Маркетингові комунікації все більше стають діалогом між компаніями та клієнтами, якому сприяють різні технології [25]. Використання емоційного інтелекту та принципів клієнтоорієнтованого маркетингу, підкріплених новітніми комунікаційними технологіями, може ефективно впливати на поведінку споживачів [26]. Ебрен (2006) обговорює вплив про-грам інтегрованих маркетингових комунікацій на підвищення ефективності роботи менеджерів і співробітників [18]. Трансформація інформаційно-комунікаційних стратегій у постпандемічний період призвела до зсуву в бік цифрових медіа-платформ, що зумовило потребу в новому поколінні бізнес-комунікаторів [16]. Цей зсув особливо важливий для бізнесу, що працює в Інтернеті, де використання інтегрованих маркетингових комунікацій, зокрема банерної та контекстної реклами, онлайн-чату та email-маркетингу, має вирішальне значення для взаємодії зі споживачами [23]. Ці комунікації відіграють важливу роль у створенні бренду та ефективності бізнесу, а зв'язки з громадськістю та прямий маркетинг мають найбільший вплив на відомість бренду [17]. У комунікаційній галузі використання маркетингових стратегій має важливе значення для підвищення ефективності та вирішення галузевих проблем [21]. Ці дослідження в сукупності підкреслюють необхідність адаптації бізнесу до мінливого ландшафту маркетингових комунікацій, особливо завдяки використанню цифрових інструментів та інтеграції маркетингових стратегій.

Під поліпшенням маркетингового зв'язку розуміється необхідність створення більш інтегрованих та стратегічна орієнтація взаємодії з аудиторією та управління інформаційними потоками [2]. Сучасна стратегія маркетингової комунікації ураховує складні зміни в споживчій поведінці, що впливають на сприйняття інформації та взаємодію з брендами. Поліпшення також передбачає адаптацію до нових інформаційних технологій, ефективне спілкування через різні канали та форми комунікацій, а також засоби аналізу та вимірювання результатів. [4].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Головною метою цього дослідження є узагальнення різних підходів до розуміння сутності та складових маркетингових комунікацій, а також формулювання рекомендацій з їх вдосконалення в рамках стратегічного бізнес планування організації.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Маркетингова комунікація та її розвиток стали основою комунікаційної стратегії підприємства. Ефективна взаємодія зі споживачами є ключовим елементом успіху будь-якої компанії. Сучасне маркетингове середовище вимагає не лише розробки продуктів, які задовольняють потреби клієнтів, але й активного спілкування з ними. У цьому контексті важливо мати чіткий план маркетингових комунікацій, який відповідає стратегії компанії, маркетинговим цілям та планам [4]. Крім того, ефективність комунікацій є похідною від комунікативної [3] та економічної [12] культури особистості, і в період який почався з 2019 року, ці характеристики культури особистості потерпають суттєвих змін [27].

У світі сучасної жорсткої конкуренції роль маркетингових комунікацій для підприємств стає надзвичайно важливою. Вони є ключовим інструментом для взаємодії з аудиторією, впливу на споживачів та побудови бренду. У такому інформаційному суспільстві, як сьогодні, значення детально розроблених та ефективних стратегій маркетингових комунікацій стає ще вищим [6]. Маркетинг і методи маркетингової комунікації визнають змін і трансформацій. Нові інструменти, такі як "інформаційне проникнення", яке полягає в аналізі інформації для виявлення тенденцій і аномалій в базах даних. Маркетингові комунікації - це двосторонній процес, що включає вплив на цільову аудиторію та отримання зворотного зв'язку. Обидва аспекти є важливими, і їх взаємодія створює основу успішної маркетингової комунікації, яка досягає поставлені цілі та завдання [5].

Розвиток маркетингових комунікацій в Україні значно підняв інтерес місцевих споживачів адаптувався до поточних реалій ринку і поетапно впливав на формування споживчої поведінки. Маркетингова комунікація, як засіб взаємодії спільнота акторів у суспільстві, включає концепцію активного взаємодія з клієнтами, що сприяє об'єднанню виробників та покупців для взаємної користі [19]. Господарські організації виступають як інформаційні відправники та отримувачі. Вони освічують, застерігають та активізують цільові сегменти ринку. до створення обмінів, що задовольняють їхні потреби [7].

Стратегія маркетингової комунікації нарощує зацікавленість корпоративного менеджменту [24]. Стратегія маркетингової комунікації підприємства може бути описана як механізм, призначений для розповсюдження інформації, переконання та нагадування споживачам про її продукцію, забезпечення підтримки продажів та формування вигідне враження. Сучасний маркетинг потребує не лише виробництва продукція та прайсинг , доступних для цільової аудиторії.

Маркетингові комунікації стають центральним елементом конкурентного підходу. Раціональне використання них є основою для формування стійкого позитив-ного іміджу компанії, що забезпечує їй ринкову владу та позиції щодо конкурентів.

Комунаційні методи використовуються для взаємодії з аудиторією з метою передачі інформації, впливу на їхню поведінку та уявлення про бренд. Ось деякі з найпоширеніших: реклама, PR, соціальні медіа, контент-маркетинг, спонсорство та події, пряма комунікація з клієнтами. [10]. Маркетингові комунікації на підприємстві — це комплекс заходів і стратегій, спрямованих на інформування, переконання та нагадування цільовій аудиторії про товари, послуги або бренд підприємства. Вони включають використання різних каналів і методів для ефективного взаємодії з споживачами, партнерами та іншими зацікавленими сторонами з метою досягнення маркетингових цілей компанії [11].

Комунаційна маркетингова стратегія — це план дій, спрямований на ефективне використання різних комунікаційних каналів та інструментів для досягнення маркетингових цілей підприємства. Вона допомагає компанії донести свої повідомлення до цільової аудиторії, підвищити впізнаваність бренду, зміцнити відносини з клієнтами та стимулювати продажі [6].

Основні елементи комунікаційної маркетингової стратегії включають [8]:

Визначення цільової аудиторії: Розуміння, хто є вашими основними споживачами, їхні потреби, поведінка, демографічні характеристики та інтереси.

Формулювання ключових повідомлень: Визначення основних повідомлень, які компанія хоче донести до своєї аудиторії. Вони повинні бути зрозумілими, послідовними та відповідати потребам і цінностям споживачів.

Вибір комунікаційних каналів: Вибір найбільш ефективних каналів для донесення повідомлень до цільової аудиторії, таких як реклама, PR, соціальні медіа, контент-маркетинг, email-маркетинг, події тощо.

Розробка креативних матеріалів: Створення рекламних матеріалів, контенту для соціальних медіа, прес-релізів, статей, відео тощо, які будуть використовуватися для комунікації.

Планування та координація: Розробка детального плану з розкладом, бюджетом та розподілом ресурсів для реалізації комунікаційної стратегії.

Виконання стратегії: Реалізація запланованих заходів та кампаній згідно з розробленим планом.

Моніторинг та оцінка результатів: Відстеження ефективності комунікаційних зусиль за допомогою різних метрик і показників, таких як охоплення, залученість, конверсії, продажі тощо. Оцінка результатів дозволяє коригувати стратегію та підвищувати її ефективність.

Зворотній зв'язок та вдосконалення: Врахування відгуків від клієнтів і аналіз результатів для постійного вдосконалення комунікаційної стратегії.

Розробка і реалізація ефективної комунікаційної маркетингової стратегії допомагає компанії створити сильний бренд, покращити відносини з клієнтами і досягти своїх бізнес-цілей.

Основні компоненти маркетингових комунікацій представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні складові маркетингових комунікацій [7; 11; 13]

Складова	Характеристика
Реклама	Використання платних каналів для передачі комерційних повідомлень.
Продажі	Онлайн-продажі використовують веб-сайти, соціальні мережі та інші цифрові платформи для продажу продуктів та послуг. Це дозволяє компаніям досягти глобальної аудиторії та забезпечує зручність для споживачів, які можуть робити покупки в будь-який час.
Прямий маркетинг	Пряма взаємодія з клієнтами через електронну пошту, телефонні дзвінки, смс-повідомлення тощо.
PR (Public Relations)	Створення та підтримка позитивного іміджу компанії через взаємодію з медіа та громадськістю.
Зв'язки зі споживачами	Обслуговування клієнтів, зворотний зв'язок, програми лояльності, персоналізація, підтримка через різні канали
Промоції	Маркетингові дії, спрямовані на стимулювання споживчого попиту, залучення нових клієнтів та підвищення продажів за допомогою короткотермінових стимулів.

Маркетингові взаємодії відіграють важливу роль у формуванні та підтримці позитивного іміджу компанії, а також впливають на її дохідність і конкурентну перевагу. Грамотно налаштовані маркетингові комунікації здатні залучити нових клієнтів, підвищити їхню лояльність та забезпечити успіх на ринку. Покращення маркетингових комунікацій бізнесу – це важливий процес, спрямований на оптимізацію способів, якими компанія взаємодіє з аудиторією, споживачами і партнерами для досягнення стратегічних цілей. У сучасному світі, де інформація поширюється блискавично, а конкуренція постійно зростає, ефективні маркетингові взаємодії стають вирішальним чинником успіху. Давайте розглянемо кілька способів покращення

маркетингових комунікацій бізнес-організації у таблиці 2.

Таблиця 2 – Стратегії покращення маркетингових комунікацій в бізнес-організації [8; 13]

Методи	Опис
Оцінка маркетингових стратегій	Процес оцінки ефективності і придатності стратегій, що використовуються компанією для просування своїх товарів або послуг на ринку
Сегментація аудиторії	Докладно дослідити вашу мішень. Якщо ви розумієте їхні потреби, бажання і характеристики, ви зможете розробити ефективніші комунікаційні стратегії, які відповідають вашій мішенні.
Інтеграція онлайн та офлайн каналів	Застосовувати сумісне використання інтернет- та офлайн-платформ для взаємодії з аудиторією. Це може включати веб-сайт, соціальні мережі, електронну пошту, а також традиційні канали, такі як друковані матеріали і телефон.
Створення цікавого контенту	Сучасні покупці оцінюють цікавий і корисний вміст. Подумайте про можливість створення блогу, відеоматеріалів, або інфографіки, які привертають увагу та передають цінне інформаційне навантаження.
Використання аналітики	Ключово важливо аналізувати вплив маркетингових спілкувань і використовувати отримані дані для їх поліпшення. Варто уважно спостерігати за показниками результативності і відповідно до цього наплаштовувати стратегії.
Комунікація з клієнтами	Уважно враховувати думку своїх клієнтів і реагувати на їх запитання та відгуки. Активна спільнота зі споживачами може позитивно вплинути на імідж компанії.
Застосування різних каналів комунікації	Ось декілька з найпоширеніших каналів взаємодії: веб-платформа, соціальні мережі, електронна пошта, традиційні ЗМІ, радіо та телебачення. Важливо обрати ті, які найбільше відповідають потребам бізнесу та цільової аудиторії.
Тестування та оптимізація	Постійно тестуйте різні складові вашої комунікації, такі як заголовки, графіка, час показу інтернет-реклами і так далі, щоб визначити найбільш результативні варіанти.
Освіта та розвиток персоналу	Забезпечити персонал необхідними компетенціями для успішної взаємодії в маркетингових комунікаціях.

Покращення маркетинової комунікації потребує систематичної праці та гнучкості у пристосуванні до змін на ринку та в споживчому середовищі. Це дозволяє не лише зберегти, а й збільшити конкурентну перевагу підприємства. Покращення маркетингових комунікацій це процес підвищення ефективності та якості спілкування з аудиторією з метою досягнення маркетингових цілей підприємства. вдосконалення стратегії комунікації бізнес-організації повинно враховувати соціальний обмін емоціями в соціальних мережах[15], оскільки ці обміни відіграють ключову роль у формуванні довіри та емоційного

зв'язку з аудиторією. Крім того, ефективність маркетингових комунікацій бізнес-організації може бути значно збільшена за допомогою використання коміксів у медійних можливостях[28], що дозволяє передавати ідеї та привертати аудиторію у новаторський спосіб.

Висновки даного дослідження та можливості для подальших досліджень у цьому напрямі. Після проведеного аналізу було виявлено декілька ключових факторів, які сприяють удосконаленню маркетингової взаємодії у сучасному бізнесі. Розробка стратегії комунікації в маркетингу є важливим етапом ефективної маркетингової стратегії. Кожна компанія повинна мати чіткий план, який відповідає її цілям та потребам ринку. Розділення цільової аудиторії на сегменти індивідуалізовані комунікації, що краще відповідають потребам та потребам клієнтів. Застосування різноманітних засобів комунікації враховує різноманітність способів, за допомогою яких аудиторія отримує повідомлення. Багатоканальна стратегія забезпечує присутність на різних майданчиках. Розробка високоякісного вмісту є основним компонентом привертання інтересу споживачів. Першокласний та захоплюючий інформаційний матеріал сприяє приверненню та утриманню уваги аудиторії.

Аналіз є важливим фактором для постійного удосконалення стратегій маркетингових комунікацій. Слідкування та оцінка результатів допомагають визначати результативність застосованих заходів та коригувати підхід. Зростає значущість взаємодії зі споживачами стає більш суттєвою частиною успішних маркетингових стратегій. Слухання споживачів та відкритий обмін інформацією сприяють побудові позитивних відносин.

Висновки

Після проведення аналізу виявлено декілька ключових факторів, які сприяють поліпшенню маркетингових комунікацій у сучасному бізнесі. Розробка стратегії маркетингових комунікацій є важливим етапом успішної маркетингової діяльності. Кожна компанія має мати чіткий план, що відповідає її цілям та потребам ринку. Розділення аудиторії допомагає підприємствам створювати більш персоналізовані способи взаємодії, які краще відповідають потребам і очікуванням клієнтів. Використання різних засобів спілкування враховує різноманітність способів, якими аудиторія отримує інформацію.

Багатоканальна стратегія сприяє підприємствам активнішому представленню на різноманітних платформах. Розробка високоякісного вмісту є ключовою складовою стратегії привертання уваги покупців. Привабливий контент сприяє привертанню та збереженню

аудиторії.

Аналіз є ключовим для постійного покращення маркетингових комунікацій. Моніторинг та оцінка результатів допомагають визнати ефективність заходів та коригувати стратегію. Взаємодія зі споживачами стає все більш суттєвою складовою успішних маркетингових комунікацій. Слухання споживачів та відкритий обмін думками сприяють формуванню позитивних відносин.

ПОСИЛАННЯ

1. Балабанова, Л. В., Холод, В. В., & Балабанова, І. В. (2019). *Маркетинг підприємства: навч. пос.* Київ: Центр учебової літератури. 612 с.
2. Войнаренко, С. М. (2020). Комунікативна політика підприємств у сучасних умовах. *Вісник Хмельницького Національного Університету*, (6), 51–54. Retrieved from [http://lib.khnu.km.ua/pdf/visnyk_tup/2011/\(181\)2011-6-volume2-e.pdf#page=51](http://lib.khnu.km.ua/pdf/visnyk_tup/2011/(181)2011-6-volume2-e.pdf#page=51).
3. Крупский, А. П., & Стасюк, Ю. М. (2009). Коммуникативная компетентность как необходимый элемент профессиональной культуры менеджера. *Педагогіка вищої та середньої школи: [збірн. наук. праць]*, 111-116. <https://doi.org/10.31812/edudim.6908>.
4. Лук'янець, Т. І. (2021). *Маркетингова політика комунікацій: навч. пос.* Київ: КНЕУ. - 524 с.
5. Міронова, Ю. В., Кагляк, О. О., & Пітик, О. В. (2016). Науково-теоретичні основи дослідження маркетингових комунікаційних процесів на підприємстві. *Вісник Хмельницького Національного Університету. Економічні науки*, (1), 207–214.
6. Новикова, Н. В., & Черненко, С. В. (2019). Організація інтегрованих маркетингових комунікацій. *Економіка. Менеджмент. Бізнес: збірник наукових праць*, (1(9)), 130.
7. Окландер, М. А. (2020). *Маркетингові комунікації промислових підприємств в умовах інформаційної економіки*. Київ: Знання. - 265 с.
8. Павленко, І. Г. (2020). Комунікаційна політика як елемент системи маркетингу підприємства у процесах сучасного комунікаційного суспільства. *Академічний огляд*, (1(38)), 109–113. Retrieved from <https://acadrev.duan.edu.ua/images/stories/files/2013/Articles/16.pdf>.
9. Павлов, Р. А., & Павлова, Т. С. (2023). Образ постмодерністського споживача продуктів культури. *Підприємництво: сучасні виклики, тренди та трансформації*, 310-333. Retrieved from <http://www.confcontact.com/2023-kolektyvna-monographiya/Statty-a-Pavlov-Pavlova.pdf>.

10. Пілько, А. Д. (2022). Сучасні тенденції розвитку моделей маркетингових комунікацій. *Актуальні проблеми розвитку економіки регіону*, VII(2), 253–260. Retrieved from http://lib.pnu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/4394/1/aprer_2011_7%282%29_48%20%286%29.pdf.
11. Пономарьова, Н. М. (2019). Новітні підходи до сучасних маркетингових комунікацій. *ХНАДУ*, (3), 75–86.
12. Стасюк, Ю. М. (2009). Формування економічної культури молодого фахівця. *Особистість у просторі культури: Матеріали Всеукраїнського науково-практичного симпозіуму*, 24, 100-102.
13. Цуканова, І. В., & Зозульов, О. В. (2019). Особливості формування інтегрованих маркетингових комунікацій на ринку консалтингових послуг. *Актуальні проблеми економіки та управління: Зб. Наук. Праць*. 7. Retrieved from <http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2013-2.pdf>.
14. Blazenaite, A. (2011). Effective organizational communication: In search of a system. *Socialiniai mokslai*, 4(74), 34-44. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ss.74.4.1038>.
15. Chornobylskyi, A., Kyrylova, O., Krupskyi, O., & Khotiun, L. (2023). Social Sharing of Emotions in Social Media System on the Example of Creepypasta on Reddit. *Information & Media*, 96, 65-79. <https://doi.org/10.15388/Im.2023.96.66>.
16. Cooper, H. B., Ewing, M. T., Jayasinghe, L., Struweg, I., & Wait, M. (2024). Marketing communication education in developing countries: Post-pandemic insights from India and South Africa. *Journal of marketing communications*, 30(2), 242-264. <https://doi.org/10.1080/13527266.2023.2208131>.
17. Cvjetković, M., Cvjetković, M., & Stepanov, S. (2021). The Role of Integrated Marketing Communications in Building a Brand and Improving Business Performance. *7th LIMEN Selected Papers (Part of LIMEN Conference Collection)*. <https://doi.org/10.31410/limen.s.p.2021.77>.
18. Ebren, F. (2006). Impact of Integrated Marketing Communications Programs in Enhancing Manager and Employee Performance. *Human And Economic Resources Proceedings Book*, 14. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/5138906_Impact_of_Integrated_Marketing_Communications_Programs_in_Enhancing_Manager_and_Employee_Performance.
19. Gržanić, M., Capuder, T., Zhang, N., & Huang, W. (2022). Prosumers as active market participants: A systematic review of evolution of opportunities, models and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111859. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111859>.
20. Hudoshnyk O. (2022). Comics as a Tool of Modern Scientific Communication. *Communications and Communicative Technologies*, 22,

-
- 54–60. <https://doi.org/10.15421/292206>.
21. Minarova, M. (2023). Using marketing strategies to improve the efficiency of communications enterprises. *Economics and Education*, 24(1), 300–306. https://doi.org/10.55439/eced/vol24_iss1/a46.
22. Nair, G. T., & Subramaniam, K. (2012, February). Transformation of traditional marketing communications into paradigms of social media networking. In *Asia Pacific Business Research Conference* (pp. 13-14).
23. Pulina, T., Shmygol, N., Polcyn, J., & Varlamova, I. (2023). Ways to enhance marketing communications and advertising for businesses on the internet. *Change Management and Innovation*, (7), 7-11. <https://doi.org/10.32782/CMI/2023-7-1>.
24. Sheth, J. N., & Parvatiyar, A. (2021). Sustainable marketing: Market-driving, not market-driven. *Journal of macromarketing*, 41(1), 150-165. <https://doi.org/10.1177/0276146720961836>.
25. Soualhia, A., Maazoun, W. E., & Affes, P. H. (2014). Trust and its link with the knowledge management systems. *International Journal Economics & Strategic Management of Business Process*, 4(2004), 53-60. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Wafa-Elleuch-Maazoun/publication/369762840_Trust_and_its_link_with_the_knowledge_management_systems/links/642bd8ddad9b6d17dc33daed/Trust-and-its-link-with-the-knowledge-management-systems.pdf.
26. Vetrivel, S. C., Gomathi, T., Sowmiya, K. C., & Sabareeshwari, V. (2024). Customer-Centric Excellence in the Marketing 6.0 Era: Industry 6.0. In Advanced Businesses in Industry 6.0 (pp. 192-219). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch013>.
27. Vivek, R., Nanthalagopan, Y., Piriyanthaarshan, S., & Krupskyi, O. P. (2023). Teaching Practices in the New Normal: Qualitative Inquiry (Sri Lanka Case). *Advanced Education*, 11(23), 170–189. LOCKSS. <https://doi.org/10.20535/2410-8286.290370>.
28. Vorobiova, V. V., Krupskyi, O. P., & Stasiuk, Y. (2023). The Role of Digital Technologies in Modern Trade: A Study of Global Trends and Prospects for Ukraine. *Economic journal Odessa polytechnic university*, 2(24). <https://doi.org/10.15276/EJ.02.2023.5>.

OPEN ARCHIVES INITIATIVE: A FAST WAY OF INTEGRATION INTO GLOBAL OPEN SCIENCE

Yuriii Tkachov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1556-2463>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INTRODUCTION

The idea of creating a technology for collecting metadata from open archives dates to the late 1990s. At that time the scientific community was faced with the issue of disparity and inaccessibility of scientific data, which made it difficult to exchange knowledge and collaborate between researchers. To solve this problem **Open Archives Initiative** (OAI) was launched, which aimed to create an open, standard and interoperable platform for the collection and exchange of metadata (*Open Archives Initiative*, n. d.).

In 1999, the first meeting of representatives of libraries, archives and publishers was held in Santa Fe, New Mexico, where the basic principles and requirements for the new technology were agreed upon. The main goal was to create a protocol that would allow different archives to easily exchange metadata without the need to create complex interfaces or adapt to the specific systems of each archive.

The result of this meeting was the development of **Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting** (OAI-PMH), which was officially published in 2001. The protocol provides a simple and standardized mechanism for harvesting metadata from different archives and providing access to them through a single interface.

The main directions of implementation of OAI-PMH were as follows:

- ensuring open access to scientific data and the possibility of free exchange of metadata between archives, which would facilitate the availability of this data for all interested parties;
- ensuring data interoperability by developing a single standard for metadata that would allow easy integration of data from different sources;
- improving scientific communication through knowledge sharing and collaboration between researchers by providing access to relevant scientific publications and data;
- stimulating the development of tools that meet OAI specifications and help developers create new services and tools that work with various data sources and contribute to the development of open science.

Since its inception, OAI-PMH has undergone several changes and

improvements aimed at increasing its efficiency and adapting to new technological requirements. The protocol has become the basis for many modern open science platforms, providing integration and access to scientific data worldwide.

However, like any technology, OAI-PMH has its challenges. The protocol implementation process requires specific technical knowledge and resources, as well as adequate support from organizations. Despite this, OAI-PMH remains an important tool for the development of open science and scientific communication in the modern world.

Undoubtedly, the scientific community has a need for open access to scientific data and publications, which makes the implementation of the Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting an important tool for supporting open journals, conferences and repositories. This protocol allows you to efficiently collect metadata from different sources and guarantee their compatibility. However, the process of implementing and integrating OAI-PMH is not without problems, many organizations face various challenges along the way.

PURPOSE

This study aims to analyze and summarize the practical experience of deploying and integrating platforms for open journals, conferences and repositories with support for Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting (OAI-PMH), highlighting errors and difficulties that may be encountered by managers and administrators of journals and repositories, as well as conference organizers, and offering recommendations for preventing and avoiding these problems.

RESEARCH METHODS

The research methodology includes the analysis of real cases. Applied methods of testing, validation of the OAI-PMH protocol, observation, study of regulatory and technical documents.

One of the key aspects of the research was the study of the most common free software for open repositories and journals. This software plays an important role in providing support for the OAI-PMH protocol and facilitates the availability of scientific data.

OVERVIEW OF PLATFORMS SUPPORTED BY OAI-PMH

Determining the prevalence of software for the deployment of open institutional or scientific repositories turned out to be a very easy task

(fig. 1) according to the distribution rating of the OpenDOAR catalog (*OpenDOAR Statistics - Sherpa Services*, n. d.).

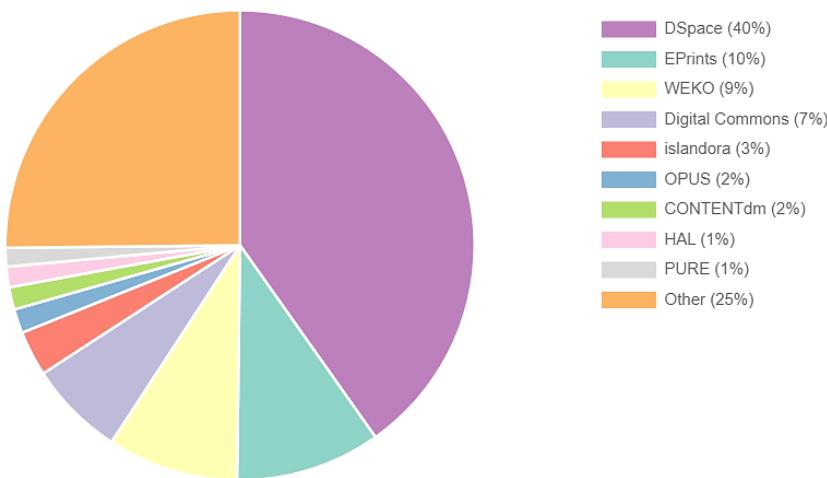


Figure 1 – Software platforms overview according to the OpenDOAR

Therefore, the undisputed leaders in the segment of repositories, which collectively cover 50% of use cases, are DSpace and EPrints.

DSpace is an open-source platform for creating and managing digital repositories, developed at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) and widely used by libraries, universities, academic institutions, and other organizations to store and provide access to their digital collections. DSpace is suitable for storing a wide range of digital resources such as articles, books, images, audio and video recordings, datasets and much more. This system offers a wide range of functions that facilitate the collection, cataloguing, preservation and provision of access to digital collections (*DSpace Home - DSpace*, n. d.). DSpace is used by institutions around the world, including the Massachusetts Institute of Technology, Harvard University, the National Library of Australia, and the Library of Congress.

The main characteristics of DSpace can be noted:

- it's open-source software, which means it's free to use and modify, making it an affordable option for organizations with limited budgets;
- DSpace can be customized to meet the specific needs of an organization, the software offers a wide range of features that can be turned on or off, and can be extended with plugins and modules;

- such a repository can scale to support any size digital collection, from a small number of items to millions;
- it is a reliable and sustainable platform capable of storing and providing access to digital collections;
- this platform supports a wide range of standards, including Dublin Core, MARC21 and OAI-PMH, making it an indispensable tool for integrating with other systems and sharing digital collections.

EPrints was one of the first platforms for open-source repositories. Many universities and research institutions started deploying it in the early 2000s, so it has a long history and a large user base, developed at the University of Southampton (UK) and widely used by libraries, universities, research institutions and other organizations for storage and access to their digital collections. EPrints is a powerful and flexible platform that can be deployed to store a wide range of digital assets, including articles, books, images, audio and video recordings, datasets and more. It offers a wide range of functions that facilitate the collection, cataloguing, preservation and provision of access to digital collections (*EPrints Services*, n. d.). EPrints is implemented by organizations around the world, such as the University of Southampton (UK), University of Manchester (UK), University of Queensland (Australia), University of Toronto (Canada).

I can also focus on covering the main features of EPrints after the features of DSpace, but you're guaranteed to have a sense of déjà vu afterwards. It's only logical because DSpace and EPrints really do provide the same management capabilities for digital repository collections.

What is the phenomenon of the popularity of DSpace and EPrints, and at the same time, why is there such a significant discrepancy, if you look at the statistics of implementation (fig. 1), 40% and 10% is a noticeable difference, and what exactly are the differences?

1. Number of supported language localizations.

According to official sources, both platforms DSpace (*Features - DSpace*, n. d.) and EPrints (*Browse by Type - EPrints Files*, n. d.) support 22 interface languages, but this is not an exact number, because some unannounced language localizations are in the process of development, they are available for download, but may be partially completed. In conclusion it can be argued that both platforms are the same in this respect. The number of language localizations really matters and can significantly influence the choice of software for open repositories. Native language support makes the system more attractive and convenient for users, promotes its spread and successful implementation in different countries.

2. Attractiveness of frontend visualization.

In fact, repositories differ from file archives, digital libraries, other resources for hosting various content, because they are purely technological

resources, the main function of which is to ensure the correct distribution of metadata according to the OAI-PMH protocol to display them correctly in scientific search engines such as Google Scholar, Crossref, OpenAIRE, DOAJ, BASE and others.

Therefore, the presence of advanced search functions, attractive and visual presentation of data, filtering and structuring of resources according to certain characteristics are secondary. In other words, repositories may have limited functionality in the context of data presentation, compared to digital libraries or file archives, which are focused on providing access to collections of digital materials such as books, articles, images, but do not necessarily support OAI-PMH.

However, the external interface (frontend) of any information system should be oriented towards people, not machines, that is, it should have the usual quality indicators, at least aesthetics and ergonomics. In this context, EPrints is significantly inferior to DSpace. EPrints frontend looks dated and unattractive to say the least, unlike DSpace which looks modern and well adapted for mobile viewing.

3. Intensity of project development.

Project development and regular updates that add new features and improve user interaction are one of the factors that influence the popularity of the software. If you look at the history of EPrints versions (*History - EPrints Documentation*, n. d.), during the years 2011–2018 the project did not develop, and from 2018 to 2023 only small incremental updates of the current version were released. Consequently, the lack of active development and regular updates of EPrints for many years has negatively affected its popularity, especially in terms of competition with other, active projects.

If you look at the development of DSpace (*Releases - DSpace - LYRASIS Wiki*, n. d.), you can see that this software is very actively developing, trace the development prospects and even plans for future releases.

4. Quality of technical documentation

Almost any community-driven open-source project is characterized by poor documentation. In this context, DSpace (*Installing DSpace - DSpace 7. x Documentation - LYRASIS Wiki*, n. d.) and EPrints (*Category: Installation - EPrints Documentation*, n. d.) are not exclusive. To begin the deployment of any web platform, the system administrator needs to understand at least, first, the server software requirements, which are generally absent in the documentation, and second, it is desirable to have a rough step-by-step guide for installing and deploying the system. Unfortunately, in both cases, this part of the documentation is written very poorly, there is no clear logic and sequence.

The only alternative is to find articles on thematic sites or blogs that

are written by those who have already covered this path - the community of users and developers often becomes the main source of support and documentation for open-source projects. They create forums, blogs, video tutorials and other resources to help new users learn such systems. The lack of official documentation can be partially compensated by the resources listed, but it also creates unequal access to knowledge, as not all users can find or understand unofficial materials. Clear and logically structured step-by-step instructions help reduce the time and effort required to deploy the platform. The absence of such instructions forces system administrators to spend more time searching for information and solving problems, which can reduce the effectiveness of software implementation.

5. Software implementation.

Anyone who works in the field of network technologies understands that LAMP is the de facto industry standard for deploying a web server, it is a software bundle, also called a stack. LAMP is an acronym for Linux, Apache, MySQL, PHP (*Что такое стек LAMP? – Объяснение стека LAMP – AWS*, n. d.). Alternatives to PHP in some cases may be Perl or Python. It is necessary to add to this information some technical details regarding the link that ensures the execution of external backend applications on the server side, their interaction with the database server and the visualization of the frontend - the graphical user interface in the form of dynamic website pages during HTTP / HTTPS requests, as well as compare them. It is common knowledge that all programming languages are either compiled or interpreted (freeCodeCamp.org, 2020), sometimes they may partially combine both technologies. Comparing three programming languages (Java, Perl and PHP) in relation to the studied platforms, it can be stated that:

– Java is compiled into machine code before execution, making it the fastest of the three languages, may be the best choice for developing large and complex enterprise-level systems, as the language offers high scalability, reliability and security;

– Perl has a compiler-like interpreter that generates virtual machine code before execution, making this language slightly faster than PHP, it may be a better choice for tasks that require regular processing of textual data as it has advanced capabilities;

– PHP interprets line by line, making it the slowest of the three languages, but it can be a better choice for developing websites and web applications because it has a wide ecosystem of web development frameworks and tools.

Returning to the study of DSpace and EPrints, the following can be argued. DSpace is an enterprise-level platform that dynamically develops and updates. Thanks to the use of Java, the programming language on

which this system is built, DSpace provides reliable and fastest processing of collections consisting of thousands, tens, even hundreds of thousands of resources, which really makes it popular.

However, not all institutions can afford to deploy and operate such a system with limited resources for the following reasons:

- a non-standard, arguably uncommon, and even unique, server software stack;
- to ensure reliable and productive functioning of the system, ideally, at least three servers should be put into operation - a server for the backend of the system, a server for the frontend of the system, and a server with a reverse web proxy that provides external interaction; whether it will be physically one computer or several, it depends on the institution's budget and the projected amount of data that will be stored in the future.

EPrints is a platform that provides similar functionality when compared to DSpace, but practically without the above-mentioned disadvantages. Installation requires an almost standard LAMP server software stack, except Perl instead of PHP. Moreover, Perl turns out to be more productive than PHP, and this is undoubtedly a positive factor. In addition, such a web server with adequate performance can coexist with other systems that require a LAMP stack, for example, WordPress for an institution's website or a news blog (*Download*, n. d.). This option is economical, because for certain technical reasons it is possible to avoid the mandatory commissioning of a separate server.

In this study, I will not focus on a detailed analysis of other well-known platforms for open repositories that occupy another 25% of the distribution, but I will certainly explain why. Common reasons are proprietary, commercial, lack of language localizations or limited support for these systems. However, I will focus on one more system, which is not a platform for open repositories, but its principles of operation and the main function of providing open access to scientific data according to the OAI-PMH protocol are similar – this is **Open Journal Systems (OJS)** (*Public Knowledge Project*, n. d.).

The main difference between platforms for open repositories and platforms for open journals is precisely the presence or absence of a system that ensures the process of submission of scientific papers and the workflow of publishing.

The main function of repositories is to store and provide access to scientific materials such as articles, dissertations, reports, research data, etc. They provide long-term archiving and easy access to these materials. Repositories do not have integrated tools for managing the process of submitting articles, their review and editorial work. This means that authors can upload their work directly to the repository, and these works usually

do not go through a formalized review process before publication.

Platforms of open journals have comprehensive tools for managing the entire workflow of publishing activities, which consists of the following stages:

- submission of articles through the system;
- reviewing, in particular with the possibility of appointing anonymous reviewers to evaluate and provide feedback on submitted works;
- editorial work, which ensures the process of reviewing, accepting or rejecting articles;
- communication with authors at all stages of the publishing process;
- publication of the article on the journal website after review and editorial processing of the article.

I was unable to find data that would clearly demonstrate quantitative indicators of the use of software platforms for open journals in the same way as for repositories (fig. 1). However, a 2021 study by the OA Diamond Journals team, shows that about 60% of open access journals work on Open Journal Systems. OJS covers more than 34,000 journals worldwide, in about 150 countries, with more than 6 million articles in more than 60 languages. This platform is also selected for several national open access publishing portals (*Solution: Open Journal Systems (OJS) | Infra Finder*, n. d.).

The key to the success of the Public Knowledge Project (PKP) for the past two decades has been its commitment to writing, maintaining and releasing free and open-source software for publishing platforms and workflows – namely Open Journal Systems (OJS), Open Monograph Press (OMP) and Open Preprint Systems (OPS) which support access to the most modern open scientific publications and fully comply with OAI-PMH specifications. The following main characteristics of OJS can be outlined.

1. Number of supported language localizations.

According to official sources, OJS fully or partially supports 113 interface languages at the time of writing. The translation process is in constant development and varies in degree of completion (*Open Journal Systems*, n.d.).

2. Attractiveness of frontend visualization.

OJS currently supports 6 user interface themes that are available to download, install and update through the plugin gallery, and there are other themes that can be downloaded from third-party resources. Each of the themes offered has a greater or lesser number of settings. In addition, the possibility of more flexible debugging is provided by loading your own custom CSS style sheets. So, it can be argued that the frontend visualization of this system can be configured to almost any taste as needed and desired.

3. Intensity of project development.

If you look at the development of OJS, you can conclude that it is a project that is developing very rapidly and is supported by the developer community. Now two versions are offered for download - the LTS (Long-Term Support) version, which is characterized by guaranteed stability and is released approximately once every 3-4 months, and the version, which contains a greater number of innovations, but has a shorter support period, is released once 2-3 months (*Release Archive for OJS - Public Knowledge Project*, n. d.). Having two versions (LTS and ground-breaking version) allows users to choose between stability and innovation. This increases flexibility and allows users to choose the version that best suits their needs. Regular updates ensure that the system remains up-to-date and secure.

4. Quality of technical documentation.

The quality of the documentation is not very different from the documentation for any open-source project, in general it can be considered satisfactory. The main thing that causes confusion at first glance, as a clear example of a gap in the documentation, is the description of the installation process, which only talks about deploying the test system on the localhost. Not a word about how to do it on a real server and with the help of remote access. In addition, the options of the configuration file are not systematized, their description is scattered, situational and incomplete.

5. Software implementation.

The great advantage of OJS, in my opinion, is the support of the standard LAMP server stack, which reduces the system deployment process to a standard procedure that even students can perform in a few laboratory sessions (Ткачов, 2023, c. 81-85). The installation process is basically no different from installing the world's most popular content management system WordPress, which is used by more than 43% of sites.

As for the other platforms that make up the remaining 40% of open access journal distribution, here are the two most significant:

– ScholarOne is offered by Clarivate, a commercial journal publishing platform implemented by many prominent publishers whose journals are indexed in Web of Science. It offers a wide range of features, including tools for managing submissions, reviewing and publishing (*ScholarOne Journals Workflow Management Software | Clarivate*, n. d.);

– Editorial Manager, promoted by Elsevier, is another commercial journal publishing platform used by many publishers whose journals are indexed in Scopus. It is similar in functionality to ScholarOne but offers some unique features such as a plagiarism detection tool. Editorial Manager also integrates with many other systems (*Submission systems | Editor | Elsevier*, n. d.).

DISCUSSION AND FINDINGS

This survey examines only a few of the many available platforms for open access repositories and journals. The best platform for you will depend on the goal of the project, specific needs and budget. When choosing a platform, the following should be considered first.

1. Your budget, which covers the following aspects:
 - the cost of the system if you choose the commercial option;
 - the cost, and related performance, of server equipment;
 - the cost of maintaining your resource, in particular the salary costs associated with labor-intensive service processes;
 - the cost of resource, at least for electricity, possibly also for the air conditioning and ventilation system of server rooms, if the placement of servers is not provided by the internet provider, and you do it at the expense of internal resources.
2. Your qualifications, or the qualifications of the personnel in the division of your institution, which deals with information technologies and ensuring the proper functioning of the network infrastructure.
3. Functionality of the implemented system in the context of your tasks and needs.
4. Ease of use and documentation. How easy is the platform to use? Will your researchers, editors, and reviewers be able to use it easily?
5. Support from developers. What level of support is offered for the platform? Are there resources available to help use the platform?
6. The possibility of integration with other systems, if any. Does the platform integrate with other systems you have implemented, such as your library system or research management system?

Top tip – do your research on different open access repository or journal platforms before choosing the one that's right for you. You'll be able to compare features, prices, and other factors on these platforms' websites, as well as read reviews on forums.

PRACTICAL RECOMMENDATIONS

1. Validation of the correct operation of the OAI-PMH protocol.

Immediately after deploying the platform, even if you have not decided on the structure and way of presenting the data, follow this process. If you encounter OAI-PMH errors, you have only two alternatives - to look for ways to fix the errors or to choose another platform or another version of it. If there are OAI-PMH errors, then further debugging and deployment of the system does not make any sense.

OAI-PMH validation is performed using various online services, the

most famous of which are:

- «OVAL :: BASE OAI-PMH Validator» (*OVAL :: BASE OAI-PMH Validator*, n. d.);
- «OAI-PMH Validator & data extractor» (*OAI-PMH Validator & data extractor - OAIPMH.com*, n. d.);
- «OpenAIRE's Repository Manager» (*OpenAIRE's Repository Manager*, n. d.);
- «OAI-PMH Data Provider Validation and Registration» (*OAI-PMH Data Provider Validation and Registration*, n. d.).

If you are planning to upgrade a production system to a new version, I would strongly recommend that you first install this upgrade on a test server and make sure that the OAI-PMH in the new version works and passes all validation tests.

2. System testing.

Conduct system testing in several directions, which will allow you to identify and eliminate possible problems at the early stages:

- find out if there are no critical system errors on the server during the launch of the main work processes;
- check the load on the server's processor, find out how many free resources remain after installing the system, and make appropriate conclusions about whether they are enough or whether a more productive server is needed;
- conduct testing with a large amount of data to determine how the system behaves under heavy loads, this will help identify the need for scaling;
- evaluate the speed of the system, in particular the speed of response to user requests and performance during operation, because now a long response time has begun to "annoy" search engine robots and is one of the reasons for poor content indexing.

3. Backup.

Find out exactly which data is critical and how you need to make backup copies that will ensure system recovery in the event of server equipment failure. Automate this process with command scripts to save time and reduce manual work. Determine how often you want to create backups. It can be daily, weekly or other periodicity, depending on the volume and frequency of changes in the information. Consider storing backups. It is best to have multiple copies on different media such as remote servers, external hard drives or cloud storage to protect against accidental deletion or corruption. Periodically test the backup restore procedure to ensure that it is working correctly. Testing will help to avoid unpleasant surprises in the event of a real need for recovery.

4. Development of detailed user and service documentation.

Develop detailed, illustrated, and most importantly, clear instructions for users. Train users, administrators, and technical staff. This will contribute to more efficient use of the system and reduce the number of operational errors. Keep the documentation current by regularly updating and adding new material, especially after new versions of the system or changes in functionality.

5. Moderation.

In fact, practical experience shows that no matter how detailed the user documentation is, how much time you devote to training users, all the "gaps" in which you cannot limit their actions by technical means turn out to be problematic over time. Only you understand that everything should be templated, uniform and presented according to certain norms, requirements or standards. Surprisingly, users do not want to understand this. So, without moderation, your project will slowly turn into a chaotic dump from the very beginning. It is good if this process does not affect the general operation of the platform, but the search function and the correctness of the information structure will be affected for sure.

CONCLUSIONS

1. The study expands the understanding of problems and challenges in the field of open science regarding the organizational and technical aspects of the deployment of platforms with the support of OAI-PMH.

2. The most popular platforms for deploying open access repositories and journals are considered, their advantages and disadvantages are shown.

3. The key errors and difficulties that organizers may face during the implementation of information resources with the support of OAI-PMH are identified, namely:

- incorrect implementation of the OAI-PMH protocol, the presence of errors in some specifications or functions of the protocol;

- lack of detailed system, technical and operational documentation;

- integration difficulties related to compatibility with other systems and platforms;

- lack of resources, both technical and financial, as well as human.

4. Based on the conducted research, practical recommendations for administrators and managers of open journals and repositories were developed. This information will also be useful when deploying open conferencing platforms. Practical approaches are proposed to ensure the reliable operation of the metadata collection protocol, initial debugging and further integration of these platforms.

5. The results of the study indicate that the successful operation of OAI-PMH requires not only a technical understanding of the protocol, but also a clear strategy and support at all levels of the organization. Technical operational errors can be minimized by developing detailed documentation and training personnel. Problems such as lack of resources require the involvement of management and the provision of adequate project financing.

6. The study is limited to case studies and does not cover all possible aspects of deployment and integration of OAI-PMH enabled platforms. Future research could focus on quantifying the implementation effectiveness of these platforms and their long-term impact on open science. Additionally, it is worth considering the influence of various social and economic factors on the success of OAI-PMH implementation.

REFERENCES

1. *Open Archives Initiative*. (n. d.). Open Archives Initiative. <https://openarchives.org/>
2. *OpenDOAR Statistics - Sherpa Services*. (n. d.). Research Funders' Open Access Policies - Sherpa Services. https://v2.sherpa.ac.uk/view/repository_visualisations/1.html
3. *DSpace Home - DSpace*. (n. d.). DSpace. <https://dspace.lyrasis.org/>
4. *EPrints Services*. (n. d.). EPrints Services. <https://www.eprints.org/uk/>
5. *Features - DSpace*. (n. d.). DSpace. <https://dspace.lyrasis.org/features>
6. *Browse by Type - EPrints Files*. (n. d.). Welcome to EPrints Files - EPrints Files. <https://files.eprints.org/view/type/translation.html>
7. *History - EPrints Documentation*. (n. d.). EPrints Documentation. <https://wiki.eprints.org/w/History>
8. *Releases - DSpace - LYRASIS Wiki*. (n. d.). Dashboard - LYRASIS Wiki. <https://wiki.lyrasis.org/display/DSPACE/Releases>
9. *Installing DSpace - DSpace 7.x Documentation - LYRASIS Wiki*. (n. d.). Dashboard - LYRASIS Wiki. <https://wiki.lyrasis.org/display/DSDOC7x/Installing+DSpace>
10. *Category: Installation - EPrints Documentation*. (n. d.). EPrints Documentation. <https://wiki.eprints.org/w/Category:Installation>
11. *Чмо такое стек LAMP? – Объяснение стека LAMP – AWS*. (n. d.). Amazon Web Services, Inc. <https://aws.amazon.com/ru/what-is/lamp-stack/>
12. freeCodeCamp.org. (2020, 10 січня). *Interpreted vs Compiled Programming Languages: What's the Difference?* <https://www.freecodecamp.org/news/compiled-versus-interpreted/>

languages/

13. *Download.* (n. d.). WordPress.org.
<https://wordpress.org/download/>
14. *Public Knowledge Project.* (n. d.). Public Knowledge Project.
<https://pkp.sfu.ca/>
15. *Solution: Open Journal Systems (OJS) | Infra Finder.* (n. d.). Search & Compare Solutions | Infra Finder.
<https://infrafinder.investinopen.org/solutions/open-journal-systems-ojs>
16. Ткачов, Ю. В. (2023). Вибір операційної системи для створення інформаційних ресурсів. *Світ наукових досліджень*, 17, 81–85. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22433743>
17. *ScholarOne Journals Workflow Management Software | Clarivate.* (n. d.). Clarivate. <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-publishing-solutions/scholarone/>
18. *Submission systems | Editors | Elsevier.* (n. d.). www.elsevier.com.
<https://www.elsevier.com/editor/submission-systems>
19. *Open Journal Systems.* (n. d.). Weblate.
<https://translate.pkp.sfu.ca/projects/ojs/#languages>
20. *Release Archive for OJS - Public Knowledge Project.* (n. d.). Public Knowledge Project.
<https://pkp.sfu.ca/software/ojs/download/archive/>
21. *OVAL :: BASE OAI-PMH Validator.* (n. d.). OVAL :: BASE OAI-PMH Validator. <http://oval.base-search.net/>
22. *OAI-PMH Validator & data extractor - OAIPMH.com.* (n. d.). OAI-PMH Validator & data extractor - OAIPMH.com.
<https://validator.oaipmh.com/>
23. *OpenAIRE's Repository Manager.* (n. d.). OpenAIRE's Repository Manager. <https://provide.openaire.eu/home>
24. *OAI-PMH Data Provider Validation and Registration.* (n. d.). Open Archives Initiative.
<https://www.openarchives.org/Register/ValidateSite>

ЗАСТОСУВАННЯ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Олена Долженкова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7970-8110>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Забруднення атмосферного повітря стало гострою проблемою для багатьох країн світу. Саме з ним пов'язують такі хвороби як: бронхіт, задуха, пневмонія, лейкемія, рак молочної залози, рак легень і екологічні загрози передчасної смерті. Масові викиди отруйних речовин у всі оболонки Землі також сприяють загибелі рослин і тварин. У світі виникла незліченна кількість організацій, що борються за очищення навколошнього середовища, з'явилося багато волонтерів, людей, які допомагають відновитися тому, що вже постраждало. Розроблено багато технологій, які мають на меті попередити забруднення навколошнього середовища. Незважаючи на це катаклізми, екологічні кризи, відбуваються набагато частіше, аніж раніше.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Питання забруднення атмосферного повітря повинно бути більш дослідженим, щоб знайти дієві способи боротьби з ним. Стаття має на меті звернути увагу суспільства на проблемі навколошнього середовища та закликати на їх виправлення, щодо зменшення впливу забруднення атмосфери на здоров'я населення.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Методом дослідження рівня забруднення повітря у мегаполісах світу стаття допомагає виявити його основні причини, дає змогу порівняти забруднення в Україні з рівнем, рекомендованим Директивою (ЕС) 2015/1480 Європейської Комісії щодо якості атмосферного повітря; дозволяє виділити недоліки, які потребують удосконалення, а також визначити варіанти набрання досвіду поданих у статті чистих мегаполісів задля збереження здорового життя населення.

РЕЗУЛЬТАТИ

Світова спільнота доєдналась до онлайн сервісу передачі інформації про стан атмосферного повітря і тепер про нього можна дізнатись в режимі реального часу. Карта відкриває перед людством велики можливості, тому що дозволяє простежити концентрації окремих видів забруднювачів і навіть їх переміщення, між континентами.

За базові показники забруднення у карті обрані малі частки PM 2,5, великі частки PM 10, озон O₃, двоокис азоту NO₂, діоксид сірки SO₂, оксид вуглецю CO. Чому важливий контроль саме цих забруднювачів?

В результаті дослідження [1] встановлено, що середня глобальна концентрація PM 2,5 у містах світу у 2019 році становила 35 мкг/м³, що більш ніж у три рази перевищувала настанову ВООЗ 2005 року щодо середньорічних PM 2,5 (10 мкг/м³) та спричинила від 45 до 77 передчасних смертей на 100 000 осіб від різноманітних захворювань. Така тенденція зберігається упродовж багаторічних спостережень. У 2021 році ВООЗ знизила свої рекомендації щодо “безпечних” рівнів PM 2,5 до 5 мікrogramів на кубічний метр. Але навіть з таким показником повітря у країнах Європи не відповідає нормам.

Варто зазначити, що хоча на промислових підприємствах встановлюють фільтри й інше очисне обладнання, повного уникнення викиду PM 2,5 досягти неможливо, адже ці частинки настільки малі, що вони проскакують крізь ці фільтри і, як наслідок, ми їх вдихаємо. Такі дрібнодисперсні частинки проходять в організм людини крізь біологічні бар’єри, саме тому представляють велику загрозу, викликають гостре запалювання легень і окиснювальний стрес, провокують розвинення захворювань серцево-судинної системи.. Основна небезпека мікрочасток PM 2,5 полягає не у дії разових високих доз, а у їх хронічному накопиченні.

Частки PM 10 як і PM 2,5 відносяться до респірабельних, тобто їх діаметр настільки незначний, що вони здатні проникнути в торакальний відділ дихальної системи людини і в кровоносне русло. У довгостроковій перспективі це сприятиме розвитку серцево-судинних та легеневих захворювань.

Іншим, не основним, але не менш важливим елементом у повітрі є озон O₃ – сильний окиснювач, він утворюється в результаті реакції молекул кисню з синглетним оксигеном, що відщеплюється від оксидів азоту за присутності ультрафіолетового випромінювання. Озон має властивість переміщуватися за сотні кілометрів від джерела власного утворення, а отже частіше за все його концентрація у містах зазвичай невелика, однак вона збільшується далі від міст, що наносить

значну шкоду сільськогосподарським культурам.

Чадний газ СО потрапляючи у кров сполучається з гемоглобіном, утворюючи стійке з'єднання – карбоксигемоглобін (H_6CO) та робить його нездатним розносити кисень організмом, і людина гине від задухи. Небезпека полягає ще й у тому, що чадний газ має кумулятивні властивості і впливає на людину навіть у невеликих концентраціях.

Діоксид сірки SO_2 та оксид азоту NO_2 значно підвищують ймовірність легеневих захворювань, оскільки перший газ виділяється внаслідок роботи промислових підприємств, також при споживанні ви-копного палива, а інший – з двигунів дорожнього транспорту.

На визначені концентрації усіх 6 перелічених елементів базується показник індексу забруднення повітря –AQI у різних кутках світу. Значення AQI можна представити у вигляді наступної шкали:

0-50 – повітря порівняно чисте, ризик отруєння мінімальний або зовсім відсутній;

50-100 – повітря прийнятної якості, становить ризик для людей, особливо чутливих до забруднень.

100-150 – повітря недостатньої якості, становить ризик для людей, чутливих до забруднень.

150-200 – повітря нездорове, становить ризик для всіх людей, особливо дітей, літніх і хворих.

200-300 – повітря дуже нездорове, становить ризик для всіх людей без винятку, рекомендується максимально скоротити час перебування на вулиці.

300-500 – повітря небезпечне для здоров'я, людям рекомендується утримуватися від перебування поза приміщеннями.

Швейцарські вчені IQAir у звіті за 2023 рік проаналізували дані з понад 30 000 станцій моніторингу якості повітря в 7812 місцях у 134 країнах, територіях і регіонах та зробили невтішні для всього людства висновки – тільки сім країн відповідали щорічним рекомендаціям ВООЗ щодо $\text{PM}_{2,5}$ (середньорічне значення 5 $\text{мкг}/\text{м}^3$ або менше): Австралія, Естонія, Фінляндія, Гренада, Ісландія, Маврикій і Нова Зеландія [2].

Одним з найчистіших мегаполісів у 2023 році був австралійський Мельбурн, в якому мешкає 4 млн. 875 тисяч осіб. Турбування про довкілля у Мельбурні почалося ще у 1890 році, коли всі будинки стали приєднувати до каналізації, а в 1970 році промислові відходи були відведені в окрему очисну каналізаційну систему. Ці та сучасні дії дотримання чистоти та удосконалення каналізації спрямовані на постійне очищення та контроль водного середовища, а саме річки Ярр, на якій побудований мегаполіс. Згадаємо, що Мельбурн багатий на зелену інфраструктуру, і зараз у влади міста постала мета зробити

місто вуглецево нейтральним, щоб забезпечити екологічне майбутнє. Станом на 28 квітня 2024 року у місті індекс забруднення дорівнював 4, а концентрація PM 2,5 – 1 мкг/м³. Це саме ті ідеальні показники, які повинні бути прикладом для кожної країни у світі.

Фінляндія поставила мету досягти вуглецевої нейтральності до 2035 року і вклала значні кошти у розвиток вітрової та сонячної енергетики. Країна впровадила стало управління лісовими масивами, які охоплюють понад 73% сухопутної території країни, що забезпечує екологічні переваги. Також Фінляндія застосовує комплексні підходи до управління водними ресурсами, включаючи збереження підземних вод і охорону численних озер, що демонструє її відданість кліматично-дружнім практикам і тому AQI всіх міст знаходиться в межах 10-34, що відповідає порівняно чистому повітря.

Ще одним «оазисом» з чистим атмосферним повітрям є Найробі – столиця Кенії, населення якого сягає 3,5 млн. осіб. Індекс якості повітря станом на 28 квітня 2024 р. дорівнював 19-ти, концентрація PM 2,5 – 4,5 мкг/м³. Цей мегаполіс відомий своїм постійним озелененням та акціями серед населення щодо збереження довкілля.

Рейтинг в п'ятірці країн з максимально забрудненим повітрям у 2023 році очолили Бангладеш (79,9 мкг/м³) та Пакистан (73,7 мкг/м³), де більш ніж у 15 та 14 разів відповідно перевищено річний норматив ВООЗ щодо PM 2,5.

В Індії (54,4 мкг/м³), Таджикистані (49,0 мкг/м³) та Буркіна-Фасо (46,6 мкг/м³) також відмічено більш ніж у 10 та 9 разів відповідно перевищення річного показника PM 2,5, який рекомендовано ВООЗ.

Україна посіла у рейтингу 2023 року 107 місце. Середня концентрація забруднення повітря у 2023 році склала 8,9 мкг/м³, що перевищує норму майже вдвічі. Водночас до повномасштабного вторгнення показники були набагато гіршими. Наприклад, у 2020-му показник становив 19,2 мкг/м³.

Наразі по всій території України показники якості повітря перевищують норму в 1-2 рази.

Чи є Україні до чого прагнути в екологічній сфері? Безсумнівно, хоча більша частина країни знаходиться в зоні «добре» індексу якості повітря. Україна ще до отримання незалежності, близько 50 років розвивалася і як індустріальна, і як аграрна країна, що істотно вплинуло на сучасний рівень забруднення повітря.

На території країни працюють три АЕС, всього 9 енергоблоків. І хоча атомні електростанції не викидають парникові гази, безпечними вони вважатися не можуть за рахунок радіації, яка також є великою небезпекою для атмосфери. Вибух будь-якого з енергоблоку може спричинити велику демографічну кризу глобального виміру. Всі

українці знають, через що пройшло «Місто-привид» та прилежні до нього міста, і якщо подібна ситуація відбудеться ще раз, наслідки будуть більш згубними ніж Чорнобильська катастрофа. Особливо загрозливою ситуація стала після початку російсько-української війни, яка підвищила ризики пошкодження АЕС та радіаційної аварії. Наслідком воєнних подій, що відбулися 2014 року, стало те, що Україна втратила доступ до деяких підконтрольних територій, таких як Донецьк, Луганськ, які є найбільшими промисловими районами України, та саме контроль стану повітря в них був одним із найважливіших. Наразі визначення індексу забруднення повітря та спостереження за іншими складовими навколошнього середовища стали неможливими, тому що внаслідок воєнних дій пошкоджені, розграбовані та потрощенні системи моніторингу, контролювати повітря будь-якої території стало складнішим.

До повномасштабної російської агресії протягом останніх років, починаючи з 2018 року у повітрі над Київською, Донецькою та Дніпропетровською областю спостерігалася більша концентрація NO_2 , аніж в інших районах. Влітку робота вугільних електростанцій підвищує показники NO_2 , взимку концентрацію підтримує більш інтенсивне використання генерації енергії задля обігріву будівель. Важливо підкреслити, що взимку спостерігається переміщення NO_2 з території Польщі – країни-сусіда, забруднення атмосфери якої наближено до українського.

Тож, наскільки забруднено повітря на українських територіях зараз та як це контролюється в умовах війни? Правитель країни-окупанта наслідує бездумну екологічну політику СРСР, яка свого часу знищила Аральське море. Наскільки високим є рівень цього комуністичного наслідування можна побачити і по індексу забруднення у містах окупанта на карті. На жаль, загарбники не турбуються про збереження навколошнього середовища, хоча це передбачено Женевськими Конвенціями 1949 року, а навпаки, проводять політику «випаленої землі». Після початку збройного наступу російської армії на територію України екологічна ситуація погіршилася з багатьох причин: постійні бомбардування, що впливають на якість повітря та ґрунту; масштабна вирубка дерев, лісові пожежі, та вторинні наслідки використання зброї, що може з часом спричинити кліматичні катаклізми; порушення системи контролю радіаційного стану на АЕС; підрив Каховського водосховища, знищення каналізаційних очисних споруд; згорання нафтобаз тощо. В результаті окиснення 1 кг вибухівки після вибуху будь-якого боеприпасу в повітрі потрапляє кілька десятків $\text{мкг}/\text{м}^3 \text{SO}_2, \text{NO}_2, \text{CO}$. Наслідком цього є підвищення імовірності випадіння кислотних дощів. Після чергового масового обстрілу у Херсонській області відбувся

масштабний витік аміаку та значне забруднення довкілля.

І хоча карта індексу забруднення повітря показує територію України з переважно зеленими зонами, неможливо точно визначити та відслідкувати концентрацію основних забруднювачів атмосферного повітря за відсутності постійного моніторингу всіх територій України.

Однак наявність зелених зон можна пояснити виконанням вимог Закону «Про охорону атмосферного повітря», який спрямовано на збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря. У законі представлені різні заходи щодо охорони атмосферного повітря, наприклад: регулювання викидів забруднюючих речовин, їх обмеження або тимчасова заборона; регулювання рівнів впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря; регулювання діяльності, що впливає на погоду та клімат тощо.

Висновки

На основі проведених досліджень виявлено, що тверді частинки PM 2,5 і PM 10 найчастіше мають високу концентрацію у повітрі за рахунок невпинної роботи промислових підприємств, а також у нерозвинених країнах та країнах, що розвиваються, пов'язані з низьким доглядом за екологічним станом навколошнього середовища. З огляду на мінімальний індекс забруднення повітря у Мельбурні та Найробі, українські екологи можуть обирати їх як зразкові приклади правильного контролю та збереження атмосферного повітря, що не відмінно знадобиться Україні після закінчення війни. На жаль, згідно даним на карті індексу забруднення повітря, наступ російських військ помітно погіршив становище системи моніторингу атмосферного повітря в країні. Виходячи з всесвітньо відомих дій та впливу країни-окупанта на екологічну ситуацію України терміново потребують розробки нові міжнародні норми для захисту навколошнього середовища під час воєнного конфлікту.

ПОСИЛАННЯ

1. Southerland, V. A., Brauer, M., Mohegh, A., Hammer, M. S., Van Donkelaar, A., Martin, R. V., ... & Anenberg, S. C. (2022). Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM_{2·5}) and attributable health burdens: estimates from global datasets. *The Lancet Planetary Health*, 6(2), e139-e146.
2. Ganes, N. (б. д.). Звіт про якість повітря IQAir у світі за 2023 рік. <https://www.iqair.com/newsroom/waqr-2023-pr>

Обґрунтування доцільності використання вітроенергетичних установок з вертикальною віссю обертання на техногенно порушеніх землях гірничодобувних регіонів

Ольга Медведєва

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5575-713X>

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України, Дніпро
Заряна Гальченко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5754-3175>

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України, Дніпро

Вступ

Для безперебійного функціонування всіх сфер економіки важливою умовою є забезпечення стійкого енергопостачання. Загроза вичерпання корисних копалин сьогодні стоїть найбільш гостро. І тому розвиток і використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є пріоритетними.

Згідно даних Національної комісії, що здійснює регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) та Громадської спілки «Українська вітроенергетична асоціація» (ГС «УВЕА») станом на 31 грудня 2021 року, встановлена потужність сектору відновлюваної енергетики України досягла 9 655,9 МВт із них доля вітроенергетики складає 1672,9 МВт, що у 20 разів вище порівняно з 2006 роком [1]. Вітроенергетика є другою в Україні, після сонячної енергетики, в національному секторі відновлювальних джерел енергії, за загальною встановленою потужністю. До початку воєнних дій на території України працювали 34 віtroелектростанції, які складаються з 699 вітрових турбін, середня одинична потужність яких становить 3,5 МВт. Використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) на сьогодні є дуже перспективним напрямком розвитку енергетики в Україні. Пе-рспектива існує не лише в зонах з високими швидкостями вітру, але й по всій території України. Все залежить від конструкції ВЕУ і місця їх розташування.

МЕТА

Метою статті є обґрунтування доцільності використання ВЕУ з вертикальною віссю обертання на техногенно порушеніх землях зокрема із зачлененням породних відвалів гірничодобувних регіонів для розміщення ВЕУ.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Особливо широкого розповсюдження ВЕУ набула для промислових споживачів у районах значних за силою вітрів у прибережніх районах морів та океанів, пустелях та землях низької сільськогосподарчої цінності. В цих районах застосовують ВЕУ з горизонтальною віссю обертання. До основних недоліків ВЕУ з горизонтальною віссю відносяться:

1. Висока ціна вироблення одиниці електроенергії.
2. Висока питома площа розташування вітряків з горизонтальною віссю.
3. Шум від роботи вітряків.
4. Зміна ландшафту, ерозія ґрунту.
5. Висока стартова швидкість обертання ВЕУ.

Виходячи із вищевикладеного перспективою є використання ВЕУ в умовах техногенно змінених ландшафтів у гірничодобувних регіонах. На гірnochovidobuvnih підприємствах значна територія використовується для складування продуктів переробки мінеральної сировини: породні відвали, хвостосховища. Актуальним є задача використання відвалів для розташування на них ВЕУ. При виборі вітрогенераторів основними параметрами, що цікавлять споживача є:

- 1) потужність вітрогенератора. Цей показник, дозволяє оцінити вартість отриманої енергії і вирішити наскільки даний пристрій покриває потреби в електроенергії;
- 2) вартість вітрогенератора;
- 3) ремонтопридатність, особливості експлуатації і обслуговування пристрою;
- 4) умови розташування (потреба в природних ресурсах – земля, вода, повітря);
- 5) екологічність (вплив на людей, тварин, рослинність тощо).

В Україні у промислових масштабах застосовуються вітрогенератори із горизонтальною віссю обертання. Наприклад, середня швидкість вітру на майданчику Бойківської ВЕС складає 7,3-7,7 м/с на висоті 70 м. Ці цифри притаманні для території Азовського узбережжя, але в цілому для більшості території України середня швидкість вітру складає улітку 3-6 м/с, узимку вітри сильніші – 5-8 м/с, тому для більшості території країни використання вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання є неможливим. Стартова швидкість вітру для вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання становить 3,5-4,5 м/с, а номінальна – 8-12 м/с.

Таким чином, доцільно розглянути інший вид вітрогенераторів – з вертикальною віссю обертання. Стартова швидкість таких

вітрогенераторів складає 0,5 м/с і при швидкості вітру вже 3 м/с вітрогенератор може виходити на номінальну потужність [2].

На сьогоднішній день перспективними для використання є вітрогенератори з вертикальною віссю обертання, в яких вітроколесо тримається на магнітній левітації (властивості магнітів відштовхуватися один від одного) і начебто висить у повітрі. За рахунок застосування цієї сучасної технології тертя опорного підшипника вітроколеса було зведенено майже до нуля, вібрація має настільки маленьке значення, що нею можна знехтувати, а шум майже невловимий людським вухом. А головне, це дозволяє використовувати даний вид вітрогенератора при швидкостях вітру 3-6 м/с.

Існують ще ряд позитивних особливостей використання вітрогенератора на основі магнітної левітації, а саме:

- низька стартова швидкість вітру;
- обертання не залежить від напрямку вітру;
- система не потребує обслуговування (генератор використовує лише один підшипник для стійкості вітрокрила з 500 разовим запасом міцності);
- шумове навантаження в межах 20 ДБ, магнітне випромінювання та вібрація відсутні;
- немає потреби у використанні додаткових пристрій запуску системи;
- система абсолютно безпечна для птахів, бджіл і навколошнього середовища;
- не потребує санітарно-захисної зони і може встановлюватися максимально близько до житлових і промислових будівель;
- система стабільно працює в агресивних середовищах: різкі перепади температури, сильні пориви вітру, може витримати навіть ураганний вітер;
- можливість встановлення без шкоди ландшафтним видам.

З екологічної точки зору, крім явних переваг використання вітрогенераторів, таких як: відсутність викидів і скидів, безпечність для тварин і птахів, низький рівень шуму тощо, суттєвим стає те, що для їх розташування можна і доцільно використовувати земельні ділянки, які виведені з використання за призначенням, тобто техногенно порушені землі. До них можна віднести малозаселені регіони, пустощі та виведені з дії земельні ділянки, на яких розташовано об'єкти гірничих підприємств. Наприклад, це доцільно для територій Кривбасу, де існує багато порушених гірничими роботами вільних територій.

Висновки

У сучасних умовах для України важливим стає децентралізація електропостачання споживачів. Використання ВДЕ підвищує частку розосередженого виробництва електроенергії. Для розосередження найбільше підходять техногенно порушені землі, які з ряду причин не підлягають рекультивації. Важливим є вибір місця розташування ВДЕ, саме устаткування, економічна і екологічна ефективність. Використання ВДЕ потенційно може як поліпшити рівень енергетичної безпеки, так і зменшити антропогенний вплив на довкілля. Тому, разом з підвищеннем енергоефективності, має стати одним із найважливіших напрямів енергетичної політики України.

Одним із перспективних напрямків ВДЕ – є використання вітроенергетичних установок. Об'єкти техногенного ландшафту гірничих районів характеризуються значною висотою по відношенню до відмітки денної поверхні. Ця величина досягає 100-120 м і з часом може зростати. Враховуючи те, що швидкість вітру з висотою збільшується, то збільшується і енергетичний потенціал території, на якій розташовані такі об'єкти. Поряд з потужними віtroелектростанціями, які працюють на ВЕУ з горизонтальною віссю обертання, але для них потрібні спеціальні вітрові умови, доцільно використовувати ВЕУ з вертикальною віссю обертання, які працюють при малих швидкостях вітру і різному напрямку вітру. Також ВЕУ з вертикальною віссю обертання є більш екологічно безпечними і не потребують великих площ для їх розташування.

Посилання

1. Омельченко, В. (22, 11 листопада). Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. razumkov.org.ua. <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislyva-viyyny>
2. Medvedieva, O., Larionov, H., & Halchenko, Z. (2024). To the selection of technology parameters for the use of renewable energy sources on man-made disturbed lands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (1319), Стаття 012011.

ФОРМУЮЧІ ФАКТОРИ СТОСОВНО ЗАКРІПЛЕННЯ ФАХІВЦІВ В ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЇХ РОЛЬ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ НАЛЕЖНИХ УМОВ ПРАЦІ

Євгенія Григор'єва

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9525-7399>

Український державний університет залізничного транспорту

Богдан Гармаш

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2115-1994>

Український державний університет залізничного транспорту

Лідія Катковнікова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9843-2033>

Український державний університет залізничного транспорту

Вступ

При забезпеченні безпечних і комфортних умов праці добре було б приділити увагу такому явищу, як затримування кадрів – закріплення фахівців в організації. В Україні проблема затримання кадрів є відносно маловивченою. Тому мета даного дослідження – з'ясувати, які показники (психофізіологічні фактори) на робочому місці сприяють тому, що люди вважають за краще залишатися в одного і того ж роботодавця на більш тривалий термін. Дослідження також покликане сприяти більшому захисту працівників на роботі.

У зв'язку з поняттям «закріплення» основна увага часто приділяється тому, щоб консервувати талановитих і відданих співробітників в організації і при цьому максимально використовувати їх професійні навички та здібності [2].

Закріплення чи втрата працівників може мати вирішальне значення для організації та її здатності оптимально функціонувати. Особливо таке може бути актуальним для підприємств малого і середнього бізнесу, а також для навчальних закладів вищої школи, де цінність співробітника визначається не лише його накопиченими знаннями, а й спрямованістю та бажанням, а отже підвищується ризик втрати професіоналів. В такому випадку збереження чи втрата спеціалістів може мати вирішальне значення для організації та її оптимального функціонування.

Якщо фахівців не вдається закріпити, це позначається на організації в цілому: компанія втрачає і на стратегічному, і на оперативному рівнях. Тому що найчастіше організації вкладають значні кошти у власний персонал як через пропозиції під час найму, так і в

подальшому через різні програми навчання, спрямовані на удосконалення та підвищення компетенцій.

Для того, щоб максимізувати цінність означених інвестицій, важливо мати змогу закріплювати власних фахівців, за допомогою чого компетенції зберігаються всередині компанії [1]. Хоча певна плинність кадрів є неминучою, але є також необхідною, оскільки плинність кадрів створює мобільність ринку праці. До того ж, як і закріплення фахівців, так і плинність кадрів може принести користь як організації, так і окремим співробітникам, приносячи нові знання та нові професійні ідеї [3].

МЕТА І ЗАДАЧІ

Метою дослідження є визначення факторів, які є вирішальними при формуванні у працівників бажання продовжувати трудові відносини із роботодавцем: коли створено привабливі й безпечні умови праці. Для того, щоб це стало можливим, затримування кадрів розглядається на основі таких показників як:

- можливість для навчання та професійного розвитку;
- соціальна підтримка з боку компанії;
- ризик отримати професійне захворювання;
- баланс поміж робочим часом та особистим життям;
- рівень заробітної плати.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для реалізації означеної мети було розроблено опитувальник, за допомогою якого можна дослідити професійне життя працівників з різних компаній. Основною вимогою під час відбору службовців для інтерв'ю було те, що кожен з них на момент проведення опитування мав працювати у свого роботодавця не менше семи років. Було проведено огляд світових досліджень стосовно ретенції співробітників. Отримані результати було проаналізовано на основі методу тематичного аналізу [6].

Дослідження було проведено на основі найбільш використовуваних теорій щодо затримування кадрів. До того ж обрані теорії сприяли визначенню вагомості різних показників щодо закріплення фахівців та їхньої мотивації.

Теорія вбудування в роботу [7], допомогла визначити, як саме працює вбудування в організацію, яким чином створюються умови для консервації експертів у компанії (рис. 1). Встановлено, що така вбудованість до організації сприяє закріпленню фахівців. Водночас,

створені роботодавцем комфортні умови праці знижують наміри респондентів залишити власні підприємства чи організації [8].

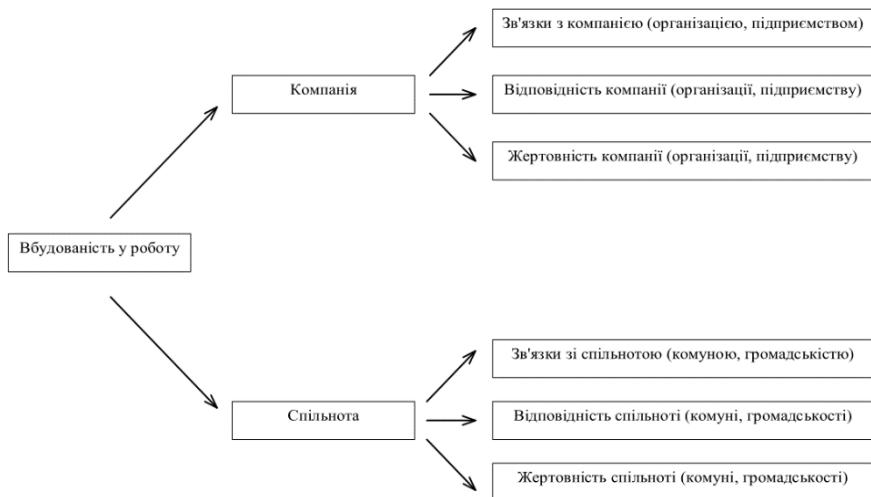


Рисунок 1 – Теорія вбудованості у роботу

При дослідженні такого явища як затримування кадрів найчастіше застосовують двофакторну теорію Герцберга [4]. За допомогою означененої методології було встановлено, що виокремлені чинники щодо закріплення фахівців необов'язково сприятимуть мотивації співробітника, а лише допомагатимуть протистояти незадоволеності, наприклад, рівнем зарплати службовця.

Поняття, що входять до двофакторної теорії Герцберга, не дають чітких визначень, і залишається широкий простір для особистої інтерпретації. Недоліком означененої методології є виникнення певних труднощів при застосуванні, оскільки вона ґрунтується лише на інтерпретації цих понять, не будучи впевненими у їхній правильності чи неправильності. Це може означати, що існує імовірність того, коли при аналогічному дослідженні можна отримати інший результат, в залежності від інтерпретації обраних показників стосовно затримування кадрів. Оскільки складна робоча ситуація, в якій не вистачає підтримки працівникові, може бути компенсована, наприклад, добрими відносинами в компанії, соціальною підтримкою поміж колегами. Таке ставлення з великою імовірністю призводить до співпраці, яка орієнтована на легке вирішення означененої робочої ситуації.

Слабким місцем двофакторної теорії Герцберга фахівці вважають методику, яку він частково використовував під час проведення

досліджень, а саме опитування співробітників організації про те, що саме змушувало їх почуватися менш і більш задоволеними на роботі.

У роботі [5] можна знайти підтвердження наведеного недоліку методології Герцберга, де зазначено, що загальновизнаним є той факт: коли справи на роботі йдуть не дуже добре, працівники схильні звинувачувати в цьому негативні події, які відбуваються в їхньому житті; в той самий час, коли справи на роботі йдуть добре, співробітники схильні ставити вже собі це на заслугу. Тому самооцінка респондентів може бути ненадійною, оскільки задоволеність чи незадоволеність можуть бути пов'язані з різними умовами.

Означений недолік двофакторної теорії Герцберга було враховано під час розробки опитувальника для службовців, тому що дослідження базується на напівструктурному інтерв'ю, де з'ясовується досвід роботи респондентів. До того ж відмінність цього дослідження полягає в тому, що було запропоновано опитували респондентів не про те, що безпосередньо пов'язано з їхньою власною роботою, а більше про особисті враження від роботи та оточення. Це знижує ризик того, що власна оцінка респондентів вплине на результати дослідження в цілому.

Висновки

Наведене дослідження дозволить з'ясувати, яким чином співробітники організації чи підприємства пов'язують такі показники, як можливість для навчання та особистого професійного розвитку, соціальна підтримка, баланс між робочим часом та особистим життям, рівень заробітної плати в компанії, та забезпечення нерозривності команди і закріplення їх як фахівців.

Більшість сучасних досліджень, присвячених затримуванню кадрів, проводиться з погляду роботодавця, і основна увага приділяється стратегіям консервування експертів у компаніях. Але при такій великій кількості досліджень із позиції роботодавця необхідно для збалансування провести дослідження з погляду працівників, для захисту їхньої праці.

Виявлення факторів, що є визначальними для бажання співробітників залишитися у роботодавця, та з'ясування того, яким чином означені показники мотивують працівників у повсякденній роботі, сприятиме подовженню трудових відносин і спонукатимуть керівництв створювати відповідні умови.

Встановлення вагомості поміж показниками, що сприяють закріпленню фахівців в організації, дозволить зробити внесок у науку про працю через створення комфорtnих умов для співробітників,

зниження ризику плинності кадрів в тих установах, де втрата професіоналів може мати вирішальне значення, та забезпечення нерозривності команди.

ПОСИЛАННЯ

1. Cardy, R.L. & Lengnick-Hall M.L. (2011). Will They Stay or Will They Go? Exploring a Customer-Oriented Approach to Employee Retention. *Journal of Business and Psychology*, 26, 213-217. <http://dx.doi.org/10.1007/s10869-011-9223-8>
2. Curtis, S. & Wright, D. (2001). Retaining Employees – The Fast Track to Commitment. *Management Research News* 24, 59-64. <https://doi.org/10.1108/01409170110782964>
3. Dalton Dan R., Todor W. D. & Krackhardt D. M. (1982). Turnover Overstated: The Functional Taxonomy. *The Academy of Management Review*, 7(1), 117-123. <https://doi.org/10.2307/257256>
4. Herzberg F. (1987). One More Time: How Do You Motivate Employees? *Harvard Buisness Review*, 65(5), 1- 16 https://www.insidemarketing.it/wpcontent/uploads/2020/08/one_more_time_how_do_you_motivate_employees.pdf
5. Jacobsen, D. I. & Thorsvik J. (2008). Hur moderna organisationer fungerar. Tredje upplagan. Lund: Studentlitteratur. *Open Journal of Nursing*, 7(10). <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=21374874>
6. Maguire M. (2017). Doing a Thematic Analysis: A Practical, Step-by-Step Guide for Learning and Teaching Scholar. *AISHE-J*, 8(3), 33-51. <https://ojs.aishe.org/index.php/aishe-j/article/download/335/553/1557>
7. Mitchell T. R., Holtom B. C., Lee T. W., Sablinski C. J. & Erez M. (2001). Why people stay: Using job embeddedness to predict voluntary turnover. *Academy of Management Journal*, 44(6), 1102- 1121. <https://scholarlycommons.pacific.edu/esob-facarticles/209>
8. Sutcliffe K., Dutton J., Sonenschein S. & Grant A. M. (2005). A Socially Embedded Model of Thriving at Work Gretchen Spreitzer. *Organization Science*, 16(5), 537–549. <https://doi.org/10.1287/orsc.1050.0153>

ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛЬНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ЕКОБЕЗПЕКОЮ УКІСНИХ СПОРУД ХВОСТОСХОВИЩ

Андрій Рябко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6305-3853>

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України, Дніпро

Вступ

Проблеми екобезпеки укісних систем намивних масивів хвостосховищ різних галузей промисловості перетинаються із завданнями раціонального природокористування, заснованих на геомеханічних дослідженнях, спрямованих на удосконалення конструктивних параметрів гідровідвалів та дамб. Відсутність надійного геомеханічного обґрунтування технології формування намивних гірничо-технічних споруд призводить до аварійних ситуацій, що виявляються у вигляді швидкоплинних та катастрофічних деформацій намивних масивів. Аварії створюють соціально-економічні загрози та втрати, приводять до замулення токсичними пульпами родючих земель, забруднення поверхневих та підземних вод.

Необхідною передумовою розробки екологічно безпечних технологічних рішень щодо формування техногенних масивів є урахування фізико-географічних, геологічних, інженерно-геологічних, гідрогеологічних та гірничо-технічних факторів, що визначають стан та характер можливої зміни геологічного середовища. Впровадження взаємозв'язків цих факторів з проектними параметрами намивних споруд хвостосховищ дозволяє забезпечити попередній рівень екобезпеки на етапах прийняття конструкторських рішень. Подальше існування та розвиток укісної системи, у поєднанні з прогресом засобів та заходів впливу на параметри безпеки взагалі, та параметри екобезпеки зокрема, намивної системи хвостосховища формує систему управління її станом [1-3].

Перспективним напрямом підвищення ефективності та екобезпеки зведення гідровідвалів та хвостосховищ є управління станом намивних масивів як безперервний процес моніторингу, оцінки, прогнозу, та цілеспрямованої зміни стійкості укісних споруд та інтенсивності ущільнення тонкодисперсних матеріалів внутрішніх зон. Важливою складовою систем моніторингу та забезпечення бажаного рівня екобезпеки намивних укісних систем є математичні моделі процесів функціонування та управління даних систем.

МЕТА І ЗАДАЧІ

Метою дослідження є створення структури функціональних залежностей оптимізаційної моделі управління екобезпечним функціонуванням укісних споруд хвостосховищ.

Задачі оптимізації природно-техногенних систем об'єднують технічні та екологічні показники при досягненні окремими параметрами або частинними та інтегральними критеріями оптимальних значень. Стосовно намивних масивів це насамперед оптимізація кутів укосу, висоти дамб, ширини основи, дамб, властивостей порід що складають тіло дамби та інші показники.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У якості вихідних матеріалів та методів дослідження використовувались геомеханічні моделі та методи стійкості масивів гірських порід, моделі функціонування намивних масивів хвостосховищ, системноаналітичні моделі та методи оптимізації та управління.

Теоретичною основою геомеханічних моделей є концепція гравічного пластичного стану рівноваги укосів природно-техногенних масивів гірських порід та положення механіки твердого деформованого тіла. Механіко-математичні моделі намивних масивів базуються переважно на теоріях фільтраційної консолідації та повзучості ґрунтів, гравічного напруженого стану та гравічної рівноваги сипучого середовища зі зчепленням. Розрахунки стійкості переважно включають визначення зсувних та утримуючих сил (напружень) та встановлення на основі порівняння цих сил коефіцієнтів запасу стійкості укосів заданого профілю. При визначенні коефіцієнту стійкості насипних та намивних гребель та огорожувальних дамб хвостосховищ використовують круглоциліндричні, плоскі або комбіновані поверхні ковзання [1-5].

У загальному вигляді коефіцієнт стійкості обводненого масиву, у випадку круглоциліндричної поверхні ковзання, має вигляд [1]

$$k_s = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i \cos \alpha_i + P_i^w \frac{\cos(\beta - \alpha_i)}{\cos \beta} - F_i) \tan \varphi_i + c_i l_i]}{\sum_{i=1}^n (P_i \sin \alpha_i + P_i^w \frac{\sin(\beta - \alpha_i)}{\sin \beta})}, \quad (1)$$

де n – кількість блоків розбиття призми зрушення; i – номер блоку; P_i – маса i -го блоку разом з укладеною в ньому водою; P_i^w – маса води над поверхнею укосу в межах i -го блоку; β – кут укосу; α_i – кут нахилу поверхні ковзання в межах i -го блоку; c_i – зчеплення в межах лінії ковзання i -го блоку; l_i – довжина лінії ковзання в межах i -го блоку; φ_i –

– кут внутрішнього тертя у межах i -го блоку; F_i -додаткові навантаження в межах i -го блоку.

Результати

Особливостями функціонування гребель хвостосховищ є: поширеність способу створення гребель шляхом намивання її тіла з відходів гірничодобувних підприємств; роздільно-зернистий склад порід складових укісних систем; наявність динамічних процесів ущільнення (консолідації) у намивних спорудах; явища динамічних процесів зсувних деформацій у тілі та підставі дамб; обводненість та підтопленість укісного масиву, що обумовлюють одночасну дію гідродинамічних та гідростатичних сил.

Вищенаведені фактори вимагають адаптації існуючих моделей стійкості укісних систем з метою відображення в них зазначеної специфіки.

Структура порід намивного масиву та спосіб його формування, консолідаційні явища приводять до динамічної зміни основних властивостей, що впливають на стійкість укусу, а саме щільноті, кута внутрішнього тертя та зчеплення та відповідно до необхідності коригування цих параметрів у модельних залежностях [1]. Як залежності, що відображають процеси ущільнення намивного ґрунту, пропонуються наступні

$$C_v = k_f(1 + \varepsilon_a)/a\gamma_w, \quad (2)$$

$$k=z/h, \quad (3)$$

$$\mu = v_n^2 t / C_v, \quad (4)$$

$$\gamma_p = \frac{1}{1 + \varepsilon_a} \left(\gamma_c - \gamma_w (1 + \varepsilon_a (1 - G_w)) \right), \quad (5)$$

$$C_d = \frac{8\mu - 16(1 - \exp(-\mu/2))}{\mu^2(2 + \mu)}, \quad (6)$$

де C_v - коефіцієнт консолідації; k_f - коефіцієнт фільтрації; ε_a - середнє значення коефіцієнта пористості ґрунту; a - коефіцієнт стисливості ґрунту; γ_w - щільність води; γ_p - щільність ґрунту; h - висота шару, що намивається; z - поточна координата висоти шару, що намивається; до - наведена координата; v_n - швидкість намиву; t - час; γ_c - щільність частинок ґрунту; G_w - коефіцієнт водонасичення породи; C_d - середній рівень ущільнення шару змінної потужності на водоупорі.

Уточнення значень щільноті, зчеплення та кута внутрішнього тертя для намивних масивів різної потужності, з різними показниками часу "відпочинку", пропонується проводити з використанням залежностей виду:

$$\gamma_p = \gamma_{p0}(1 + f_1(C_d)), \quad (7)$$

$$C = C_0(1 + f_2(C_d)), \quad (8)$$

$$\varphi = \varphi_0(1 + f_2(C_d)), \quad (9)$$

де γ_{p0} , φ_0 , C_0 - експериментальні або статистичні значення щільноти, зчеплення та кута внутрішнього тертя ґрунту.

До додаткових сил необхідно включення залежностей для визначення результуючої гідродинамічних та гідростатичних сил, а також залежність для визначення надлишкового порового тиску

$$F_{Gi} = \gamma_w(H_i - y_i)a_i/\cos\alpha_i, \quad (10)$$

$$P_{pi} = \gamma' h \frac{(1-k)(2(1 - \exp(-k\mu/2)) + \mu)}{2 + \mu}, \quad (11)$$

де F_{Gi} - результуюча гідродинамічних та гідростатичних сил; γ_w - щільність води; H_i та y_i - відповідно напір та ордината кривої ковзання, середні в межах блоку; a_i - ширина блоку, α_i - середній кут нахилу дотичної до кривої ковзання в межах блоку; P_{pi} - надлишковий поровий тиск у межах блоку.

Геомеханічна безпека при оптимізації укісних систем забезпечується максимізацією коефіцієнта запасу стійкості

$$k_s(p_i) \rightarrow \max, \quad (12)$$

де $k_s(p_i)$ - коефіцієнт запасу стійкості; p_i - множина заданих параметрів від яких залежить коефіцієнт запасу стійкості.

Задача управління екобезпекою укісних систем є синтезом задань геомеханічної оптимізації та управління з екологічними критеріями та екоорієнтованими технологіями у якості керуючих параметрів [6].

Методологічно інтегральні критерії в загальному вигляді, як правило, є алгебраїчною згорткою частинних критеріїв. У якості інтегрального критерію впливу зсувних процесів намивних укісних систем на довкілля та відповідно критерію екобезпеки можна прийняти залежність виду

$$C_{ES}^{ADL} = \left(\frac{1}{5}\right) * (C_G^{ADL} + C_H^{ADL} + C_A^{ADL} + C_B^{ADL} + C_S^{ADL}), \quad (13)$$

де C_G^{ADL} , C_H^{ADL} , C_A^{ADL} , C_B^{ADL} , C_S^{ADL} - частинні критерії впливу зсувних процесів намивного масиву на об'єкти геосфери, гідросфери, атмосфери, біосфери, соціосфери.

Кожен з частинних критеріїв може бути представлений у вигляді функції від базових соціо-еколого-економічних параметрів. Зокрема, специфічний вплив зсуву на геосферу, гідросферу та атмосферу проявляється у забрудненні ґрунтів, поверхневих, підземних потоків та повітряного середовища. Частинні критерії, у більшості випадків,

включають нормативні значення параметрів, що оптимізуються. Частинні критерії впливу на ці середовища зазвичай виражаються у вигляді відношення концентрацій викинутих забруднюючих речовин до нормативних

$$C_{G,H,A}^{ADL} = \left| 1 - \frac{P_{G,H,A}}{P_{G,H,A}^N} \right|, \quad (14)$$

де $P_{G,H,A}^N$, $P_{G,H,A}$ - сумарні нормативні (допустимі) та поточні значення концентрацій забруднюючих речовин відповідно геосферних, гідросферних та атмосферних об'єктах. Як нормативні можна використовувати значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для цих середовищ. Зі структури формули (3) видно, що діапазон допустимих значень знаходиться в межах [0,1].

Частинні критерії впливу на біосферу та соціосферу можна представити у вигляді

$$C_{B,S}^{ADL} = \left| 1 - \frac{n_{B,S}^{ADL}}{n_{B,S}^r} \right|, \quad (15)$$

де $n_{B,S}^{ADL}$, $n_{B,S}^r$ - щільність біосферних або соціосферних об'єктів на площині охоплюваній зсувом; $n_{B,S}^r$ - щільність відповідно біосферних та соціосферних об'єктів в регіоні, що розглядається.

Масштаб екологічно небезпечної дії зсувних явищ залежить від масових та геометричних характеристик зсуву. У свою чергу площа та маса зсувного тіла являються, зрештою, функцією від коефіцієнта стійкості укісних споруджень намивних масивів. Таким чином, рішення задачі оптимізації екобезпеки намивних масивів хвостосховищ полягає в рішенні двох підзадач: максимізації коефіцієнта стійкості та мінімізації критерію комплексної екологічної дії

$$\begin{aligned} k_s &\rightarrow \max \\ C_{ES}^{ADL} &\rightarrow \min \end{aligned} \}, \quad (16)$$

Основні задачі управління станом намивних порід наступні: встановлення оптимальних кутів нахилу укосів дамб, що забезпечують їх стійкість та мінімальне рознесення з урахуванням заходів щодо зміцнення укосів; обґрутування технології намивання та стійкості укосів на незручних та малопридатних для сільського господарства та будівництва територіях. Відмінністю задач оптимального управління від задач оптимізації є її динамічний характер, тобто залежність процесів від часу.

У загальному вигляді завдання оптимального управління екобезпекою укісних систем намивних масивів хвостосховищ можна представити як досягнення оптимального значення функціоналом

$$J_{ES} = \int_{t_0}^{t_k} C_{TS}^{ADL}(S^{ADL}(k_s), t), u^{ADL}(t), t) dt, \quad (17)$$

де t – час; $[t_0, t_k]$ – проміжок часу, що розглядається; $S^{ADL}(k_s)$ - площа, що покривається зсувом як функція від коефіцієнта запасу стійкості; $u^{ADL}(t)$ - вектор-функція техніко-екологічних керівних параметрів.

Висновки

Побудовані функціональні залежності моделі можна використовувати для вирішення декількох різновидів задач та основу для побудови методик та моделей: 1) досягнення заданого рівня екобезпеки та проектних експлуатаційних параметрів хвостосховищ за допомогою управління властивостями та станом намивних товщ у ході їх формування за рахунок спільногонамивання ґрунтів з різними властивостями; 2) прогнозу екобезпечної поведінки в часі намивних укісних систем, що відповідають усім етапам формування гідроспоруд та враховують також періоди після завершення намиву окремих шарів та всього масиву; 3) обґрутування екоорієнтованих технологій формування намивних масивів на основі прогнозу оцінки несучої здатності тонко дисперсійних ґрунтів, визначення просторового положення, темпів зведення дренажних систем, уточнення порядку можливої рекультивації та інших.

ПОСИЛАННЯ

1. Гальперин, А. М. (1988). Управление состоянием намывных массивов на горных предприятиях. Москва: Недра.
2. Булат, А. Ф., Витушко, О. В., & Семененко, Е. В. (2010). Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий. Днепропетровск: Герда.
3. Полищук, С. З., Лашко, В. Т., Кучерский, Н. И., Сытенков, В. Н., & др. (2001). Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров. Дніпропетровськ: Поліграфіст.
4. Шашенко, О. М., Сдвижкова, О. О., & Гапеєв, С. М. (2008). Деформованість та міцність масивів гірських порід. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
5. Шашенко, О. М., Пустовойтенко, В. П., & Хозяйкіна, Н. В. (2009). Механіка ґрунтів. Київ: Новий друк.
6. Поліщук, С. З., Долодаренко, В. О., Чорнобровкіна, Н. А., & Рябко, А. І. (2001). Системний аналіз і моделювання у розв'язанні проблем сталого розвитку території. Дніпропетровськ: Поліграфіст.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ПОРУШЕНИХ ДІЛЯНОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ІСНУЮЧИХ ХВОСТОСХОВИЩ

Олена Мінко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1648-2975>

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України, Дніпро

Вступ

Дуже актуальну і важливою проблемою на сучасному етапі є дослідження факторів впливу на довкілля порушених ділянок земної поверхні існуючих хвостосховищ, враховуючи їх значну площину, залежність від природно-кліматичних умов, наявність у викидах токсичних елементів та значну площину забруднення прилеглої території, на якій розташовані важливі елементи інфраструктури. Враховуючи геохімічні та мінералогічні особливості «хвостів», а також тривалість та умови їх зберігання (волого, покриті зверху водою - на початкових етапах і сухі, відкриті для вітрової ерозії - надалі), хвостосховище постійно є потужним негативним фактором інтенсивного впливу на навколоишнє середовище. Порушені ділянки земної поверхні: відкриті гірські виробки, відвали, склади, хвосто- та шламосховища відносяться до групи неорганізованих джерел викидів, що знаходяться під впливом вітрової еrozії. Зазначені джерела значно розосереджені в просторі. Їхнє розташування, параметри (площа, обсяги) можуть змінюватися в часі та просторі. Деякі джерела (в т.ч. хвостосховища) залежать від природно-кліматичних умов: швидкість вітру, кількість і періодичність випадання атмосферних опадів, температура повітря, потужність снігового покриву тощо), а також від розташування по відношенню до «рози» вітрів. Залізорудний пил різко погіршує екологічний стан повітряного басейну та, як наслідок, умови нормальності життєдіяльності людини, флори та фауни регіону та робить непридатними для сільськогосподарських потреб території навколо хвостосховищ. У ґрунт у підвищених дозах потрапляють такі метали, як цинк, мідь, марганець, хром, свинець, залізо.

Мета і завдання

Метою дослідження є обґрунтування методології розрахунку забруднення повітряного басейну від неорганізованих джерел викидів існуючих хвостосховищ згідно рекомендацій, викладених у нормативних документах. Актуальним завданням, яке потребує негайного

вирішення є дослідження та запропонування заходів із пилоподавлення та урахування впливу несприятливих метеорологічних умов на ефективність існуючих природоохронних заходів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У якості вихідних матеріалів та методів дослідження використовувались рекомендації, викладені (мова оригіналу) у «Сборник отраслевых методик по расчету выбросов вредных веществ в атмосферный воздух при проведении инвентаризации, отчетности по форме №2 ТП (воздух) и разработке нормативов предельно-допустимых выбросов для промышленных предприятий и организаций Днепропетровской области» та у літературних джерелах

При цьому хвостосховища розглядаються як неорганізовані джерела викидів типу складів при статичному зберігання матеріалів. Розрахунок здійснюється за коефіцієнтами, які комплексно відбивають особливості даного процесу. Значення та діапазон зміни коефіцієнтів наведені у відповідних таблицях:

- коефіцієнт, що враховує місцеві метеоумови, тобто швидкість вітру із діапазоном зміни від 2 до 30 м/с і вище і діапазоном зміни коефіцієнтів від 1 до 3;

- коефіцієнт, що враховує місцеві умови, тобто ступінь захищеності складу від зовнішніх впливів, умови пилоутворення, у разі хвостосховищ приймають склади відкриті з 4 сторін та коефіцієнтом 1;

- коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу з діапазоном зміни 0-0,5% до 10% і діапазоном зміни коефіцієнта від 1 до 0,1;

- коефіцієнт, що враховує профіль матеріалу, який складується і коливається в межах 1,3-1,6 в залежності від крупності матеріалу і ступеня заповнення;

- коефіцієнт, що враховує крупність матеріалу, розмір шматків змінюється від 500 до 1 мм, діапазон зміни коефіцієнта від 0,1 до 1;

- g1 - винесення пилу з одного квадратного метра фактичної поверхні (в даному випадку площа порушених ділянок хвостосховища) залежно від типу матеріалу, що складується. Об'єм матеріалу, що складується, розраховується із геометричних параметрів хвостосховища. З урахуванням зазначених коефіцієнтів розраховується загальний обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферу та в подальшому їх поширення у просторі.

Згідно з діючою класифікацією джерел впливу на довкілля, сховища відходів забагачення відносяться до неорганізованих джерел забруднення яких становить 54 % від загальної кількості викидів. Поверхні сухих пляжів намивних відсіків, укоси дамб і гребель, які

пиліть є основними джерелами забруднення атмосферного повітря. В результаті стоку та випаровування води, особливо в спекотний і сухий період, зцілення між частинками хвостів і порожньою породою різко знижується, і вже при швидкості вітру, що дорівнює 2-3 м/с, спостерігається пиління горизонтів хвостосховища. Отже, розробка та прийняття заходів із пилоподавлення є актуальною Дослідження процесів знепилення поверхонь сухих «пляжів» хвостосховищ є досить актуальним завданням, яке потребує негайного вирішення. Наприклад, на підставі вимірювань СЕС м. Кривого Рогу встановлено, що в окремих випадках на відстані 3,5 км від хвостосховища концентрація пилу в 5 разів перевищує ГДК. При швидкості вітру 4-9 м/с, на дамбі обвалування концентрація пилу коливається від 32 до 600 мг/м³. На відстані 500 м від хвостосховища концентрація пилу досягає від 0,4 до 22,9 мг/м³.

Зазначені заходи об'єднані в декілька груп залежно від способу пилоподавлення:

-технологічні: зміна способів складування, складу та стану продуктів складування, безвідходна та маловідходна технології збагачення, утилізації;

-механічні: створення загороджень, що запобігають поширенню пилу або суцільне покриття поверхні матеріалом, що не пилює;

-фізико-хімічні: стабілізація поверхонь, які пилують, хімічними речовинами або зміна фізичних властивостей поверхні;

-біологічні: створення захисного шару із нижчих рослин;

-рекультивація: включає гірничо-технічні заходи (нанесення потенційно родючих порід та ґрунтів) та біологічні (проведення комплексу заходів для відновлення флори та фауни).

Переваги та недоліки зазначених груп заходів наступні.

Незважаючи на високу ефективність існуючих природоохоронних заходів за нормальніх метеорологічних умов, антропогенне навантаження на навколошнє середовище регіону розташування хвостосховищ (як невід'ємного об'єкту гірничо-збагачувальних підприємств) як і раніше, залишається значним, оскільки ці заходи мають істотні недоліки в періоди реалізації несприятливих метеорологічних умов. Так, наприклад, при швидкості вітру понад 15 м/с відбувається порушення цілісності структури з подальшим руйнуванням матеріалів, які покривають пилюючі поверхні (наприклад, бітумна плівка). Як підсумок - інтенсивність пилування пляжів хвостосховища багаторазово збільшується. Плівками та емульсіями не можуть бути закріплені свіжонамиті хвости, тому що важка техніка, не може переміщатися по їх поверхні. При цьому період повного висихання та усадки свіжонамитого пляжу хвостосховища становить 1-2 міс., а період

висихання верхнього шару пульпи (тонкодисперсні хвости) - кілька днів, отже, інтенсивне запилення буде спостерігатися протягом усього періоду усадки пляжу. Таким чином, з достатнім ступенем точності можна стверджувати, що запиленість атмосферного повітря на території хвостосховища у періоди реалізації несприятливих метеорологічних умов перевищуватиме допустимі нормативи.

Результати

Доведено, що вказана методика в достатньому обсязі відображає процеси пиління порушених ділянок хвостосховища. Ефективні заходи щодо запобігання запиленню проводять в основному на відпрацьованих хвостосховищах, на діючих хвостосховищах боротьба із запиленням ускладнена. Тому немає необхідності створювати довговічні та витримуючі високі механічні навантаження покриття, зате потрібно багаторазове оперативне закріplення поверхні між намивами.

Висновки

Як гідротехнічні споруди (ГТС), хвостосховища схожі за принципом функціонування на водосховища ГЕС, теплових і електростанцій та на аналогічні сховища будь-якого типу, де складуються вологі відходи: золосховища, шламосховища, басейни-накопичувачі відходів, які утворюються при видобутку та збагаченні руд металів і вугілля на хімічних та металургійних підприємствах, коксо-хімічних заводах, теплових електростанціях, що працюють на вугіллі та ін. Тому будь-які методологічні основи, порівняльні оцінки та прийняті заходи трапшиються на всі зазначені об'єкти [1].

Посилання

1. Бересневич, П. В., Вілкул, Ю. Г., Голишев, О. М., & ін. (1998). Екологія гірничого виробництва. Кривий Ріг: Мінерал.

МІЖНАРОДНА ТОРГІВЛЯ ВІДХОДАМИ: ЕКОЛОГІЯ ЧИ БІЗНЕС

Наталія Краснікова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6484-2050>

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Дніпро, Україна

Дмитро Кобиляк

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6362-6240>

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Дніпро, Україна

В світі генерується в середньому 0,74 кг твердих побутових відходів на 1 людину на день і третина цих відходів не утилізується екологічно безпечним шляхом. Але побутові відходи – це лише маленька частина від загальних відходів, що генеруються в світі. Так, наприклад, промислових відходів утворюється близько 13 кг на 1 людину на день, сільськогосподарських – більше 3 кг на 1 людину на день, відходів будівництва та зносу – 1,7 кг на 1 людину на день, а ще є медичні та інші. Існує позитивна кореляція між рівнем доходу країни та кількістю відходів, що генеруються в країні. Країни з високим рівнем доходу, на території яких розміщено всього 19% світового населення генерують більше третини світових відходів [8].

Класифікація відходів здійснюється законодавчо в кожній країні. В Україні це Національний перелік відходів і Порядок класифікації відходів з урахуванням Переліку властивостей, що роблять відходи небезпечними. Загалом Національним переліком передбачено 20 груп та 895 видів відходів. В Європейському законодавстві передбачено 20 груп та 839 видів відходів. Відмінність українського класифікатора від європейського полягає у наявності групи «Відходи, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведеним робіт з ліквідації їх наслідків» [3]. За законом України, об'єктами класифікації є відходи, під якими розуміють «будь-які речовини та предмети, утворювані у процесі виробництва та життєдіяльності людини, внаслідок техногенних чи природних катастроф, що не мають свого подальшого призначення за місцем утворення і підлягають видавленню чи переробці з метою забезпечення захисту навколошнього середовища і здоров'я людей або з метою повторного їх застосування у господарській діяльності як матеріально сировинних і енергетичних ресурсів, а також послуги, пов'язані з відходами» [1].

Проблема відходів має як економічне так і екологічне підґрунтя, оскільки на навколошнє середовище негативно впливають як утворення відходів, так і їх утилізація [6]. Отже, країни світу, які

піклуються про екологію, мають нагальну і зростаючу потребу утилізації згенерованих відходів, і зазвичай це країни із високим рівнем доходів, які генерують найбільше відходів та орієнтовані на розвиток біотехнологій [5]. Проблема утилізації відходів вже давно перестала бути внутрішньодержавною і останнім часом формує порядок денний у міжнародних економічних відносинах стосовно міжнародної торгівлі відходами. При цьому міжнародна торгівля відходами не вкладається в загальну формулу міжнародної торгівлі і, відповідно, вимагає особливого регулювання. Ми визначили і систематизували відмінності міжнародної торгівлі відходами і сформували економічне підґрунтя для розуміння можливостей і потреб ефективного вирішення екологічних проблем, пов'язаних із відходами на світовому рівні.

В міжнародній торгівлі «звичайними» товарами країни експортують такі товари, у виробництві яких мають конкурентну перевагу, а імпортують такі, яких виробляють недостатньо або не мають можливості виробляти зовсім [2]. В міжнародній торгівлі послугами, одна країна може надавати послугу економічним суб'єктам іншої, в разі наявності умов (наприклад, туристичні, медичні та інші послуги). Логіка торгівлі відходами може бути розділена за двома напрямками, в залежності від ступеня «корисності» відходів. Жоден з цих напрямків не є тривіальним для міжнародної торгівлі (таблиця 1).

1. Торгівля відходами, в яких присутня «корисна» складова. До цієї категорії відходів належить, наприклад, відходи різних металів, коли в результаті переробки окрім не придатного для будь-якого використання матеріалу формується «корисний» для подальшого використання, а інколи і рідкісний матеріал. Такі відходи експортують країни, які активно використовують для внутрішніх потреб метал, або видобувають металеві руди, від яких після виплавки металу залишається велика кількість відходів. Країни-експортери, або не мають виробничої можливості самостійно виокремити «корисну» складову відходів, або не бачать в цьому економічної доцільності. Імпортують «корисні» відходи країни, саме з метою отримання «корисної» складової відходів, а утилізація відходів є другорядною метою. «Корисні» відходи можна розглядати як товар, але повноцінно застосувати до країни, що має багато відходів поняття країни, що має конкурентну перевагу по «виробництву» такого товару (відходів) не можна. Продаж «корисних» відходів формує дохід для країни-експортера, і такі відходи потрібні країні-імпортеру. Тобто, стосовно такої торгівлі правильноше застосовувати термін конкурентних переваг до країн-імпортерів, оскільки наявні конкурентні переваги стосовно можливостей переробки та використання «корисних» відходів дають можливість запропонувати на ринку більшу ціну. Відповідно, торгівля

«корисними» відходами може здійснюватися на ринкових умовах формування ціни. В даному випадку, послуга утилізації відходів вже буде включена (чи скоріше виключена) до ціни угоди по продажу відходів. Такі відходи, здебільшого торгуються між розвиненими країнами з метою переробки.

Таблиця 1 - Систематизація відмінностей міжнародної торгівлі відходами від міжнародної торгівлі товарами споживчого та інвестиційного призначення

	Характеристика	Товари	«Корисні» відходи	Відходи без споживчої цінності
1	Мета міжнародної торгівлі	корисність самого товару	«корисна» складова відходів	Вивезення з країни (отримання послуги утилізації)
2	Конкурентні переваги	у країни-експортера	у країни – імпортера (на основі технологій переробки)	у країни – імпортера (на основі відсутності жорстких екологічних стандартів)
3	Ефективність ринкового механізму, щодо формування ціни	висока	обмежена	відсутня
4	Характеристика імпортерів	будь-які країни	розвинені країни з наявними сучасними технологіями переробки	бідні країни з низьким рівнем екологічних стандартів
5	Виграє у конкурентній боротьбі	країна-імпортер, що сплачує більше за товар	країна-імпортер, що сплачує більше за відходи	країна-імпортер, що виставляє і отримує меншу ціну за переробку
6	Державне регулювання торговельних потоків здійснюється з метою	Захисту національних виробників аналогічних товарів	Захисту навколошнього середовища, життя і здоров'я громадян	Захисту навколошнього середовища, життя і здоров'я громадян

Складено авторами

2. Торгівля відходів, що не мають жодної споживчої цінності і які потрібно тільки утилізувати. Країни-експортери таких відходів в пे-ршу чергу зацікавлені у тому, щоб вивезти їх з країни, оскільки утилізувати їх в країні не можливо або дорого. Зазвичай це розвинені країни із високими екологічними нормами та стандартами щодо утилізації. Імпортують ці відходи, зазвичай країни із низькими екологічними нормами і стандартами. В цьому випадку, вивіз відходів сплачує країна-експортер у вигляді оплати послуги утилізації. Країни-імпортери, в даному випадку стають осередками екологічних проблем, оскільки

ринкове ціноутворення без свідомого світового втручання приводить до «спеціалізації на забрудненні». «Спеціалізація на забрудненні» формується в процесі обрання країною-експортером, країни вивозу відходів серед конкурентів, що готові їх утилізувати за принципом запропонованої меншої ціни послуги утилізації. Тобто, яка із країн запропонувала дешевшу ціну, та і отримає відходи. Відповідно, країна-імпортер, яка отримує низьку ціну за відходи використовує найдешевші і найменш екологічні способи їх утилізації (захоронення на звалищах, спалювання та інші). Якщо не регулювати дозволені методи утилізації, а відповідно, не встановлювати «справедливу» ціну для експорту таких відходів, у світі будуть активно формуватися екологічно небезпечні звалища.

Відповідно, серед всього різноманіття відходів, є відходи з різним ступенем «корисності», де ціна може формуватися на ринкових засадах і включатиме витрати на технологічну та екологічну переробку. Відходи з низьким рівнем «корисності» та, особливо, відходи, які класифікуються як шкідливі не можуть торгуватись за вільно сформованими цінами і формують загальносвітові екологічні проблеми. Перетворення відходів на різного роду економічні ресурси є основою циркулярної економіки. Цивілізований світ постійно формує нові технології переробки та способи використання відходів, що збільшує їх «корисності» і сприяє зростанню сили ринкового механізму у формуванні міжнародних потоків відходів. Але, в той самий час зростає і роль міжнародного регулювання процесів переміщення шкідливих відходів та їх переробки.

Оскільки торгівля відходами здійснюється не за звичайною формулою, то і регулювання такою торгівлею є не стандартним. Чим більш шкідливими або менш «корисними» є відходи, тим менше можливостей по їх вивезенню матиме держава, оскільки потенційні країни-імпортери вводять обмеження, з метою недопущення забруднення країни в процесі переробки або утилізації відходів. Слід зауважити, що зростання рівня економічного розвитку держави призводить до того, що в ній вводяться більш жорсткі екологічні стандарти і вона перестає ввозити відходи з низьким рівнем «корисності». Так, наприклад, КНР довгий час експортувала значну частку пластикових відходів ЄС, але у 2017 році ввела обмеження. В результаті дії цих обмежень експорт ЄС скоротився з 1,7 млн т у 2015 році до 0,06 млн т у 2018 році. Загальний обсяг експорту всіх відходів з ЄС в КНР склав у 2021 році 0,4 млн т на противагу понад 10 млн т у 2010 році. Натомість, експорт відходів ЄС до Пакистану збільшився в 10 разів з 2010 року до 1,3 млн т в 2021 році [7]. В логіці Світової організації торгівлі, встановлення бар'єрів в торгівлі відходами є абсолютно

легітимними, оскільки захищає життя та здоров'я громадян країни. Однак, введення обмежень та заборон завжди стимулює формування незаконної торгівлі. Крім того, производить до накопичення проблемних відходів в тих країнах, які по технічним чи адміністративним причинам не мають можливостей ефективно управляти відходами [4].

Таким чином, в світі відбувається локалізація місць зосередження шкідливих відходів, а країни, що імпортують такі відходи з часом можуть отримати важелі впливу на розвинуті країни, через маніпуляцію відмовою в утилізації. Така ситуація не може бути вирішена без створення загальносвітових екологічних стандартів стосовно переробки. Допоки вони відсутні, розвинуті країни будуть використовувати можливості світової торгівлі для позбавлення себе від шкідливих відходів.

ПОСИЛАННЯ

1. *Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96 (Розділи A.1 - A.20).* (б. д.). Офіційний вебпортал парламенту України. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text>.
2. Краснікова, Н. О. (1999). Вплив політики протекціонізму на суспільний добробут. *Митна справа*, (5), 25-29.
3. *Про управління відходами.* (б. д.). Офіційний вебпортал парламенту України. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>.
4. Hackmann, J. (1994). International trade in waste materials. *Intereconomics*, 29(6), 292-302. <https://doi.org/10.1007/BF02928168>.
5. Holei, Y., Stasiuk, Y., & Krupskyi, O. (2022). Research on world trends in biotechnology development. *Innovative Economy*, (1), 12-22. <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.1.2>.
6. Stukalo, N., Krasnikova, N., Steblianko, I., Meshko, N., Simakhova, A., Gaponenko, S., ... & Sardak, S. (2018). "Green" economy: from global concept to reality of local development. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294014>.
7. *The plastic waste trade in the circular economy.* (n. d.). European Environment Agency. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/the-plastic-waste-trade-in>.
8. *Trends in Solid Waste Management.* (2021). World Bank Group. Retrieved from https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html.

ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ЗАХВОРЮВАНОСТІ НАСЕЛЕННЯ ШЛЯХОМ ЗНЕПИЛЕННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНИХ ГАЗІВ

Юлія Войтенко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0819-3794>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

У даний час інтенсивними джерелами забруднення атмосферного повітря є підприємства чорної металургії. Найбільшим джерелом забруднення серед технологічних процесів чорної металургії є виробництво агломерату. В процесі одержання агломерату відбувається величезний винос пилу з шару аглошихти. Це пояснюється значною кількістю дрібних фракцій, що не приймає участі у грудкуванні і виносяться в атмосферу з шару аглошихти в процесі спікання. У гірничо-металургійних регіонах України встановлений прямий зв'язок між техногенным забрудненням атмосферного повітря пилом та небезпекою для здоров'я населення і персоналу підприємств, збільшенням рівня пилових захворювань органів дихання.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Метою роботи є аналіз основних джерел пилогазових викидів в умовах агломераційного виробництва, аналіз існуючих методик визначення ризику захворюваності, пов'язаної із шкідливою дією факторів навколошнього природного середовища, ідентифікація небезпеки та відбір пріоритетних факторів при визначенні ризику, дослідження залежності зниження захворюваності населення внаслідок зменшення виносу пилу в процесах агломерації залізної руди.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для оцінки ризику захворюваності був проведений розрахунок ймовірності захворювання на основі значення інтегрального показника. Також визначався коефіцієнт небезпеки шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з безпечними (референтними) рівнями впливу.

РЕЗУЛЬТАТИ

Одним з найпотужніших металургійних комбінатів в Україні є ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Взагалі м. Кривий Ріг – велике техногенне місто зі значною кількістю підприємств різних галузей промисловості.

В даний роботі проаналізована селітебна територія поблизу ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Раніше був виконаний комплекс науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт по впровадженню методів і заходів зниження викидів забруднюючих речовин при роботі аглофабрики на ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за рахунок застосування поверхнево-активних речовин (ПАР), а також була розроблена і впроваджена технологія обробки аглошихти перед спіканням розчинами ПАР з метою поліпшення грудкування і зниження викидів пилу з шару аглошити, що спікається. Введення в водні розчини ПАР зменшує поверхневий натяг цих розчинів та крайовий кут змочування. Тим самим забезпечується краще змочування гідрофобних часток дисперсних матеріалів. Покращення процесів змочування усіх компонентів аглошихти забезпечить підвищення ступеню її грудкування [1].

Враховуючи складну екологічну ситуацію в промислових регіонах, в тому числі в м. Кривий Ріг, необхідно більш детально дослідити зв'язок підвищених концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі та захворюваності населення, що проживає у екологічно забруднених промислових регіонах.

На здоров'я людини впливає сукупність цілого ряду факторів: спадкові захворювання, соціально-економічне становище, медичне обслуговування, спосіб життя і шкідливі звички, якість життєдіяльності та забруднення навколошнього природного середовища. Визначити у розвитку захворювання органів дихання частки саме забруднення атмосферного повітря є досить важкою задачею.

Нині одним із найбільш розповсюджених сучасних підходів до визначення зв'язку між забрудненням атмосферного повітря та здоров'ям населення є методологія оцінки ризику. Існує декілька методик, за допомогою яких можна визначити ризик захворюваності, пов'язаної зі шкідливою дією факторів навколошнього природного середовища [2-7].

Щоб оцінити ризик необхідно, по-перше, визначити небезпеки, тобто відібрати визначальні фактори та хімічні речовини. В даний роботі проведено дослідження залежності зниження захворюваності населення внаслідок зменшення виносу пилу в процесах агломерації заливної руди.

Одним з методів оцінки ризику захворюваності є розрахунок ймовірності захворювання на основі значення інтегрального показника, запропонований В.В. Ткачовим [3, 8]. Чисельно ризик можна оцінити за формулою:

$$R = 8,6x_1 + 6,0x_2 + 19,4x_3k_1 + 6,4x_4k_2k_3, \quad (1)$$

де R – інтегральний показник ризику захворювання; x_1 – вік працівника, роки; x_2 – стаж роботи, роки; x_3 – стаж роботи, враховуючи контакт з пилом, роки; x_4 – концентрація пилу в повітрі, мг/м³; k_1 – коефіцієнт, що враховує вміст SiO₂ (табл. 1); k_2 – коефіцієнт, що враховує мінеральний склад і концентрацію пилу в повітрі (для порідного пилу з вмістом в ньому вільного кремнезему 10 – 70 % цей коефіцієнт дорівнює 2,3); k_3 – коефіцієнт, що враховує важкість праці (табл. 2).

Таблиця 1 – Значення коефіцієнту k_1 в залежності від вмісту вільного діоксину кремнію (ВДК)

Вміст ВДК	Менше 2,0	2,1 – 10,0	10,1 – 70,0	70,1 і більше
Коефіцієнт k_1	0,6	0,8	1,0	1,2

Коефіцієнт, що враховує вміст діоксиду кремнію для нашого випадку приймаємо 0,8. Коефіцієнт, що враховує мінеральний склад, для породного пилу дорівнює 2,3.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнту k_3 в залежності від категорії умов праці за показниками тяжкості робочого процесу

Показник	Категорія тяжкості праці				
	Ia – легка робота	Iб – легка робота	ІІ – робота середньої важкості	ІІІ – робота середньої важкості	ІІІ – важка робота
k_3	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8

Формула (1) використовувалась для розрахунку інтегрального показника та оцінки ризику захворювання населення, що мешкає в зоні безпосереднього впливу аглофабрики ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Оцінка проводилася на прикладі населення віком 40 років, категорія важкості роботи прийнята I (коефіцієнт k_3 дорівнює 1,1). Таким чином $x_1 = x_2 = x_3 = 40$ [8].

Враховуючи, що в даній роботі оцінювався ризик захворюваності населення, а не працівників, враховувалось перевищення ГДК пилу в повітрі робочої зони над ГДК в атмосферному повітрі. Ризик захворювання людини визначають згідно методики виходячи з величини інтегрального показника.

Результати визначення ризику захворюваності для вибраної

категорії населення на різних відстанях від джерела викиду (аглофабрика ВАТ «АрселорМіттал Кривий ріг») наведено в таблиці 3 [8, 9].

Таблиця 3 – Ризик захворюваності населення (%) залежно від відстані до джерела викиду пилу (м).

Підготовка аглошихти	Інтегральний показник ризику, R					Ризик захворювання, %				
	Відстань до джерела викиду, м									
	500	1000	2000	3000	5000	500	1000	2000	3000	5000
без ПАР	1382	1415	1379	1349	1316	40	50	40	30	30
з ПАР	1297	1301	1296	1292	1287	20	20	20	20	20

Отримані результати свідчать про те, що істотне зменшення винесення пилу з агломераційними газами, внаслідок обробки агломераційної шихти перед спіканням розчинами ПАР, призводить до зниження захворюваності населення в селітебній зоні поблизу агломераційної фабрики, наприклад, на відстані 2000 м в два рази.

Також ризик для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря можна оцінити, визначивши коефіцієнт небезпеки, порівнюючи фактичні отримані дози з безпечними рівнями впливу:

$$HQ = \frac{AD}{RfD} \quad (2)$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки; AD – середня отримана доза, [мг/кг]; RfD – референтна, тобто безпечна доза, [мг/кг].

Формула розрахунку середньої добової дози (AD) при інгаляційному впливі речовини має вигляд:

$$AD = [(Ca \cdot Tout \cdot Vout) + (Ch \cdot Tin \cdot Vin)] \cdot EF \cdot ED / (BW \cdot AT \cdot 365), \quad (3)$$

де AD – середня добова доза речовини, [мг/кг]; Ca – концентрація речовини в атмосферному повітрі, [мг/м³]; Ch – концентрація речовини в повітрі приміщення, [мг/м³]; Tout – час, що людина проводить поза приміщенням, [год/добу]; Tin – час, що людина проводить в приміщенні, [год/добу]; Vout – швидкість дихання людиною при знаходженні поза приміщенням, [м³/год]; Vin – швидкість дихання людини в приміщенні, [м³/год]; EF – кількість днів на рік впливу, [днів/рік]; ED – тривалість впливу, [років]; BW – маса тіла людини, [кг]; AT – період осереднення експозиції, [років]; 365 – кількість днів в році.

Безпечну дозу визначаємо аналогічним чином за формулою (2), використовуючи замість фактичної концентрації пилу її гранично дозволену концентрацію. RfD = 0,146 мг/кг. Результати розрахунків коефіцієнтів небезпеки, як характеристик ризику розвитку захворювання, на різних відстанях від аглофабрики ВАТ „АрселорМіттал

Кривий Ріг” наведені в таблиці 4 [8, 10].

Таблиця 4 – Добові дози і коефіцієнти небезпеки залежно від відстані до джерела викиду пилу (м)

Підготовка агло-шихти	AD					HQ				
	500	1000	2000	3000	5000	500	1000	2000	3000	5000
Без ПАР	0,398	0,47	0,39	0,325	0,25	2,73	3,219	2,67	2,23	1,712
З ПАР	0,206	0,22	0,205	0,196	0,18	1,41	1,507	1,404	1,342	1,233

Показано, що зниження розрахункового коефіцієнта небезпеки, наприклад, на відстані 2000 м складає 47 % при використанні запропонованої технології та схеми обробки аглошихти розчинами ПАР перед її спіканням.

Висновки

Таким чином, проведені дослідження по визначеню інтегрального показника ризику захворювання та коефіцієнту небезпеки, вказують на значний вплив агломераційного виробництва на довкілля, а також підтверджують ефективність запропонованих способів пилоподавлення з використанням ПАР, що дозволяє знизити вдвічі значення ризику захворювання.

Посилання

1. Агапова, В., Пицьк, Ю., & Шишацкий, А. (2010). Снижение запыленности аглогазов методом улучшения окомкования аглошихты. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (7-8), 90–92.
2. Канцельсон, Б., & Привалова, Л. (1996). «Оценка риска» и гигиеническая регламентация – альтернативы или взаимодополняющие подходы. *Токсикологический вестник*, (4), 5–10.
3. Мантина, А. (2016). Комплексная оценка профессионального риска с учетом индивидуально аккумулированного воздействия производственных факторов. *Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», 205–209.*
4. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. (2003). *Офіційний вісник України*, 52, 233.

5. Нагорна, А., Вітте, П., Соколова, М., Кононова, І., Орехова, О., & Мазур, В. (2012). Оцінка ризику розвитку професійних захворювань у працівників металургійної, вугільної промисловості та машинобудування України. *Український журнал з проблем медицини праці*, 3(31), 3–13.
6. Орехова, О., & Павленко, О. (2019). Сучасна модель інтегральної оцінки ризику захворюваності з тимчасовою втратою працевдатності у працівників сучасної гірничометалургійної галузі України. *Довкілля та здоров'я*, 3(92), 47–52.
7. Севальнєв, А., & Шаравара, Л. (2016). Система оцінки та керування професійними ризиками захворюваності у працівників металургійного підприємства повного циклу. *Вісник проблем біології та медицини*, 1(2), 57–60.
8. Войтенко, Ю., & Левицька, О. (2020). Підвищення екологічної безпеки селітебних територій в зонах інтенсивного забруднення атмосферного повітря. *Збірник наукових праць НГУ*, 61, 94–102.
9. Пицьк, Ю., & Шишацкий, А. (2014). Снижение риска заболевания населения путем повышения экологической безопасности технологических процессов в металлургии. *Сборник материалов IX Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование – 2014»*, 3858–3861.
10. Mondrusova, M., Voytenko, Yu., Plyasovskaya, K., & Kaliberda, N. (2021). Triethanolamine salts absorption on the surface of the sinter during sintering production. *Сучасні науково-технічні дослідження у контексті мовного простору. Матеріали X Регіональної науково-практичної конференції молодих науковців та студентів*, 40–42.

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ОБСЯГІВ НАКОПИЧЕНИХ ВІДХОДІВ

Тетяна Русакова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5526-3578>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Великою проблемою в усьому світі залишається проблема накопичення відходів, вирішення якої безпосередньо пов'язано з процесами швидкої урбанізації, з рівнем розвитку економіки та промисловості в країні, а також із свідомим відношенням населення до процесів ресурсозбереження. Постійно збільшуються площи земельних ділянок, де накопичуються побутові та промислові відходи, що наносить шкоду навколошньому середовищу. Зростання рівня матеріального забезпечення та розширення виробничого сектора, з однієї сторони призводить до покращення економіки, а з іншої – до гіперспоживання різного роду товарів та продукції, що безпосередньо збільшує обсяги відходів. В дослідженнях [1-2] показано, що процес прогнозування утворення відходів залежить від багатьох факторів соціального, економічного та політичного характеру. Авторами робіт [4-6] проведено аналіз різних джерел утворення відходів, розглянуто переваги та недоліки методів переробки та повторного використання відходів. Для вирішення питань щодо накопичення та поводження з відходами необхідні злагоджені дії різних систем управління. Підґрунтам щодо прийняття таких управлінських рішень є статистична оцінка та аналіз обсягів утворених, утилізованих та накопичених відходів.

МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Побудувати математичну модель для аналізу обсягів накопичених відходів на основі встановлення взаємозв'язків між утвореними та утилізованими відходами. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: дослідити динаміку зміни утворених, утилізованих та накопичених відходів впродовж 2010-2023 років; провести статистичний аналіз взаємопливу цих факторних величин, як передумови для побудови регресійної моделі.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

На першому етапі дослідження було проаналізовано динаміку

зміни утворених та утилізованих відходів впродовж 2010-2020 років. Оскільки відповідні дані в головному управлінні статистики в Дніпропетровській області на 2022 та 2023 роки відсутні, то проведено прогнозні розрахунки трьома способами (за допомогою функції тренду, тенденції та росту) і обрано результати з найменшою похибкою. Найменша відносна похибка фактичних статистичних даних та прогнозованих 1.7% була при застосуванні функції тенденції, що повертає значення величини відповідно до лінійної апроксимації за методом найменших квадратів. Відповідна динаміка зміни утворених та утилізованих відходів впродовж 2010-2023 років з урахуванням прогнозу представлена на рисунках 1-2.

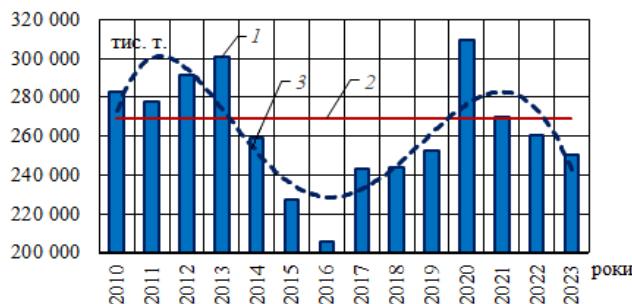


Рисунок 1 – Динаміка зміни обсягів утворених відходів за 2010-2023 роки:
1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

З рисунка 1 можна бачити, що тенденція зміни обсягів утворених відходів має спадний характер. Найбільші обсяги утворених відходів спостерігалися у 2013 році – 300 581.8 тис. т. та у 2020 році – 309 398.4 тис. т., а найменші у 2016 році – 205 850.1 тис. т.

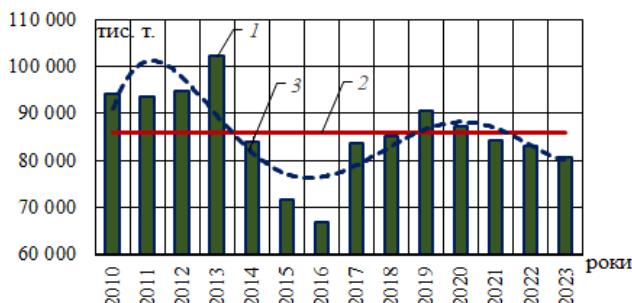


Рисунок 2 – Динаміка зміни обсягів утилізованих відходів за 2010-2023 роки:
1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

На наступному етапі дослідження було проведено кореляційний аналіз для встановлення взаємозв'язків між факторними змінними та результиуючою змінною. Коефіцієнти кореляції наведено в таблиці 1. Можна бачити, що усі коефіцієнти кореляції мають середній та високий ступінь колінеарності.

Таблиця 1 – Коефіцієнти кореляції між факторними величинами

	x_1	x_2	$y(x_i)$
x_1	1		
x_2	0.8376	1	
$y(x_i)$	-0.4522	-0.5872	1

де x_1 – обсяги утворених відходів, x_2 – обсяги утилізованих відходів, $y(x_i)$ – обсяги накопичених відходів за 2010-2023 роки.

Нормований $R^2=0.947$ і показує, що результативна змінна $y(x_i)$ залежить на 95% від факторних змінних x_1 , x_2 , що говорить про адекватність моделі.

Рівняння множинної лінійної регресії набуває наступного виду:

$$y(x_i) = x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2, \quad (1)$$

де x_1 – обсяги утворених відходів, x_2 – обсяги утилізованих відходів, $y(x_i)$ – обсяги накопичених відходів за 2010-2023 роки.

Коефіцієнти регресії у рівнянні (1) відповідно дорівнюють:

$$a_0 = 2\ 064\ 180.3, a_1 = 13.68, a_2 = 42.24. \quad (2)$$

P -значення для знайдених коефіцієнтів регресії, що визначають ймовірності їх значущості, не перевищують значення 0.05, це підтверджує їх вагомий вплив на змінну $y(x_i)$.

Для визначення адекватності отриманої кореляційної моделі (1) проведено розрахунки $y(x_i)$ та відносної похибки отриманих числових значень відносно вихідних статистичних даних. Середнє значення похибки склало $\Delta_{\text{сер.}}=5.9\%$, тому регресійна математична модель (1) з точністю на 94 % описує динаміку зміни обсягів накопичених відходів в Дніпропетровській області за 2010-2023 роки, що говорить про її адекватність.

РЕЗУЛЬТАТИ

При проведенні вищенаведених досліджень було отримано наступні результати:

1. Проаналізовано динаміку зміни обсягів утворених, утилізованих та накопичених відходів впродовж 2010-2023 років. На основі описової статистики встановлено закономірності їх зміни.

2. Розраховано кореляційні коефіцієнти для встановлення взаємозв'язків між вищезазначеними факторними змінними та результуючою величиною обсягів накопичених відходів. В результаті оцінки колінеарності встановлена щільність зв'язків.

3. Отримано регресійну математичну модель на основі регресійно-дисперсійного аналізу і перевірено її адекватність: середнє значення відносної похибки розрахунків склало 5.9%, а максимальне значення похибки – 7.8%.

Висновки

Розроблена математична модель дозволяє спрогнозувати обсяги накопичених відходів впродовж найближчих років, що може стати базою для обґрунтування необхідних обсягів застосування інвестицій для ефективного поводження з відходами та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Посилання

1. Khan, D., Kumar, A., & Samadder, S. R. (2016). Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. *Waste Management*, 49, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.019>
2. Trang, P. T. T., Dong, H. Q., Toan, D. Q., Hanh, N. T. X., & Thu, N. T. (2017). The Effects of Socio-economic Factors on Household Solid Waste Generation and Composition: A Case Study in Thu Dau Mot, Vietnam. *Energy Procedia*, 107, 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.144>
3. Parimala, G. S., Arockiam, J. S., Amjad, A., Di, G., & Zengqiang, Z. (2020). Waste treatment approaches for environmental sustainability. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, 119–135. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00006-1>
4. Kolekar, K. A., Hazra, T., & Chakrabarty, S. N. (2016). A review on prediction of municipal solid waste generation models. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.087>
5. Nishit, S., Anushka, S., Kimaya, S., Lukhanyo, M., Pankaj, C., & Soumya, P. (2020). Microbial hydrogen production: fundamentals to application. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, 343–365. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00017-6>

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ КРИЗОВИХ ЯВИЩ В УКРАЇНІ

Олена Золотъко

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2482-7574>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вступ

Закон України «Про інноваційну діяльність» спрямований на підтримку розвитку економіки України інноваційним шляхом, сприяє більш ефективному використанню науково-технічного потенціалу країни, виробництву та реалізації нових видів продукції.

Основними об'єктами інноваційної діяльності є нові знання та розроблені технології та матеріали, виробниче обладнання та процеси, організаційно-технічні рішення, що суттєво поліпшують структуру і якість виробництва та соціальної сфери, виготовлені продукція, тощо.

Здійснення інновацій у виробничій діяльності призводить до необхідності створення інноваційної інфраструктури, нових робочих місць для висококваліфікованих спеціалістів, збільшення кількості суб'єктів малого підприємництва [1]. Ринок екологічних інновацій є окремим сегментом загального ринку інновацій. Для його формування важливими є державні, регіональні, локальні та особистіні екологічні інтереси. Зацікавленість у здійсненні екологічних інновацій демонструє занепокоєння суспільства станом екологічних проблем.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Метою роботи є вивчення динаміки впровадження інноваційних технологій за останні роки, їх екологічних аспектів та впливу на них кризових явищ в Україні.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Здійснено аналіз статистичних даних інноваційної діяльності промислових підприємств, наведених у матеріалах Державної служби статистики України та її регіональних органів.

РЕЗУЛЬТАТИ

Під екологічними інноваціями розуміють сукупність прогресивних технічних та технологічних змін у виробництві, які сприяють переходу на нові екологічні технології, з метою зниження антропогенного тиску на навколишнє середовище, відновлення екологічної рівноваги, підтримання здатності природних систем до самовідновлення та саморегуляції. Екологічні інновації у сучасному визначені розуміють, як кінцевий продукт створення, використання та впровадження у виробництво екологічно-орієнтованого нововведення у вигляді екологічних товарів, технологій, матеріалів, операцій, які покращують соціально-економічні показники підприємства та забезпечують зменшення використання природних ресурсів, підвищують рівень екологічної безпеки та мінімізують негативний вплив на довкілля.

Основні очікування від впровадження екологічних інновацій розглядають на економічному (економія енерговитрат, нові продукти, послуги та технології), екологічному (боротьба із зміною клімату, збереження біологічного різноманіття), соціальному (покращення якості життя населення, створення нових робочих місць) та на політичному (технологічна безпека, збереження бази природних ресурсів) рівнях.

Основними перевагами здійснення будь-яких інновацій із врахуванням екологічного аспекту є поєднання необхідності постійного вдосконалення існуючих виробничих процесів із заходами зменшення ризиків впливу на складові довкілля. Така позиція прискорює виникнення нових рішень та сприяє розвитку економіки замкнутого циклу, коли відходи одних підприємств стають ресурсами для інших.

Серед пріоритетних напрямів інноваційної діяльності в Україні на період до припинення або скасування воєнного стану визначаються створення високотехнологічної конкурентоспроможної екологічно чистої продукції, освоєння ресурсозберігаючих технологій, широке застосування заходів та засобів охорони навколишнього природного середовища [2].

Для аналізу динаміки інноваційних процесів обрано Дніпропетровську область, де сформований потужний виробничий та науково-технічний потенціал: в області широко представлені науково-емні галузі металургійної промисловості, машинобудування (важке, транспортне, верстатобудування, ракетобудування, інші напрями), хімічної, будівельної, харчової промисловості. В регіоні здійснюють господарську діяльність більше 4 тис. промислових підприємств, які виробляють майже п'яту частину усієї реалізованої промислової продукції України. [3].

У 2014 році за оцінкою рівня інноваційного потенціалу регіонів України Дніпропетровщина займала 2 місце. За рейтинговою оцінкою регіонів України за Індексом інноваційного розвитку в 2017 році Дніпропетровська область посідала 4 місце. [4]. В області у 2019 та 2021 роках удосконаленням технологічної і технічної бази виробництва, оновленням продукції займались 12,5% від загальної кількості обстежених промислових підприємств (у 2019 році цей середній показник по Україні складав 15,5%, найвищий спостерігався у Хмельницькій області – 27,1%) [5]. На жаль, екологічний аспект у впроваджених у 2021 році 162-х нових технологічних процесах та освоєніх виробництв 118-ти найменувань інноваційних видів продукції, не виділяється. Найчастіше інноваційна діяльність здійснюється у металургії, машинобудуванні та хімічній галузях, при чому ймовірність наявності інноваційної діяльності збільшується із зростанням «розміру» підприємств, тобто на великих підприємствах близько 8% ні у які періоди своєї діяльності не займалися розробкою та впровадженням нових технологій та продукції, серед малих – таких 26% [6].

Слід зазначити, що в умовах складної екологічної ситуації в Україні інноваційні технології та рішення повинні бути екологічно чистими, безпечними, енерго- та ресурсозберігаючими, маловідходними або безвідходними. Тобто питання модернізації та розширення виробництва, підвищення його економічної ефективності та конкурентоспроможності слід вирішувати із врахуванням екологічного аспекту.

Кризовими процесами в Україні, які мали вплив на динаміку інноваційної діяльності в Україні та її регіонах за останні 5 років, були пандемія COVID – 19 та агресія Росії. Проведені опитування показали, що у сучасних умовах для 31% підприємств впровадження інновацій, в тому числі екологічних, не є актуальним, 42% підприємств під час війни скоротили витрати на інноваційну діяльність. Серед основних перешкод для зростання виробництва в умовах війни виділяють несприятливу політичну ситуацію та низький попит на продукцію та технології і лише 3% підприємств вказують на застарілі технології, тоді як у 2021 році ця причина була актуальною для 22% підприємств. Слід зазначити, що кризові явища, пов’язані з пандемією COVID – 19, збільшили увагу бізнесу до технологій виробництв% [6].

Екологічні інновації допомагають у вирішенні фінансових проблем підприємств при впровадженні нових технологій, пов’язаних з високими витратами на природоохоронні заходи, сплатами за забруднення навколошнього середовища, мета яких – компенсація екологічного збитку, завданого суспільству.

Висновки

Законодавча база здійснення інноваційних процесів на виробництвах виокремлює пріоритетні напрями, в яких намічена чітка спрямованість на ресурсозбереження, застосування заходів та засобів охорони навколошнього природного середовища

Екологічні інновації повинні бути важливою частиною розробки будь-якої техніки, технології, матеріалів. Вони сприяють реалізації екологічних інтересів суспільства і розвитку економіки замкнутого циклу в Україні. Аналіз різних напрямів інноваційної діяльності часто не дає уявлення про екологічні аспекти нововведень.

Кризові явища в Україні по-різному впливають на зацікавленість підприємств здійснювати інноваційну діяльність. Наявність економічної кризи та тяжкої політичної ситуації значно зменшують витрати на інновації, тоді як соціальні фактори суттєво не впливають на впровадження інноваційних продуктів, технологій та послуг.

ПОСИЛАННЯ

1. Про інноваційну діяльність, Закон України № 40-IV (2023) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/40-15#Text>
2. Про внесення змін до деяких законів України щодо пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та інноваційної діяльності, Закон України № 2859-IX (2023) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2859-20#Text>
3. *Паспорт області*. (2021). Дніпропетровська обласна державна адміністрація. <https://adm.dp.gov.ua/pro-oblstadt/dnipropetrovshina/pasport-oblasti>
4. Balan, O., Dobrianska, N., & Serkal, S. (2021). Diagnosis of the state of activity of the united territorial communities of Odessa region and analysis of the development of their territories. *Economic journal Odessa polytechnic university*, 2(16), 5–16. <https://doi.org/10.15276/ej.02.2021.1>
5. *Інноваційна діяльність області*. (2019). Головне управління статистики у Закарпатській області. https://www.uz.ukrstat.gov.ua/catalog/2020/bulet_45.pdf
6. *Стан інновацій в Україні під час війни*. (2023). SlideShare. <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-258071994/258071994>

ЗМІСТ

Використання сучасних технологій при виробництві капілярних систем забезпечення суцільності палива космічних літальних апаратів	3
<i>Сергій Давидов</i>	
<i>Олег Колесніченко</i>	
<i>Анастасія Давидова</i>	
Перспективи розвитку ракетно-космічної галузі та проблема забруднення навколоземного простору.....	7
<i>Анжеліка Давидова</i>	
<i>Данило Рак</i>	
Comparison of a Combined Torus Tank with a Composite Isogrid Support with Existing Design Solutions	11
<i>Andrii Diadiuk</i>	
<i>Volodymyr Lipovskiy</i>	
Закордонний досвід використання суборбітальних ракет-носіїв для вирішення задач у сфері безпеки та оборони	18
<i>Владислав Пророка</i>	
<i>Микола Дронь</i>	
<i>Ілля Лук'яненко</i>	
<i>Олексій Кулик</i>	
UAV Launch Methods	25
<i>Oleksandr Dobrodomov</i>	
<i>Vladyslav Proroka</i>	
<i>Oleksii Kulyk</i>	
Oцінка доцільності використання аеродинамічних систем відведення в залежності від висоти орбіти.....	35
<i>Anatolij Abaturov</i>	
Синтез конструкторсько-технологічних рішень при проєктуванні систем запуску БПЛА	40
<i>Артем Швець</i>	
<i>Ігор Білоцерковський</i>	
<i>Олексій Кулик</i>	
<i>Олександр Добродомов</i>	
Semantic difficulties of the English aerospace terminological system ...	47
<i>Irina Suima</i>	

Using Hydrogen Peroxide for Rocket Fuel Tank Pressurization: Innovations, Advantages, and Challenges	53
<i>Mykhailo Vorobei</i> <i>Mykola Bondarenko</i>	
Дослідження впливу умов лабораторного тестування на робочі параметри холловського двигуна ST-25.....	59
<i>Віктор Перєра</i> <i>Олександр Петренко</i>	
Моделювання режиму неробочого ходу потужного п'ятистрижневого трансформатора.....	65
<i>Сергій Зірка</i> <i>Денніс Алберт</i>	
Експериментальне дослідження дроселювання твердопаливних прямоточних парових котлів.....	72
<i>Станіслав Білогурів</i> <i>Олександр Мишенко</i> <i>Сергій Бардаков</i>	
Використання теплової енергії для надування паливних баків ракетних двигунних установок.....	78
<i>Юрій Мітіков</i> <i>Максим Седченко</i> <i>Євген Крупкін</i>	
Дослідження та перспективи використання автономних вітроенергетичних установок малої потужності	83
<i>Олександр Пономарьов</i> <i>Денис Сухов</i>	
Диференційна модель тракту охолодження камери РРД.....	87
<i>Валерій Бучарський</i> <i>Володимир Слюсарев</i>	
Математична модель системи наддування паливних баків з урахуванням теплообміну	91
<i>Віталій Алексєєнко</i> <i>Валерій Бучарський</i>	
Визначення складових, що мають бути враховані при розрахунку сумарного запасу робочої речовини електроракетної двигунної установки на основі холловського двигуна	96
<i>Сергій Асмоловський</i> <i>Сергій Бондаренко</i>	

The problem of combustion instability in liquid rocket engines	100
<i>Samir Vekilov</i>	
<i>Volodymyr Lipovskiy</i>	
<i>Roman Pustovyi</i>	
Аналіз можливості удосконалення сопел ракетних двигунів	111
<i>Олександр Золотъко</i>	
Спосіб визначення механічних характеристик живих тіл.....	115
<i>Данило Снобко</i>	
<i>Галина Сокол</i>	
Підвищення механічних властивостей деталей газотурбінних	
двигунів з двофазних титанових сплавів.....	120
<i>Олексій Федосов</i>	
Каскадний спосіб встановлення кількох радіально-упорних	
підшипників кочення	125
<i>Володимир Дудніков</i>	
Дослідження переваг та недоліків моделювання поведінки рідини в	
програмному пакеті 3D Max	131
<i>Олег Колесніченко</i>	
Особливості виготовлення деталей типу «Стакан» за умов різних	
типов виробництва.....	135
<i>Михайло Селютін</i>	
<i>Олег Бондаренко</i>	
Установка для комбінованого навантаження оболонкових	
конструкцій літальних апаратів і ракет при статичних	
випробуваннях на міцність і жорсткість.....	141
<i>Володимир Дудніков</i>	
<i>Валерій Ігнаткін</i>	
Вдосконалення способу армування деталей при FDM 3D-друку...	148
<i>Максим Сіренко</i>	
<i>Олена Карпович</i>	
Розробка фізичної та математичної моделі потоків газу в потрійному	
коаксіальному соплі	153
<i>Олена Карпович</i>	
<i>Євген Каракаш</i>	
<i>Денис Жумар</i>	
<i>Олександр Таран</i>	

Інформаційно-математичне представлення марок сталей конструктивних елементів в прикладній механіці.....	159
<i>Олег Юшкевич Валерій Ігнаткін</i>	
Стан та тенденції розвитку машинобудівної галузі України у повоєнний час (2014 – 2023).....	165
<i>Сергій Лук'яненко</i>	
Modern air defense methods and countermeasures for use in operational-tactical missiles	175
<i>Mykola Bondarenko Mykhailo Vorobei</i>	
Розробка програмного забезпечення для управлюючої програми намотки віссесиметричних оболонок із полімерних композитних матеріалів.....	184
<i>Юхим Мигович Іван Карпович Світлана Клименко</i>	
Дослідження властивостей аустенітної сталі у вихідному стані....	191
<i>Сергій Божко Анатолій Санін Юрій Ткачов Віктор Хуторний</i>	
Структура та механічні властивості багатокомпонентного сплаву системи Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni отриманого шляхом гартування з розплаву	201
<i>Олександр Кушнерьов Валерій Башев Сергій Рябцев</i>	
Структура та фазовий склад плівок Fe–Si–B–Cu–Nb та Fe–Si–B–Ni–Mo.....	207
<i>Сергій Рябцев Олександр Кушнерьов Валерій Башев</i>	
Дослідження неметалевих включень та характеристик колісної сталі КП-Т під впливом модифікування	211
<i>Сергій Поліщко Тетяна Носова Стелла Мамчур</i>	

The influence of modification on the structure and mechanical properties of aluminum alloys	214
<i>Tetiana Nosova Stella Mamchur</i>	
Choice and justification of the method of titanium welding with platinum	219
<i>Anatolii Sanin Igor Mamchur Tatyana Nosova Stella Mamchur</i>	
Obtaining multi-component chrome plated coatings for press tooling equipment.....	224
<i>Borys Sereda Andrii Udod</i>	
Проблематика математичного розпізнавання образів у робототехнічних системах	229
<i>Тетяна Кадильникова Ілля Савчук Валерій Некрасов</i>	
Наземні саморухливі платформи: стан та перспективи розвитку .	236
<i>Тетяна Кадильникова Максим Дацік</i>	
Моделювання кінематики кривошипно-повзунного механізму робота у програмному середовищі «IC Математичний конструктор»	241
<i>Галина Сокол Володимир Дудніков Тетяна Кадильникова Владислав Стешенко</i>	
Виклики і розвиток авіоніки: система переривання польоту.....	245
<i>Валерій Мазуренко</i>	
Методика визначення програми кута тангажу для виводу космічних апаратів на кругові орбіти	249
<i>Руслан Кеба Анатолій Кулабухов</i>	
Числове моделювання керованого руху дрона-квадрокоптера.....	255
<i>Людмила Гарт Володимир Ружевич</i>	

Огляд можливостей платформи Ardupilot для розробки систем керування автономними літальними апаратами, стійкими до радіоелектронної боротьби	259
<i>Олександр Таран</i>	
Transfer function of a time-varying control system.....	265
<i>Volt Avdieiev</i>	
застосування глибокого навчання для покращення ефективності алгоритмів розпізнання зіткнень в 3D просторі	275
<i>Іван Невкритий</i>	
<i>Світлана Антоненко</i>	
Страхування кіберризиків як складовий елемент системи ефективного менеджменту: кейс України.....	280
<i>Ганна Нямецьук</i>	
<i>Вероніка Біла</i>	
Оцінки похибок наближення класів неперервних диференційованих функцій ламаними	285
<i>Олександр Щитов</i>	
<i>Микола Мормуль</i>	
Advantages of Logarithmic Signatures in the Implementation of Crypto Primitives	296
<i>Yevgen Kotukh</i>	
<i>Gennady Khalimov</i>	
Порівняння багатопроцесорної та багатопоточної реалізацій ентропійного підходу для імптування пропусків у даних на мові програмування Python	300
<i>Олексій Земляний</i>	
<i>Олег Байбуз</i>	
Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу	305
<i>Костянтин Суковенко</i>	
Тестування роботи точного алгоритму для задачі про суму підмножини на різних персональних комп'ютерах	312
<i>Михайло Ленський</i>	
<i>Ганна Михальчук</i>	
Розробка програмного забезпечення для прикладного статистичного аналізу випадкових величин	316
<i>Олексій Клименко</i>	

Картографічна складова в електронній торгівлі	321
<i>Анна Селіванова</i>	
<i>Ганна Самойленко</i>	
Дослідження автокорельованих вибірок випадкових величин	325
<i>Олексій Федоренко</i>	
Дослідження та інтеграція алгоритму SVM в інформаційно- вимірювальних технологіях для вибору професії лікаря	330
<i>Олексій Ізмалков</i>	
Застосування моделей глибокого навчання для видалення шумів на зображеннях	336
<i>Максим Гавриленко</i>	
<i>Ольга Мацуга</i>	
Визначення віку людини за фото на основі нейронних мереж.....	342
<i>Свєній Вербенко</i>	
<i>Ольга Мацуга</i>	
Моделювання лідерського потенціалу фахівця.....	349
<i>Олексій Шевяков</i>	
Інноваційний підхід до управління міжкультурними командами ..	353
<i>Валерія Воробйова</i>	
<i>Олександр Крупський</i>	
Innovations and Structural Problems of Industry: Comparative Analysis of Azerbaijan's Indicators with Turkish Republics	358
<i>Gulshen Yuzbashiyeva Zahid qizi</i>	
<i>Samira Abasova Huseyn qizi</i>	
<i>Israfil Yuzbashiyev Habib oglu</i>	
Культура менеджменту підприємств харчової промисловості	367
<i>Слізавета Кравчук</i>	
<i>Олександр Крупський</i>	
Strategic Business Management in the Digital Economy	372
<i>Tetiana Grynko</i>	
<i>Tetiana Hviniashvili</i>	
Risk in management decisions of the modern organization and methods of management of this risk.....	377
<i>Veronika Holomozenko</i>	
<i>Yuliia Stasiuk</i>	

Концептуальна модель удосконалення неакадемічного студентського досвіду в умовах цифрової трансформації вищої освіти	382
<i>Роман Павлов</i>	
<i>Темяна Павлова</i>	
The personnel management system of the organization in the conditions of martial law and the main directions of its improvement	388
<i>Anastasiia Radchenko</i>	
<i>Oleksii Dzhusov</i>	
Innovative approaches in marketing for the development of the tourism industry	393
<i>Yuliia Stasiuk</i>	
<i>Andrii Kobchenko</i>	
Критерії ефективності кадрового менеджменту підприємства: реалії воєнного часу	399
<i>Ганна Нямешук</i>	
<i>Ярослав Черкасов</i>	
Управління ризиками українського бізнесу в умовах технологічних змін	405
<i>Темяна Смирнова</i>	
Активізація процесів цифровізації та впровадження інноваційних інструментів у сфері гостинності	409
<i>Володимир Джинджоян</i>	
<i>Ольга Ходак</i>	
<i>Наталія Яковлєва-Мельник</i>	
Удосконалення маркетингових комунікацій бізнес-організацій.....	422
<i>Анастасія Куліш</i>	
<i>Олександр Крупський</i>	
Open Archives initiative: A fast way of integration into global open science.....	432
<i>Yuriii Tkachov</i>	
Застосування світового досвіду охорони атмосферного повітря в Україні.....	446
<i>Олена Долженкова</i>	
Обґрунтування доцільності використання вітроенергетичних установок з вертикальною віссю обертання на техногенно порушених землях гірничодобувних регіонів	452
<i>Ольга Медведєва</i>	
<i>Заряна Гальченко</i>	

Формуючі фактори стосовно закріплення фахівців в організації та їх роль при забезпеченні належних умов праці.....	456
Свєнія Григор'єва Богдан Гармаш Лідія Катковнікова	
Визначення модельних функціональних залежностей оптимізації та управління екобезпекою укісних споруд хвостосховищ	461
Андрій Рябко	
Дослідження факторів впливу на довкілля порушених ділянок земної поверхні існуючих хвостосховищ	467
Олена Мінко	
Міжнародна торгівля відходами: екологія чи бізнес	471
Наталія Краснікова Дмитро Кобиляк	
Зниження ризику захворюваності населення шляхом знепилення агломераційних газів.....	476
Юлія Войтенко	
Статистична оцінка обсягів накопичених відходів	482
Тетяна Русакова	
Екологічні аспекти інноваційних технологій в умовах кризових явищ в Україні	486
Олена Золотъко	

Наукове видання

ВИКЛИКИ ТА ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ НАУКИ

Збірник наукових праць
Українською та англійською мовами

В авторській редакції

За зміст і достовірність фактів, цитат, власних імен
та інших відомостей відповідальність несуть автори

Відповідальний за випуск д-р техн. наук А. Ф. Санін

Технічні редактори канд. техн. наук Ю. В. Ткачов
канд. психол. наук О. П. Крупський

Упорядник канд. техн. наук Ю. В. Ткачов

Підписано до друку 14.06.2024. Формат: 60x84/16. Друк
цифровий. Умов. друк. арк. 28,4. Умов. авт. арк. 24,3. Обл.-вид.
арк. 29,1. Гарнітура: Times, Arial. Тираж: електронне видання.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Науки, 72, Дніпро, Україна, 49045