

Міністерство освіти і науки України  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

# ВИКЛИКИ ТА ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ НАУКИ

CHALLENGES AND ISSUES OF MODERN SCIENCE



*Збірник наукових праць*

*Том 1*

Дніпро

2023

*Рекомендовано вченою радою фізико-технічного факультету ДНУ  
(протокол №6 від 6 червня 2023 р.)*

В 43 Виклики та проблеми сучасної науки [Електронний ресурс] : зб. наук. пр. – Дніпро : [б. в.], 2023. – Т. 1. – 623 с. – Режим доступу: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22886720>. – Назва з екрана.

До збірника «Виклики та проблеми сучасної науки» увійшли 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.

Challenges and issues of modern science [Electronic resource] : research papers collection. – Dnipro : [s. n.], 2023. – Vol. 1. – 623 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22886720>. – Title from screen.

The collection “Challenges and Issues of Modern Science” comprise scientific researches 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.

## ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛУ У КОНСТРУКЦІЯХ З КОМІРКОВО-КАРКАСНОЮ СТРУКТУРОЮ

*Владислав Іванович Шинкарук*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2089-8850>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Володимир Іванович Ліповський*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Сучасний розвиток комп'ютерного моделювання глибоко інтегрувався в процеси проектування конструкцій, в тому числі в аерокосмічному сегменті. Інтенсивне залучення цифрових технологій до виробничих процесів забезпечило можливість створення адитивних технологій. Саме ці технології допомагають змінити класичні підходи до створення об'єктів та отримати високоефективні раціональні конструкції. До таких конструкцій можна віднести комірково-каркасні структури (Lattice Structure). Такі структури створюються за допомогою селективного лазерного плавлення металів (Selective Laser Melting, SLM).

Комірково-каркасні структури — є комплексними тривимірними конструкціями, які складаються з повторюваних елементів або клітин, що утворюють просторовий масив. Елементарна клітинка, що входить до структури, може мати різну геометричну конфігурацію і певною мірою представляє собою мікроферму. Саме геометрія елементарної клітинки визначає фізичні властивості структури (густину, міцність, жорсткість, анізотропію та ін.). Отже, можна підібрати геометрію таким чином, щоб забезпечити високі показники жорсткості та міцності, при цьому значно знизивши масу конструкції, що є критично важливим в аерокосмічній індустрії. Але адитивна технологія виготовлення також впливає на фізичну модель поведінки такої конструкції. Після виготовлення комірково-каркасна структура має концентратори напружень і зони локальних зв'язаних нерозплавлених частинок. Всі ці фактори впливають на фізико-механічні характеристики та властивості структури.

Слід зазначити, що комірково-каркасні структури характеризуються складною геометрією просторових масивів, тому 3D моделювання, обробка, а також числові аналізи та експерименти методами кінцевих елементів (МКЕ) вимагають надзвичайно великих ресурсів.

## МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Дослідження побудовано на чисельному моделюванні комірково-каркасної структури. Конструкційний матеріал описується пружно-пластичною білінійною моделлю деформування. В якості зразку розглянуто область розміром  $3 \times 3 \times 3$  елементарних комірки. Для цього зразка проведено чисельний експеримент на базі МКЕ та визначено основні фізико-механічні властивості, що матиме структурований матеріал з такою конфігурацією.

Отримані дані порівнюються з експериментальними даними, які приведені в роботі [1]. Зроблено висновки про можливість отримання фізико-механічних властивостей структурованого матеріалу для подальшого використання цих даних в процесах проектування. Теоретично, це має потенціал для уникнення необхідності точного відтворення геометрії комірково-каркасних структур та значно спростить процеси чисельних аналізів при проектуванні.

Отже, можна сформулювати наступне:

*Об'єкт дослідження:* конструкції з комірково-каркасною структурою, які виготовлені за допомогою адитивних технологій.

*Предмет дослідження:* Математичне моделювання поведінки конструкції з властивостями комірково-каркасної структури за допомогою МКЕ.

*Мета дослідження:* Перевірити адекватність отриманих чисельних результатів з експериментальними; перевірити припущення про можливість скоротити необхідні обчислювальні ресурси та час для проведення розрахунків на базі МКЕ. Оцінку результату для досліджуваного зразка виконано на базі порівняння з результатами, отриманими у роботі [1]. Досліджуваний зразок має ідентичну геометрію та фізичні властивості матеріалу, що описані у вказаній роботі.

Задачі дослідження:

1. Створити 3D модель області комірково-каркасної структури розміром  $3 \times 3 \times 3$  елементарних комірки;
2. Задати властивості конструкційного матеріалу;
3. Підготувати ітераційний нелінійний аналіз стиснення даного екземпляру на базі МКЕ;
4. За результатами проведеного числового аналізу отримати дані по навантаженні, що виникає у зоні контакту при стисненні;
5. За даними геометрії та отриманих значень навантаження визначити показники напруження, модуля пружності і т. д.
6. Порівняти отримані результати з експериментальними результатами роботи [1] та зробити висновок.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

В роботі [1] автори визначають механічні характеристики створеної структури за допомогою експерименту. Матеріалу у роботі [1] задано білінійно на основі параметрів, відповідно до дослідження [3]. Згідно дослідження [2], загальну діаграму напружено-деформованого стану структурованого матеріалу можна представити у вигляді трьох зон: пружна зона, зона плато та зона ущільнення (див. рис. 1).

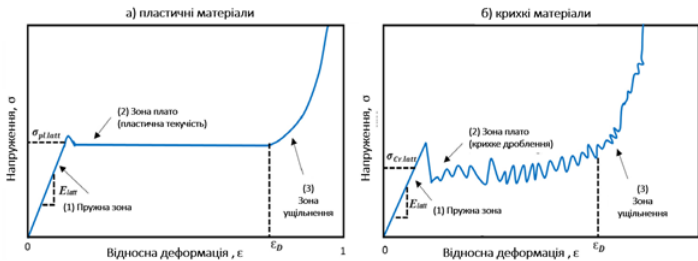


Рисунок 1 - Типова діаграма напружено-деформованого стану комірково-каркасної структури при стисненні:  
 а) для пластичних матеріалів; б) для крихких матеріалів

Описану модель поведінки матеріалу використано у даній роботі при проведенні чисельного аналізу на базі МКЕ. Геометрія елементарної комірки для дослідження продемонстрована на Рисунок 2.

В якості конструкційного матеріалу обрано алюмінієво-кремнієвий сплав AlSi-12, що знайшов широке використання при виготовленні металевих конструкцій адитивними технологіями. Фізико-механічні властивості матеріалу вказані в Таблиці 1 [1].

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості AlSi-12

Властивості	Густина [кг/м <sup>3</sup> ]	Модуль Юнга [ГПа]	Тангенціальний модуль Юнга	Коефіцієнт Пуассона	Межа Текучості [МПа]	Межа Міцності [МПа]
AlSi-12	2700	15	3,3	0,33	165	220

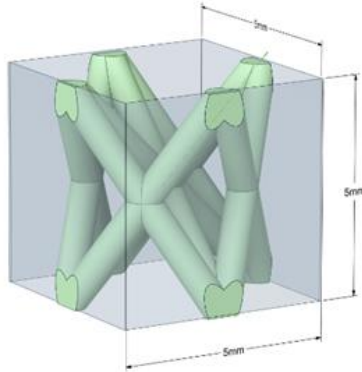


Рисунок 2 – Геометрія елементарної комірки

Далі створюємо модель області комірково-каркасної структури, яку будемо використовувати в числовому аналізі на базі МКЕ. 3D модель даної комірково-каркасної структури продемонстровано на рисунку 3.

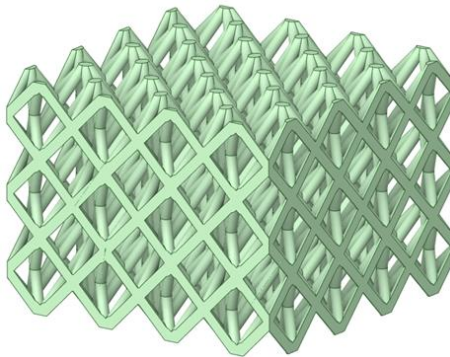


Рисунок 3 – Геометрія області комірково-каркасної структури

Числовий аналіз виконано за допомогою пакету кінечно-елементного аналізу ANSYS [4]. Розрахункова схема даного аналізу представлена на Рисунку 4. На схемі верхня та нижня плити є абсолютно твердими та жорсткими тілами, що не деформуються. Верхня плита ітераційно зміщується вниз, тим самим провокуючи деформації та напруження стиснення в зразку, що досліджується. При цьому в розрахунок додано умови симетрії для покращення точності результатів і їх відповідності, оскільки дана область розглядається як частина структури, а не її кінцева визначена форма.

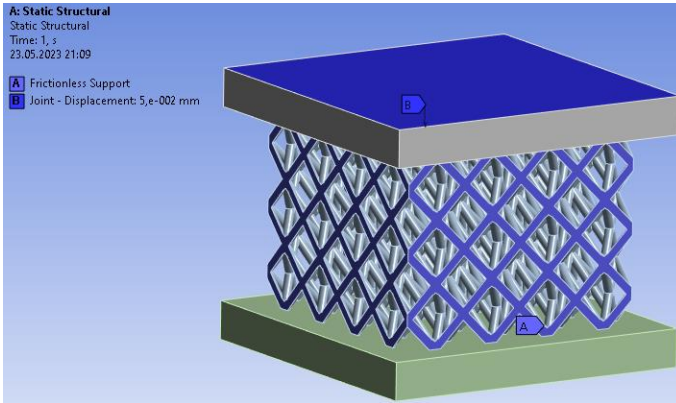


Рисунок 4 – Розрахункова схема аналізу

Слід зазначити, що даний аналіз проводимо з допуском на високі показники деформацій для того, щоб задача проходила в пластичній зоні. Це дає змогу реалізувати закладену модель поведінки структурованого матеріалу, запропоновану в роботі [1] і показану на Рисунок 1.

Розмір елемента сітки на комірково-каркасній структурі складає 0,5 мм. В налаштуваннях для створення кінечно-елементної сітки, обрано методи генерування сітки, що адаптовані під фізику механічного нелінійного аналізу. Порядок елементів – квадратичний. В результаті генерування сітки отримано кінечно-елементну модель досліджуваного зразка (див. на Рис. 5). Кількість вузлів – 217351, елементів – 103776.

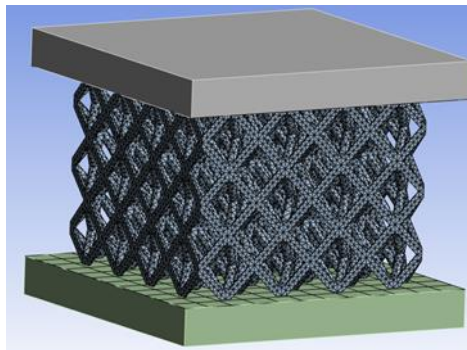


Рисунок 5 – Кінечно-елементна модель

Даний чисельний аналіз процесу стиснення зразка проводиться ітераційно. Загалом визначено 100 ітерацій, кожен крок ітерації розбивається на підкроки в межах  $(10 \div 20)$  залежно від показників збіжності результату.

Загальне зміщення стискаючої абсолютно твердої та жорсткої плити складає 5 мм, що відповідає 0,33 мм/мм відносної деформації зразка. За кожен крок ітерації зміщення плити складає 0,05 мм; загальне зміщення — 5 мм.

В такій постановці задачі реалізується плавність накопичення пластичних деформацій решітчастої структури та виконуються умови квазі-статичного аналізу.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Результати чисельного моделювання проведеного аналізу показано на Рисунку 6.

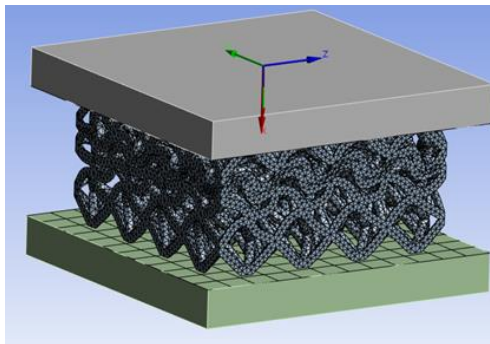


Рисунок 6 – Результат проведеного аналізу

Результатом проведеного чисельного аналізу є значення стискаючого зусилля, що виникає в зоні контакту верхньої стискаючої плити з областю комірково-каркасної структури. Отримані дані інтерпретовані до значень напружено-деформованого стану та показані у вигляді графіку в координатах напруження-деформації на Рисунку 7.

Отримані результати дозволяють визначити основні фізико-механічні характеристики структурованого матеріалу та порівняти отримані значення з експерименту, що представлені в роботі [1].

Основні параметри:

– *Пружна зона*: пружну зону згідно з ДСТУ 2825-94 визнаємо за значенням 0,002% довжини зразка. Таким чином, межа пружності складає —  $\sigma_n=17$  МПа.



- *Модуль Юнга*: Модуль Юнга визначаємо на пружній ділянці, консервативно —  $E=1,25$  ГПа.
- *Умовна зона плато*: Значення напружень на умовній ділянці плато становить —  $\sigma_{\text{плато}}=32$  МПа.
- *Умовна зона текучості*: На діаграмі немає чітко вираженої зони початку текучості матеріалу, тому доцільно її визначати методикою, прийнятою для визначення напружень при 0,2% залишкових пластичних деформацій в тілі  $\sigma_{\text{тек}}=18,5$  МПа.
- *Пікове значення напруження до зони ущільнення*: відповідно до діаграми напружено-деформованого стану значення пікового напруження становить —  $\sigma_{\text{пик}}=35$  МПа. Цей показник можна прирівняти до допустимої межі напруження для задач, в яких аналіз конструкції проходить до руйнування.

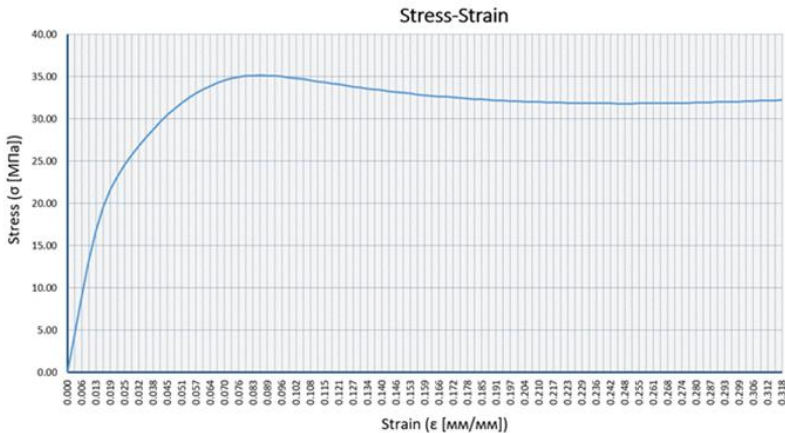


Рисунок 7 – Діаграма напружено-деформованого стану для комірково-карсної структури визначеної аналізом на основі МКЕ

Усі визначені характерні параметри структурованого матеріалу порівнюємо із даними практичного та чисельного експериментів, що отримані в роботі [1]. Результати, на основі яких проводиться порівняння показано на Рисунку 8. Дана діаграма містить інформацію про структуру 2-х різних конфігурацій решітчастої структури. Uniform — має постійну товщину мікрострижнів комірково каркасної структури, Graded — товщини мікрострижнів збільшуються по висоті досліджуваного зразка від слою до слою. Відповідно для кожної мікроструктури виконувався практичний експеримент (EXP) та чисельний аналіз (FEA).

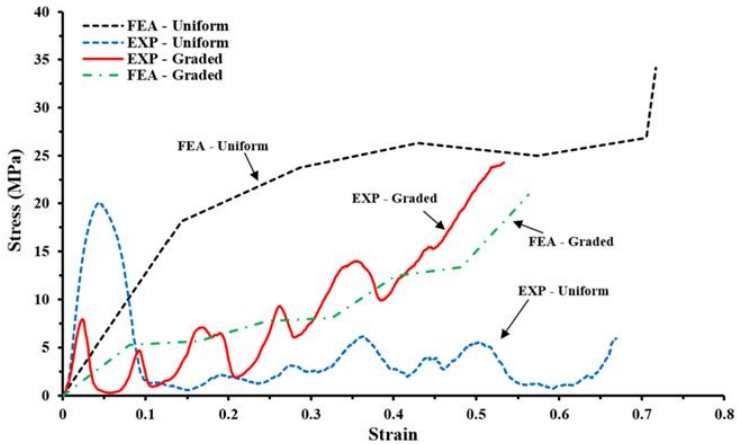


Рисунок 8 – Діаграма напружено-деформованого стану для комірково-каркасної структури, що представлені в [1]

Порівняння результатів обох досліджень приведено в Таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння результатів досліджень

Параметр	Отримані дані		Uniform FEA		Uniform EXP
	Значення	Відносна похибка	Значення	Відносна похибка	
$\sigma_{пн}$ , [МПа]	17	13,3%	17	13,3%	15
$\sigma_{плато}$ , [МПа]	32	966%	24	700%	3
$\sigma_{тек}$ , [МПа]	18,5	5%	18,5	5%	17,5
$\sigma_{пик}$ , [МПа]	35	75%	26	30%	20
$E$ , [ГПа]	1,25	76%	0,121	83%	0,71

Проаналізувавши отримані результати та порівнявши їх з даними, що наводять автори роботи [1], видно, що результати чисельного аналізу в пружній постановці задачі та пластичній постановці задачі не дають задовільного результату для процесу деформації за пружною зоною. З результатів видно, що використання пружно-пластичного білінійного моделювання матеріалу не дозволяє виконувати квазі-статичні симуляції для визначення параметрів структурованого матеріалу. Така модель матеріалу не враховує початок руйнування

мікроструктур в точках високих концентраторів напружень, втім показники напружень до початку пластичних деформацій дають невисоку похибку. Також слід зазначити, що модулі Юнга при абсолютно пластичній постановці задачі є значно вищими ніж при пружній постановці, однак обидві ці моделі дають велику погрішність у визначенні пружних властивостей структурованого металу.

Отже, розрахунково-експериментальна перевірка показала, що для комірково-каркасних структур не доцільно використовувати гетерогенну модель поведінки матеріалу, що визначається параметрами типової діаграми (див. Рисунок 1). Модель запропонована в роботі [3] не дає правдивої симуляції фізичних процесів в чисельних аналізах для отримання адекватної картини напружено-деформованого стану.

## ВИСНОВКИ

В роботі було проведено моделювання квазі-статичного експерименту для комірково-каркасної структури з ціллю визначити фізико-механічні властивості структурованого матеріалу методами чисельного аналізу та порівняти результати з експериментальними даними роботи [1]. Задача вирішувалась в пружно-пластичній постановці з білінійним моделюванням властивостей конструкційного матеріалу з якого друкувалась 3D структура.

За результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Визначення властивостей структурованого матеріалу за допомогою проведення чисельного експерименту дає задовільні результати напружень в пружній зоні, однак показники модуля пружності матеріалу мають дуже високу похибку;

2. Пікові значення напружень та значення напружень в умовній зоні плато при симуляції є значно вищими через ідеалізацію моделі та відсутність врахування процесів руйнування мікроструктури;

3. Розглянутий підхід і постановка задачі не підходить для визначення властивостей матеріалу. Для покращення результатів числового аналізу з ціллю визначення фізико-механічних властивостей доцільно розглядати інші методи моделювання матеріалу.

4. Гіпотеза заміни комірково-каркасної структури гетерогенною моделлю не має розрахунково-експериментального підтвердження і не може бути використана в розрахунках таких конструкцій.

5. Адитивна технологія виготовлення комірково-каркасної структури є одним з факторів який впливає на фізичну модель поведінки матеріалу. Геометрія структури комірки визначає шорсткість, яку забезпечує адитивна технологія. Це в свою чергу визначає розподіл

концентраторів напружень у структурі і взагалі модель поведінки матеріалу.

Отже, дана робота наглядно демонструє, що комірково-каркасні структури залишаються досить складними для аналізів числовими методами і потребують методів, що значно спростують вирішення даних задач. Розглянутий в представленій роботі чисельний експеримент в пружно-пластичній постановці не дає бажаного результату, однак дає розуміння процесу.

Для вирішення задачі пошуку фізико-механічних властивостей структурованого матеріалу доцільно розглянути інші методи математичного моделювання матеріалів та урахувати вплив адитивної технології. Наприклад, для вирішення даної задачі можна розглядати модель міцності Джосона-Кука [5], яка враховує зміцнення матеріалу при рості деформацій та виникнення процесів руйнування у матеріалі. Слід також зазначити, що параметри, які використовуються у згаданій моделі наявні не для всіх матеріалів і потребують проведення спеціальних практичних експериментів, що значно ускладнює проведення даних досліджень.

## ПОСИЛАННЯ

1. Mechanical properties and energy absorption capability of functionally graded F2BCC lattice fabricated by SLM / D. S. J. Al-Saedi et al. *Materials & Design*. 2018. Vol. 144. P. 32–44. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.01.059> (date of access: 20.03.2023).

2. Mechanical Properties of the 2D Re-entrant Honeycomb Made via Direct Metal Printing / A. Alomarah et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 229. P. 012038. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/229/1/012038> (date of access: 22.03.2023).

3. Gibson L. J., Ashby M. F. *Cellular Solids: Structure and Properties*. 2nd ed. Cambridge : Cambridge Solid State Science Series, 1997. 510 p. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139878326> (date of access: 01.04.2023).

4. *Guide to ANSYS Programmable Features*, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, January, 2018.

5. Bergström J. *Plasticity Models. Mechanics of Solid Polymers*. 2015. P. 353–369. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-31150-2.00007-8> (date of access: 26.03.2023).

## Огляд ПОТОЧНИХ РОЗРОБОК ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ РАКЕТНИМ ПАЛИВОМ У СТАНІ МІКРОГРАВІТАЦІЇ

*Лев Юрійович Загаєвський*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6459-0752>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Анатолій Федорович Санін*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5614-3882>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Політ космічного літального апарату характеризується попереминою зміною активних та пасивних ділянок траєкторії. На пасивних ділянках траєкторії рідке паливо в баках КЛА знаходиться в стані зниженої або нульової гравітації. При цьому поверхня розділу рідина-газ викривляється під впливом форми баку та балансом сил на вільній поверхні. На пасивній ділянці польоту літальний апарат знаходиться під впливом різного роду сил:

- аеродинамічні сили;
- світловий тиск;
- гравітаційні аномалії;
- малі прискорення (викликані роботою двигунів орієнтації КЛА у просторі).

В умовах роботи маршового реактивного двигуна впливом цих сил можна знехтувати. Однак на пасивних ділянках траєкторії руху паливо в паливних баках здатне під дією навіть таких незначних факторів переміщуватися в будь-якому напрямку по відношенню до забірної пристрою. Не виключено також, що парова фаза може потрапити до основної магістралі і це призведе до унеможливлення повторного пуску двигуна. Крім цього, компоненти палива при сильному плесканні перемішуються з газом наддуву, що порушить цілісність палива та його практичну придатність.

Виникає необхідність в управлінні положенням палива, аби якась частина компонентів завжди була близько до забірної пристрою та вільна від газів наддуву, тому необхідним є встановлення систем управління положенням та забезпечення чистоти палива від газової фази в стані невагомості та при реверсі тяги КЛА.

Такі системи підрозділяються за типом управляючих сил на:

- механічні;
- інерційні;

- поверхневого натягу;
- електростатичні.

## МЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАЛИВОМ

Протягом багатьох років механічні системи відділення газової фази від палива використовувалися для КЛА. Найчастіше вони складаються з рухомих частин таких як: поршень, діафрагма або ж надувний еластичний міхур. Механічні системи мають досить високу питому вагу, не можуть задовільнити велику витрату з баку тому такі системи неможливо масштабувати. [11]. Переваги таких систем полягають у зменшенні ефекту плескання, а найбільшою перевагою являється легкість тестування на продуктивність в земних умовах.

Поршневі системи були найпершими, але їх низька продуктивність та герметичність підштовхнула на розвиток в сторону міхурів. Хоча навіть зараз з'являються нові поршневі системи [17] із застосуванням композиційних матеріалів (рис. 1).



Рис. 1 Прототип поршневої системи розділення фаз. Для наочності застосовано пластиковий лейнер та резиновий поршень [17]

Системи що використовують міхури складаються з баку та міхура заповненого паливом (рис.2). В міхурі розташовують перфоровану трубку уздовж всього баку через яку паливо виходить з баку. Незважаючи на те міхурові системи мають більшу герметичність вони також мають більшу масу тому що площа мембрани міхура буде більша, ніж площа діафрагми. Також при опорожненні мембрана може звертатися та утворювати хвилі. Це заважає опорожненню бака тільки якщо не додати каркас, але це ще більше збільшить питому вагу. Міхури застосовувалися в місіях Джеміні та Меркурій [6].

Системи що складаються з діафрагм (рис. 3) також застосовують коли необхідно мінімізувати плескання а також звести до нуля хімічні

реакції між компонентами палива та газами наддуву. Із-за того що мембрана повинна сягати всього баку її вага порівняно з вагою стінок майже однакова, що може впливати на центр ваги, тому такі системи не застосовуються в великих баках. Окрім того матеріал діафрагми піддається навантаженням, що постійно змінюються за напрямком, це викликає його втому та призводить до порушення герметичності або й навіть руйнуванню мембрани в цілому при довгому використанні [4].

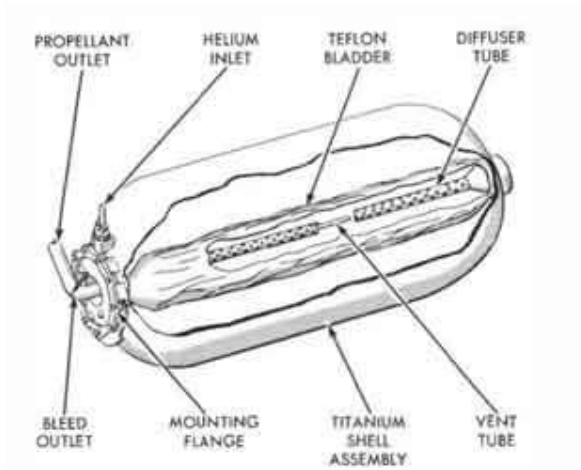


Рис. 2 Схема одного з чотирьох баків місячного модулю програми Аполлон



Рис. 3 Деформація діафрагми підчас опорожнення сферичного баку [1]

Сучасні місії тяготіють до використання систем контролю палива на основі сил поверхневого натягу, що можуть бути легшими та більш надійними ніж механічні системи. Хоча діафрагми залишаються ефективними при підтриманні палива чистим від газової фази і

демпфуванню плескання компонентів палива [13] в середині баку. Наприклад ті ж Шаттли використовували три баки з діафрагмами [5], або ж Кассіні [9].

### ІНЕРЦІЙНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАЛИВОМ

Інерційні системи здебільшого використовуються на ступенях ракет. При відділенні відпрацьованого ступеня ракета перед запуском ДУ наступної ступені перебуває в стані вільного падіння тому для забезпечення пуску двигуна необхідно осадити компоненти палива. Для цього використовують так звані двигуни малої тяги (рис. 4). Ними проводиться осьовий імпульс і паливо в баках осідає виштовхуючи газу фазу перед пуском двигунів.



Рис. 4 Двигуни для осадження палива другого ступеня ракети Сатурн V. [7]

Також теоретично можливо використовувати відцентрові сили для осадження палива в баках, але досі жодна з подібних систем не використовували такий ефект на практиці, що обумовлюється в неов'язковій складності конструкції яка повинна обертатись навколо КЛА, або ж обертатись цілком в польоті. Такі навантаження неминуче призведуть до необхідного зміцнення конструкції в цілому що призведе до збільшення ваги КЛА.

Такі системи дуже прості і тому насамперед їх можна побачити на перших ракетах ще у 60-х роках 20-ого сторіччя. Наприклад на



американському Сатурн-V на другому ступені було встановлено 8 двигунів орієнтації що також використовували для осадження палива [16]. Схожу систему, коли двигуни орієнтації виконували функцію осадження палива, використовували й у програмі Аполлон і на місячному модулі [14]. Також таку систему використовують й досі на російських ракетах Протон, хоча й такі двигуни мають схильність вибухати багато років після виконаних місій прямо на орбіті. На даний момент зареєстровано 54 вибухи таких двигунів на вже відпрацьованих ступенях [18].

Такі системи є досить надійними, та відносно легкими, бо функцію з осадження палива виконують маневрові двигуни які обов'язкові для КЛА. Але кінцева кількість палива обмежує кількість запусків. На додачу двигуни інерційних систем також можна використовувати для зведення відпрацьованих КЛА з орбіти [15].

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАЛИВОМ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ

Системи управління паливом що працюють на основі сил поверхневого натягу використовують схильність рідини до найменшої площі поверхні. Такі системи зазвичай складаються з сітчастих екранів, капілярних пасток та направляючих. Ці системи добре працюють як з висококиплячими компонентами палива так із криогенними. Ці системи можуть проектуватися з відносно малою питомою масою [11].

Зазвичай їх підрозділяють за ступенем повноти контролю, а саме:

- часткові;
- тотального контролю.

Але сьогодні на практиці такі системи мають елементи присутні обом категоріям.

Системи часткового управління паливом на основі поверхневого натягу утримують необхідну частину палива, вільну від газової фази в магістралі та біля неї аби реактивному рушію вистачило запуститися та осадити все паливо в баках. Після того як паливо осідає, такі губчасті пастки заповнюються наново. Через декілька десятків циклів пасивних ділянок траєкторії та пусків двигуна є ризик забиття капілярів бульбашками газової фази, що збільшує опір відтоку компонентів, та зменшує об'єм палива що захоплюється пасткою.

На теперішній час системи поверхневого натягу використовують як пастки так і направляючі, і екрани. Ці системи дозволяють у пасивному режимі перенаповнювати пастки компонентами палива та водночас гарантують більшу пропускну здатність, а ніж системи часткового контролю, що базуються тільки на роботі пасток. Також із-за того

що майже все паливо контролюється такою системою пастка може бути зменшена, або навіть майже відсутня. Але із-за того що системи тотального контролю повинні втримувати на собі все паливо баку і повинні бути виконані з металу це збільшує вагу КЛА та зменшує їх ефективність при роботі з малими прискореннями. Як показують останні досягнення, такі системи можуть бути ультра легкими (до 100гр), але при цьому така системи лише може забезпечити витрату - 0.005 л/с, яка також є ультра малою [8].



Рис. 5 Система тотального контролю з направляючими та капілярною губкою з 10% залишком палива. [10]



Рис. 6 Система тотального контролю палива на основі сітчастих екранів [11].

## ЕЛЕКТРОСТАТИЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАЛИВОМ

Електростатичні системи контролю палива використовують електричні поля для збирання палива біля вихідного отвору з баку. Такі системи не були застосовані на практиці і розглядалися лише теоретично, бо потребують джерел високої напруги на борту КЛА [2].

Запропоновані конструкції зазвичай складаються з баку довільної форми та стрижня що проходить в середині баку від верхньої частини до вихідного отвору баку. Прикладаючи протилежний потенціал до кінців стрижня можна змусити рухатися рідину з одного кінця стрижня до іншого.

Ще одна причина відмови від таких пристроїв їх ймовірна пожежонебезпека. Висока напруга може вивільнитись дуговим розрядом що може спричинити спалахування пального. Дуговий розряд також може спричинити розкладання деяких складних компонентів палива таких як пероксид водню, який на сьогоднішній час розглядається як перспективний [12]. Хоча в таких реакціях електролізу зазвичай головною роль виконує сила току, тому електроліз компонентів найменш вірогідний [3].

Також із-за того що не всі молекули компонентів палива мають диполь і функцію втримання в таких компонентах виконують йони такі системи мають різну ефективність для різних палив.

## ВИСНОВКИ

Системи управління паливом що базуються на ефекті поверхневого натягу, є найпоширенішими завдяки своїй надійності та величезній експериментальній базі. Цей тип систем використовує перегородки, плавники, лопатки та капілярні сітки. Але такі додаткові конструкції ускладнюють проектування, виготовлення та випробування паливних баків. ЗП такого типу також порушують потік палива під час роботи двигуна і мають кінцеву кількість запусків в умовах низької гравітації через закупорювання бульбашками. Такі пристрої не працюють у високих ретроградних полях тяготіння, через їх малу теоретичну ефективність капілярних сил або мають складну структуру.

Тимчасове збільшення утримуючої сили в капілярній сітці може збільшити потенційну кількість запусків в полі низької гравітації і навіть, в теорії, може допомогти при закупорюванні бульбашками капілярної сітки, що може бути необхідним і життєво важливим для міжпланетних комплексів постачання багаторазового використання. Крім того, це може збільшити коефіцієнт безпеки для таких систем, виготовлення, складання, випробування та зменшити витрачений час на

проектування за рахунок зменшення кількості деталей та можливості випробувань у гравітаційному полі Землі.

Необхідно розглянути потенційну можливість збільшення утримуючої сили завдяки електричному полю, так як збільшення утримуючої сили лише приведе до порушення потоку та ускладнює спорощення паливних баків.

Такий тип систем може використовуватися не тільки для управління паливом, але також для систем життєзабезпечення, догляду за життям, технологій виробництва в умовах низької гравітації та навіть на Землі в системах подачі рідини без традиційних насосів.

## ПОСИЛАННЯ

1. [Деформація діафрагми підчас опорожнення сферичного баку]. Nammo. URL: <https://www.nammo.com/product/aluminium-propellant-tank/> (date of access: 22.05.2023).

2. Научно-технический отчет о НИР. Книга 2. Дніпропетровськ : КБ "Южное", 1989.

3. Шамб У., Вентворс Р., Сеттерфилд Ч. Перекись водорода : монографія / ред. А. И. Горбанев ; пер. з англ. Г. Д. Вигдорович. Москва : Изд-во иностр. лит, 1958. 578 с.

4. A survey of current developments in surface tension devices for propellant acquisition / S. C. De Brock et al. Journal of Spacecraft and Rockets. 1971. Vol. 8, no. 2. P. 83–98. URL: <https://doi.org/10.2514/3.30226> (date of access: 22.05.2023).

5. Ballinger I., Lay W., Tam W. Review and history of PSI elastomeric diaphragm tanks. 31st joint propulsion conference and exhibit, San Diego, CA, U.S.A. Reston, Virginia, 1995. URL: <https://doi.org/10.2514/6.1995-2534> (date of access: 22.05.2023).

6. Biron J. An aluminum collapsible bladder tank for space systems. 26th Joint Propulsion Conference, Orlando, FL, U.S.A. Reston, Virginia, 1990. URL: <https://doi.org/10.2514/6.1990-2058> (date of access: 22.05.2023).

7. Contributors to Wikimedia projects. Ullage motor - Wikipedia, 2004. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ullage\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Ullage_motor) (date of access: 22.05.2023).

8. Design and fabrication of a propellant management device / W. Tam et al. 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & exhibit, Indianapolis, Indiana, 2–10 July 2002. Reston, Virginia, 2002. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2002-4137> (date of access: 22.05.2023).

9. Enright P., Wong E. Propellant slosh models for the Cassini spacecraft. Astrodynamics conference, Scottsdale, AZ, U.S.A. Reston, Virginia,

1994. URL: <https://doi.org/10.2514/6.1994-3730> (date of access: 22.05.2023).

10. Fluid acquisition and resupply experiments on space shuttle flights STS-53 and STS-57 / S. Dominick et al. MSFC, Alabama : NASA, 2011. 60 p.

11. Hartwig J. W. Propellant management devices for low-gravity fluid management: past, present, and future applications. *Journal of Spacecraft and Rockets*. 2017. Vol. 54, no. 4. P. 808–824. URL: <https://doi.org/10.2514/1.a33750> (date of access: 22.05.2023).

12. Hydrogen peroxide – A promising oxidizer for rocket propulsion and its application in solid rocket propellants / W. Kopacz et al. *Fire-PhysChem*. 2022. Vol. 2, no. 1. P. 56–66. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fpc.2022.03.009> (date of access: 22.05.2023).

13. Lenahen B., Gangadharan S., Desai M. A computational and experimental analysis of spacecraft propellant tanks implemented with flexible diaphragms. 54th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, structural dynamics, and materials conference, Boston, Massachusetts. Reston, Virginia, 2013. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2013-1886> (date of access: 22.05.2023).

14. McCutcheon K. D. Rocket propulsion evolution: 9.45 - LM RCS. AEHS Home. URL: <https://www.enginehistory.org/Rockets/RPE09.45/RPE09.45.shtml>.

15. Okninski A. Solid rocket propulsion technology for de-orbiting spacecraft. *Chinese journal of aeronautics*. 2022. Vol. 35, no. 3. P. 128–154. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.07.038> (date of access: 22.05.2023).

16. Photos of rocket upper stages | historic spacecraft. *Historic Spacecraft - Photos of Rockets and Spacecraft*. URL: [https://historicspacecraft.com/Rockets\\_Upper\\_Stage.html](https://historicspacecraft.com/Rockets_Upper_Stage.html).

17. Schmer T. [Combined propellant/pressurant vessel (CPPV) concept], 2019. SteelHead Composites. URL: <https://steelheadcomposites.com/combined-propellant-pressurant-vessel-cppv-concept/>.

18. Wall M. Old Russian rocket motor breaks up in orbit, generating new cloud of space debris. *Space.com*. URL: <https://www.space.com/russian-rocket-motor-breakup-space-debris> (date of access: 22.05.2023).

## STATEMENT OF THE PROBLEM OF DESIGNING A LIQUID ROCKET ENGINE DUAL BELL NOZZLE OF THE MAXIMUM THRUST USING THE DIRECT METHOD OF THE CALCULUS OF VARIATIONS

*Ivan Dubrovskiy*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0707-0074>  
*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro*

*Valerii Bucharskyi*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8245-5652>  
*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro*

### INTRODUCTION

A rocket engine with a standard single-section profiled nozzle provides maximum thrust only at a certain value of atmospheric pressure [1]. To expand the range of atmospheric pressure values at which the optimum engine operation mode is achieved, a dual bell nozzle can be used [2]. A typical diagram of such a nozzle is shown in Fig. 1. Its main elements are three cross-sections **a**, **b**, **c** and two profiled section elements **a-b**, **b-c** bounded by them. The fig. 1 shows the general case of the contour of such a nozzle, for which a corner in the generatrix is located at points **a** and **b**. In addition, the section **a** coincides with the critical section of the engine chamber.

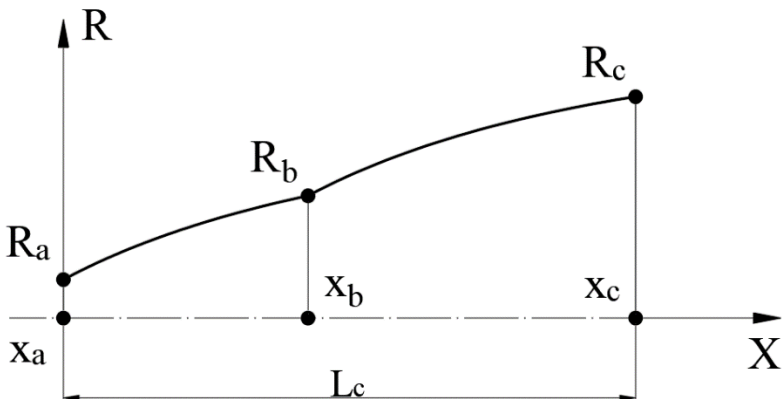


Figure 1 – Dual bell nozzle contour

Let's consider the principle of operation of such a nozzle. When operating at low altitude, with a high value of atmospheric pressure  $p_{el}$ , the

thrust is generated only by the first profiled section **a-b**. With an increase in flight altitude and a corresponding drop in atmospheric pressure to  $p_{e2}$  ( $p_{e1} > p_{e2}$ ), the flow of combustion products expands, begins to flow around the second profiled section and create additional thrust. Thus, an engine with a dual bell nozzle will generate more average flight time thrust than an engine with a single nozzle designed to operate at one of the atmospheric pressures  $p_{e1}$  or  $p_{e2}$ .

Usually, the method of characteristics [3] is used for profiling a dual bell nozzle. However, it has the following disadvantages:

- the inability to profile the maximum thrust nozzle with explicit restrictions on its dimensions, weight, etc.;
- the requirement for the absence of shock waves in the flow of combustion products inside the nozzle.

As an alternative to the method of characteristics, this paper proposes to use the direct method of calculus of variations [4] for profiling a dual bell nozzle.

## THE AIM AND TASKS OF THE STUDY

The aim of the work is to obtain the thrust functional for its further maximization using the direct method of the calculus of variations. To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

- determine the initial data necessary to derive the thrust functional and to implement its further maximization;
- derive the expression of the thrust functional.

## INITIAL DATA

The initial data for the problem of profiling the axisymmetric dual bell nozzle by the direct method of the calculus of variations are:

- known contour of the subsonic part of the rocket engine chamber;
- mathematical model of combustion products used to describe their flow inside the nozzle;
- parameters of combustion products in the critical section: pressure, density and velocity vector;
- atmospheric pressure values at both engine operating modes  $p_{e1}$  and  $p_{e2}$ , ( $p_{e1} > p_{e2}$ ).

As the main mathematical model describing the flow of combustion products in the liquid rocket engine chamber, a model of an inviscid compressible ideal gas of constant chemical composition was chosen, consisting of a system of stationary Euler equations (1), which was closed by the Mendeleev-Clapeyron equation of state [5]. System (1) is written in

differential form in a cylindrical coordinate system under the assumption of axial symmetry of the flow of combustion products inside the LRE chamber.

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial R} = \mathbf{S},$$

$$\mathbf{F} = (R\rho u, R(\rho u^2 + p), R\rho v u, R(\rho E + p)u)^T,$$

$$\mathbf{G} = (R\rho v, R\rho u v, R(\rho v^2 + p), R(\rho E + p)v)^T,$$

$$\mathbf{S} = (0, 0, p, 0)^T,$$

$$E = \frac{p}{\rho(k-1)} + \frac{1}{2}(u^2 + v^2), \quad (1)$$

where  $\mathbf{F}$  – axial flux vector;

$\mathbf{G}$  – radial flux vector;

$\mathbf{S}$  – source term;

$R$  – radius, m;

$\rho$  – density, kg/m<sup>3</sup>;

$p$  – pressure, Pa;

$u$  – axial velocity, m/s;

$v$  – radial velocity, m/s;

$E$  – total energy, J/kg;

$k$  – heat capacity ratio.

### THRUST FUNCTIONAL DERIVATION

The thrust of an arbitrary axisymmetric nozzle can be defined as the resultant of the pressure forces applied to the side surface of the nozzle [1]:

$$P = \int_F (p_{in} - p_e) dF, \quad (2)$$

where  $P$  – thrust, H;

$F$  – side surface area of a nozzle, m<sup>2</sup>;

$p_{in}$  – combustion products pressure inside the nozzle, Pa;

$p_e$  – atmospheric pressure at the given altitude, Pa.

Let us select on the nozzle contour an annular element with a width  $dx$ , a height  $dR$  and located at a distance  $R$  from the axis of symmetry of the nozzle (fig. 2).



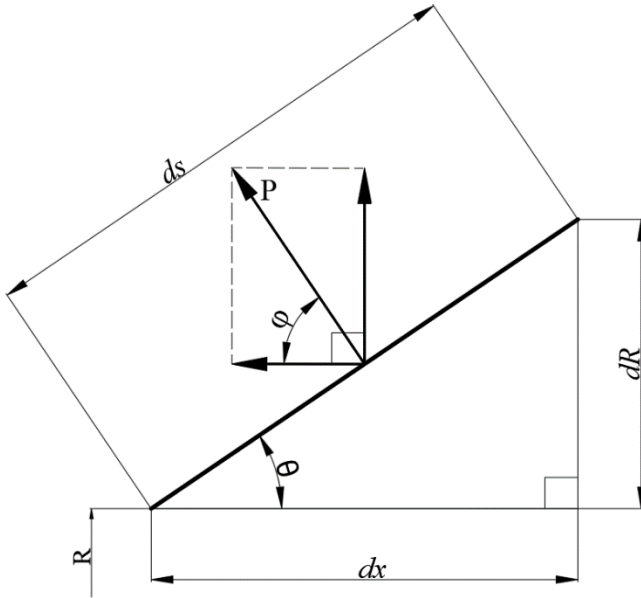


Figure 2 – Annual element of a nozzle contour

Its side surface area equals  $dF = 2\pi R ds$ . Using this equality, the integral (2) can be represented as:

$$P = \int_F (p_{in} - p_e) dF = \int_s (p_{in} - p_e) 2\pi R ds = 2\pi \int_s (p_{in} - p_e) R ds \quad (3)$$

Due to the axial symmetry of the nozzle, all the radial components of the thrust will be mutually balanced, therefore, in what follows, we will take into account only its axial component. In view of this, expression (3) is transformed to the following form:

$$P = 2\pi \int_s (p_{in} - p_e) R \cos \varphi ds \quad (4)$$

From the fig. 2 one can deduce that  $\cos \varphi = \cos(90^\circ - \theta) = \sin \theta = dR/ds$ , and since  $R' = dR/dx$ , then rewrite (4) in this way:

$$\begin{aligned}
 P &= 2\pi \int_s (p_{in} - p_e) R \frac{dR}{ds} ds = 2\pi \int_s (p_{in} - p_e) R \frac{R' dx}{ds} ds = \\
 &= 2\pi \int_{x_1}^{x_2} (p_{in} - p_e) R R' dx, \tag{5}
 \end{aligned}$$

where  $x_1$  – the coordinate of the beginning of the nozzle at the horizontal axis, m;

$x_2$  – the coordinate of the end of the nozzle at the horizontal axis, m;

$R = R(x)$  – nozzle contour that is being designed.

Let's transform the integrand from (5):

$$\int_{x_1}^{x_2} (p_{in} - p_e) R R' dx = \int_{x_1}^{x_2} p_{in} R R' dx - \int_{x_1}^{x_2} p_e R R' dx \tag{6}$$

Since the atmospheric pressure does not depend on the integration variable, we take it out of the brackets and integrate the second term into (6):

$$\int_{x_1}^{x_2} p_e R R' dx = p_e \int_{x_1}^{x_2} R R' dx = p_e \int_{R_1}^{R_2} R dR = \frac{p_e}{2} (R_2^2 - R_1^2) \tag{7}$$

Let's substitute (6) and (7) into (5). As a result, we get the final expression for determining the thrust of an arbitrary nozzle:

$$P = 2\pi \int_{x_1}^{x_2} p_{in} R R' dx - \pi p_e (R_2^2 - R_1^2) = P_{in} - P_e \tag{8}$$

In (8), there are clearly two thrust components: an internal one, which depends on the pressure of the combustion products, and an external one, which depends only on the pressure of the atmosphere.

Now use (8) to calculate the thrust of the dual bell nozzle shown in fig. 1. In the first operation mode with high atmospheric pressure  $p_{e1}$ , only the first section of the nozzle **a-b** will create thrust, in the second mode - both sections **a-b** and **b-c**. Therefore, (8) for the second and the first mode will take the form (9):

$$P_m = P_{m\text{ in}} - P_{m\text{ e}} = 2\pi \int_{x_a}^{x_b} p_{in} R R' dx - \pi p_{em} (R_m^2 - R_a^2) \quad (9)$$

Here the number  $m$  can get values 1 and 2 depending on the mode,  $R_1 = R_b$ ,  $R_2 = R_c$ .

Let's combine the separate thrust equations taken from (9) to obtain the total thrust equation (10) for the both modes simultaneously. To do this, we introduce the coefficient  $\alpha$  equal to 0 in the first mode and 1 in the second. Then the expression for the total thrust of the dual bell nozzle takes the form:

$$P_\Sigma = P_{1in} - (1 - \alpha)P_{1e} + \alpha(P_{2in} - P_{2e}), \quad (10)$$

where  $\alpha$  – the coefficient, that equals to 0 in the first operation mode and 1 – in the second;

$P_\Sigma$  – dual bell nozzle total thrust, H.

We will obtain the final form of the thrust functional by adding to (10) the restrictions imposed by the chosen mathematical model of combustion products (1). To do this, we use the Lagrange multipliers [6] - we introduce four unknown functions  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ , that depend on  $x$  and  $R$ , multiply them by the corresponding equations from the system (1) and sum them up:

$$\sum_{i=1}^4 \lambda_i(x, R) \left( \frac{\partial F_i}{\partial x} + \frac{\partial G_i}{\partial R} - S_i \right) \quad (11)$$

To add (11) to (10), we integrate (11) over the region  $K$  bounded from below by the axis of symmetry of the nozzle and from above by its contour. After that, the desired thrust functional will take the final form:

$$\mathcal{P} = P_\Sigma + \iint_K \sum_{i=1}^4 \lambda_i(x, R) \left( \frac{\partial F_i}{\partial x} + \frac{\partial G_i}{\partial R} - S_i \right) dK \quad (12)$$

The values of functional (12) can only be obtained as a result of numerical simulation of the flow of combustion products in the chamber of a liquid rocket engine. To implement this, various numerical methods can be used [7, 8].

## CONCLUSIONS

In the work, the initial data for the problem of profiling a dual bell nozzle were determined. An expression for the thrust functional was also obtained for such a nozzle. This will allow in the future to solve the problem of its maximization using the direct method of calculus of variations, the result of which will be the dual bell contour of the, producing the maximum thrust.

## REFERENCES

1. Biblarz O., Sutton G. P. Rocket propulsion elements. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2016. 792 p.
2. Future space-transport-system components under high thermal and mechanical loads / ed. by N. A. Adams et al. Cham : Springer International Publishing, 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53847-7> (date of access: 25.05.2023).
3. Zucrow M. J., Hoffman J. D. Gas dynamics, vol. 2: multidimensional flow. John Wiley & Sons Inc, 1977. 490 p.
4. Giusti E. Direct methods in the calculus of variations. River Edge, NJ : World Scientific, 2003. 403 p.
5. Chorin A. J., Marsden J. E. Mathematical introduction to fluid mechanics. Springer London, Limited, 2013. 172 p.
6. Kot M. A first course in the calculus of variations. Providence, Rhode Island : American Mathematical Society, 2014. 298 p.
7. Dubrovskiy I., Bucharskiy V. Development of a method of extended cells for the formulation of boundary conditions in numerical integration of gas dynamics equations in the domains of a curvilinear shape. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 5, No 7. P. 72-84.
8. Ferziger J. H., Milovan P., Street R. L. Computational Methods for Fluid Dynamics. Germany: Springer-Verlag. 606 p

## **Щодо концепції створення відсіку бортової радіоелектроніки суборбітальних ракет надлегкого класу**

*Ілля Григорович Лук'яненко*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Тамара Антонівна Манько*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4146-607X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олексій Володимирович Кулик*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Нині космічна індустрія продовжує активно розвиватися, що вимагає від виробників ракетно-космічної техніки безперервного вдосконалення і модернізації своїх розробок. Бортове радіоелектронне обладнання (БРЕО) ракет є ключовим компонентом, який забезпечує надійну і безпечну роботу ракети під час запуску і польоту, також він повинен витримувати вібрації та удари при приземленні [1].

Концепція створення відсіку БРЕО надлегкої суборбітальної ракети є важливим напрямком розвитку космічної техніки в сучасній аерокосмічній галузі. З безперервним прогресом і модернізацією ракетної та аерокосмічної техніки бортова радіоелектроніка стала ключовим компонентом для забезпечення безперебійної та безпечної роботи ракети під час запуску та польоту. Вимоги до обладнання апаратного відсіку включають стійкість до високих температур і тиску під час старту та розгону ракети, а також до вібрації та ударів під час посадки. На ранньому етапі проектування нових зразків апаратного відсіку для суборбітальних ракет, виникають проблеми як при оцінці надійності нового виробу, так і з прогнозуванням результатів випробувань, що пов'язано з нестачею або відсутністю інформації для проведення потрібних розрахунків [2].

### **Постановка задачі досліджень**

Метою даної роботи є вивчення попередніх спроб експлуатації БРЕО після запусків ракет та їх модернізація з метою підвищення надійності та розробки подальших надійних, ефективних та економічно вигідних апаратних відсіків для надлегких суборбітальних ракет. В

даній роботі будуть розглянуті аспекти роботи апаратного відсіку, проведено аналіз його невдалих випадків роботи під час польоту, і на основі цього проведено нові підходи до вирішення технічних проблем та модернізації апаратного відсіку.

### РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

Командою «Rocketry agency», яка налічує в собі як студентів початкових курсів, так і аспірантів, під керівництвом менторів інжинірингової школи, був запущений виріб «K80 Метео 7000»: довжина 1550 мм, діаметр 80 мм, висота польоту 7000 м. В якості БРЕО було два GPS модуля для фіксації координат, визначення висоти і положення ракети під час усього польоту ракети, антена GPS модуля та два акумулятори як джерело живлення [3].

В процесі льотних випробувань було виявлено недолік конструкції блоку БРЕО в виді низької стійкості конструкції і, відповідно, низької надійності роботи радіоелектронних систем [4]. Дані, отримані в ході випробувань, свідчать про те, що запуск відбувався в штатному режимі, але як тільки ракета перетнула позначку в 500 метрів, зв'язок з нею безнадійно втрачався - радіосигнали, пов'язані з даними телеметрії, GPS та ін. Аналіз процесу випробувань встановив, що причиною несправності стало перевантаження, спричинене ненормальною роботою двигуна, тоді як та ж конструкція БРЕО виявилася ненадійною. Конструкція мала вигляд консольних панелей з опорними платформами, що пронизують обтічник, послаблюючи його структуру. Надалі це призвело до збільшення кута атаки і руйнування стиків ракетних відсіків. Отриманий досвід та результати аналізу дозволили розробити та реалізувати комплекс заходів щодо підвищення надійності БРЕО – заміна акумуляторної батареї на більш надійну, заміна збірної конструкції корпусу ракети на посилену монолітну конструкцію [5].

Наступний виріб «K110 Метео 20000»: довжина 2800 мм, діаметр 110 мм, висота польоту 20000 м. Апаратний відсік даної ракети був кардинально перероблений ґрунтуючись по результатам попереднього дослідження. Раніше акумулятори були встановлені вертикально, через що акумуляторна батарея вийшла з ладу через польотні навантаження та ненадійне кріплення, це було виправлено, полиці з акумуляторами були розміщені під обтічником, а горизонтальна пластина спиралася на опорну площадку, що розташована нижче.

Креслення апаратного відсіку під обтічником даної ракети проілюстрований на рис. 1. В результаті тестування відсіку «Метео 20000» підтвердилася відповідність конструкції та технології

виробництва жорстким умовам експлуатації, було визначено граничні параметри експлуатації. Отримані під час робіт результати далі застосовуватимуться для розробки та модернізації метеорологічної апаратури, призначеної для комплектації виробів ракетно-космічної техніки.

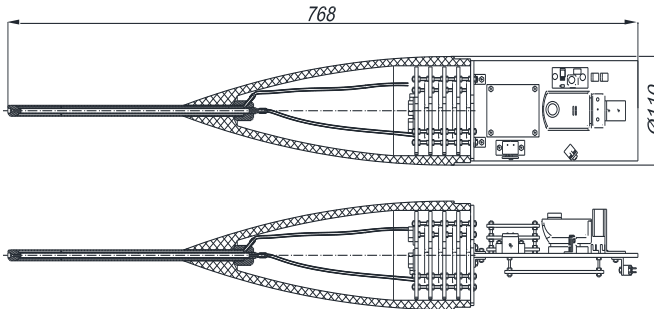


Рисунок 1

Було окремо розроблено спеціалізовану систему вібраційних випробувань для перевірки апаратних відсіків. Використання установки дозволяє експериментально отримати повну інформацію про частоти при коливаннях виробу в резонансних режимах [6]. Одержання цієї інформації дозволяє вже на етапі проектування розробляти методи та засоби захисту конструкцій від дестабілізуючого впливу механічних факторів. В результаті тестування відсіку підтвердилася відповідність конструкції та технології виробництва жорстким умовам експлуатації, було визначено граничні параметри експлуатації.

Отримані під час робіт результати далі застосовуватимуться для розробки та модернізації метеорологічної апаратури, призначеної для комплектації виробів ракетно-космічної техніки. Враховуючи граничні параметри експлуатації, буде можливо оптимізувати та вдосконалити функціональні можливості радіоелектронного обладнання, що в свою чергу додатково дозволить забезпечити надійність та точність збору метеорологічних даних під час польотів.

## ВИСНОВКИ

Завдяки запуску суборбітальної надлегкої ракети з'ясувалося, що існуюча конструкція бортової радіоелектроніки не може забезпечити

необхідну надійність і продуктивність, оскільки вона вийшла з ладу під час польоту. Тому з урахуванням цих питань була запропонована нова конструкція бортового радіоелектронного апаратного відсіку, спрямована на усунення недоліків попереднього варіанту. Ця нова конструкція була ретельно розроблена з урахуванням технічних аспектів, через які попередні відсіки виходили з ладу. Завдяки черговому успішному запуску ракети з новим бортовим радіоелектронним відсіком підтверджено її працездатність і надійність. Це свідчить про те, що запропонована нова конструкція виявилася ефективним рішенням для уникнення проблем і забезпечення безперебійної роботи бортової радіоелектроніки під час польоту. Дані результати підкреслюють важливість удосконалення технологій в цій області та підтримують подальші дослідження та розвиток нових рішень у сфері ракетно-космічної техніки.

### Посилання

1. Никольский В. В. Исследование процессов в бортовых системах автоматических космических аппаратов : Науч. изд. Санкт-Петербург : БГТУ, 2013. 58 с.
2. Кашин Б. А. Вопросы обеспечения качества и надежности изделий ракетной техники : Библиогр. Москва : Инновационное машиностроение, 2016. 111 с.
3. Боршнев А. В. Бортовое радиоэлектронное оборудование космических аппаратов : учебное пособие. Москва : МИРЭА, 2009. 135 с.
4. Винников В. Основы конструирования и надежности электронных средств : Учебнометодичес. комплекс. Санкт – Петербург : СЗТУ, 2003. 135 с.
5. Лук'яненко І. Г. Збільшення надійності конструкції бортової апаратури в суборбітальних ракетах надлегкого класу. Людина і космос : міжнарод. наук. - практ. конф, м. Дніпро, 11 квіт. 2021 р. Дніпро, 2021. С. 240.
6. Бахвалов Ю. Испытания ракетно-космической техники : учеб. пособие Москва : ООО «АИР», 2015. 228 с.



## ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНОГО МЕХАНІЗМУ ВИНИКНЕННЯ ТОНАЛЬНОГО ШУМУ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПРОФІЛІВ

*Сергій Вікторович Алексєєнко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0320-989X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Валерій Євгенович Некрасов*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9119-0529>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Виникнення аеродинамічного шуму, який створюється повітряним потоком при обтіканні конструктивних елементів технічних пристроїв, є однією з актуальних інженерних проблем. У сучасному світі все більша увага приділяється питанням екології та забезпечення безпеки життєдіяльності, зокрема, зниження негативного впливу шумового забруднення. Прикладами джерел аеродинамічного шуму є дорожні транспортні засоби, швидкісний залізничний транспорт, авіаційна техніка, промислове обладнання, вітряні турбіни.

Розуміння фізичних механізмів, які полягають в основі генерації звуку, має важливе значення при розробці технологій зменшення шуму, а основним завданням стає точне моделювання аеродинамічного та акустичного полів, створюваних обтічним тілом.

Шум, що виникає при обтіканні аеродинамічних профілів, можна класифікувати як ширококутовий і тональний (рис. 1) [1].

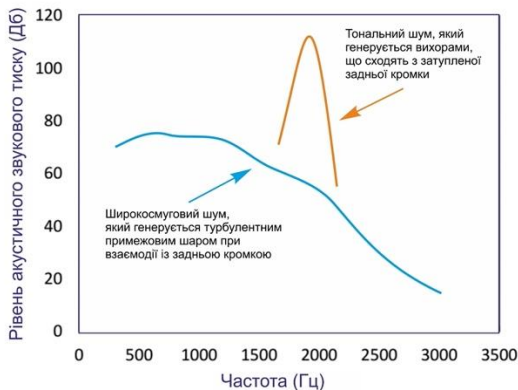


Рис. 1. Шум аеродинамічного профілю

Ширококутовий шум характеризується відносно однорідним розподілом звуку в діапазоні частот. Вважається, що для

турбулентних профілів вихрові структури, що відносяться до турбулентного прикордонного шару, переміщаючись вздовж обтічної поверхні при взаємодії з задньою кромкою, розсіюються, генеруючи акустичні хвилі (створюючи широкосмуговий шум).

Тональний шум характеризується більшою інтенсивністю у вузькому діапазоні частот. Такий шум може виникати при обтіканні турбулентних профілів із затупленою задньою кромкою, що генерує відносно великі вихрові структури, а також при збільшенні кута атаки і виникненні відриву потоку, що супроводжується викидом великих вихрових структур у слід. Також тональний шум може виникати під час обтікання перехідних профілів, коли під дією негативного градієнта тиску ламінарний прикордонний шар відокремлюється, стаючи, під дією збурень, що посилюються, турбулентним. При цьому в прикордонному шарі посилюється перемішування та передача імпульсу у нормальному до стінки напрямку. В результаті, втрачаючи енергію, прикордонний шар повторно приєднується до обтічної поверхні, утворюючи так званий «пузир розділення». При цьому за областю повторного приєднання за рахунок нестійкості прикордонного шару генеруються вихори, які розвиваються, рухаючись уздовж обтічної поверхні і, в подальшому, при взаємодії з задньою кромкою профілю, генерують тональний шум, який може переважати над загальним широкосмуговим фоном, досягаючи 40 дБ.

Основна увага в даному дослідженні приділена вивченню тонального шуму, що виникає при обтіканні перехідних профілів.

Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки та методів обчислювальної аерогідродинаміки відкриває можливість активного проведення аероакустичних досліджень. При цьому обчислювальні аероакустичні завдання можна вирішувати за допомогою двох основних підходів: прямого акустичного моделювання (DAS – Direct Acoustic Simulation) та гібридних методів [2].

Метод DAS дозволяє одночасно отримувати як гідродинамічні, так і акустичні величини шляхом безпосереднього розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса для стисливих середовищ. Цей метод є природним способом розрахунку генерації звуку, оскільки основні рівняння повністю описують фізику явища. Також перевагами такого підходу є відсутність обмежень внаслідок прийнятих припущень, можливість уточнення потоко-акустичних зв'язків та можливість відстеження процесів генерації та поширення звуку у ближньому та середньому полях. Необхідно зазначити, що хоча DAS вимагає значних обчислювальних ресурсів, особливо для вирішення інженерних завдань, з розвитком технологій високопродуктивних обчислень методи прямого моделювання стають дедалі доступнішими. У цьому випадку

бажаним є застосування вирішувачів з високою надійністю, сумісністю та можливістю паралельних обчислень [3].

Гібридні методи полягають у використанні двох різних чисельних вирішувачів: нестационарного інструменту обчислювальної гідродинаміки як генератора джерела звуку та акустичного вирішувача як методу перенесення. При цьому акустичний вирішувач може бути заснований на розв'язанні системи диференціальних рівнянь у часткових похідних, таких як лінійні рівняння Ейлера [4] або рівняння акустичних збурень [5], або як інтегральний метод, наприклад, заснований на роботі Джеймса Лайтхілла [6]. З обчислювальної точки зору інтегральні методи менш затратні, дозволяють мати явне рішення для акустичного тиску, яке має бути чисельно оцінене з вихідних умов, отриманих за допомогою розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса, та на сьогоднішній день є більш доступними та популярними для моделювання аеродинамічного шуму.

В роботі розглянуто можливість використання пакета ANSYS Fluent для розрахунку аеродинамічних та акустичних характеристик профілів. Наведено порівняння отриманих результатів з відомими розрахунковими та експериментальними даними.

В обраній методиці щільність повітряного потоку моделюється рівнянням стану ідеального газу, тангенціальні напруги визначаються згідно з гіпотезою Стокса, в'язкість – згідно із законом Сатерленда.

Чисельна реалізація передбачає спочатку знаходження поля розподілу швидкості та тиску в розрахунковій області з подальшим обчисленням значень щільності та інших термодинамічних властивостей шляхом розв'язання рівняння енергії та рівняння стану. Прийнято зв'язану схему розв'язання рівнянь тиск-швидкість, що забезпечує більш високу швидкість збіжності, однак, при цьому має вищі вимоги до обсягу пам'яті. Чисельна просторова дискретизація реалізована із використанням методу найменших квадратів для оцінки градієнтів, схему другого порядку точності для тиску, протипоточну схему другого порядку точності для щільності, імпульсу і енергії.

При моделюванні турбулентності використовується метод великих вихорів (LES – Large Eddy Simulation) із застосуванням моделі підсіткової в'язкості Смагоринського.

В роботі досліджено структуру течії, відтворено характерні особливості, такі як утворення «відривного пузиря» та подальше послідовне виникнення вихорів, що сходять. Наведено анімовані ілюстрації результатів, що дозволяють детальніше вивчити фізичну картину процесів вихроутворення, і, відповідно, генерування звукових коливань.

Показано, що нестійкість на нижній частині профілю, яка здійснює коливальні рухи із частотою, що корелюється із частотою

сходження вихорів з задньої кромки, а також нестійкість в примежовому шарі на верхній поверхні профілю (в області відривного пузиря) впливають на формування частоти зриву вихорів. Змодельована фізика процесу генерування нестійкостей та вихорових структур якісно збігається із прийнятою теорією виникнення тонального шуму.

Також отримані моментальні та усереднені за часом значення розподілу коефіцієнтів тиску та тертя вздовж обтічної поверхні профілю, визначені поздовжні координати точок відділення та повторного приєднання примежового шару.

Отримані дані щодо коливань коефіцієнта підйомної сили досліджуваного профілю (як таких, що корелюють із домінуючим тональним шумом), наведено розподіл їх частотних спектрів. Наведено картини флуктуацій тиску, що генеруються вихровими структурами які взаємодіють із задньою кромкою профілю, і поширюються в ближньому полі.

Результати роботи можуть бути використані при вивченні фізики процесів генерації звуку при обтіканні профілів повітряним потоком, а також розробці та оцінці методів зниження аеродинамічного шуму.

## ПОСИЛАННЯ

1. W.W. Hiner, “Numerical Investigation of Tonal Noise on a Transitional Airfoil under Varying Conditions”, 2015.
2. M. Navarrete, “Computational aeroacoustics in the automotive industry,” Tesi doctoral, UPC, Departament d'Enginyeria Mecànica, 2021.
3. D. Huang, Z. Yang, R. Chi Kin Leung, “Implementation of Direct Acoustic Simulation using ANSYS Fluent,” INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise21, Washington, D.C., USA, pages 970-1944, pp. 1243-1252(10), 2021.
4. C. Bailly, C. Bogey, “An overview of numerical methods for acoustic wave propagation,” in European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECCOMAS CFD, P. Wesseling, E. Onate, J. Périaux (Eds), 2006.
5. R. Ewert, W. Schröder, “Acoustic perturbation equations based on flow decomposition via source filtering,” *Journal of Computational Physics*, vol. 188, no. 2, pp. 365–398, 2003.
6. M. J. Lighthill, “On sound generated aerodynamically. i. general theory,” in *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 1952, vol. 211, no. 1107. The Royal Society, 1952, pp. 564–587.

## **LIQUID ANTI-FIRE MISSILES. THE METHOD OF EXTINGUISHING FIRES**

*Andrey Volodimirovich Sokol*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1248-125X>

Yuzhnoye State Design Office, Dnipro

*Galyna Ivanivna Sokol*

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

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

### **INTRODUCTION**

Such types of fires as forest fires are becoming an increasingly acute problem around the world affecting life on our entire planet. In just the past few years, large fires have besieged a number of countries, including the United States, Canada, Australia, Turkey, and Brazil, and even such regions as Greenland and Northern Europe [1-4].

Global fire protection associations are working on new standards and practices that address wildfires. One of the ways to increase efficiency of fighting against forest fires and fires in general is the use of automated systems for detecting and extinguishing fires.

### **THE AIM AND TASKS**

The aim of this article is working and studying the method for extinguishing fire with the use of automated fire safety system based on reactive fire systems.

The following tasks are solved herein:

- drawing up an analytical review of the use of liquid rockets to extinguish fires.
- development of a new method of extinguishing a fire.
- creation of an automated system for use in the method of reactive fire systems.

There is a method of using traditional high-explosive and high-explosive munitions to extinguish forest fires. The disadvantage of this method is the danger of its use due to the possibility of re-ignition [5].

### **PROBLEM DEFINITION**

#### **THE ANTIFIRE ROCKETS AUTOMATED MULTIPLE LAUNCH ROCKET SYSTEM**

A method of extinguishing fires using an automated safety system based on multiple launch rocket systems is working [5, 6].

The Global fire protection associations are working on new standards and practices that address wildfires. One of the ways to increase efficiency of fighting against forest fires and fires in general is the use of automated systems for detecting and extinguishing fires. The «Antifire Rockets» automated multiple launch rocket system is a network of transport-launch containers. This network of transport-launch containers is managed by the Center Remote Monitoring and Control, and if necessary, information from Earth remote sensing satellites can be used. At the same time, the autonomy of the transport-launch container while identifying and launching missiles in the automatic mode for extinguishing fires is preserved. The "smart" firefighting missile it self consists of two units: a unit with a fire extinguishing agent and a reusable jet drone. System composition the Transport and Launch Container are depicted in Fig. 1.

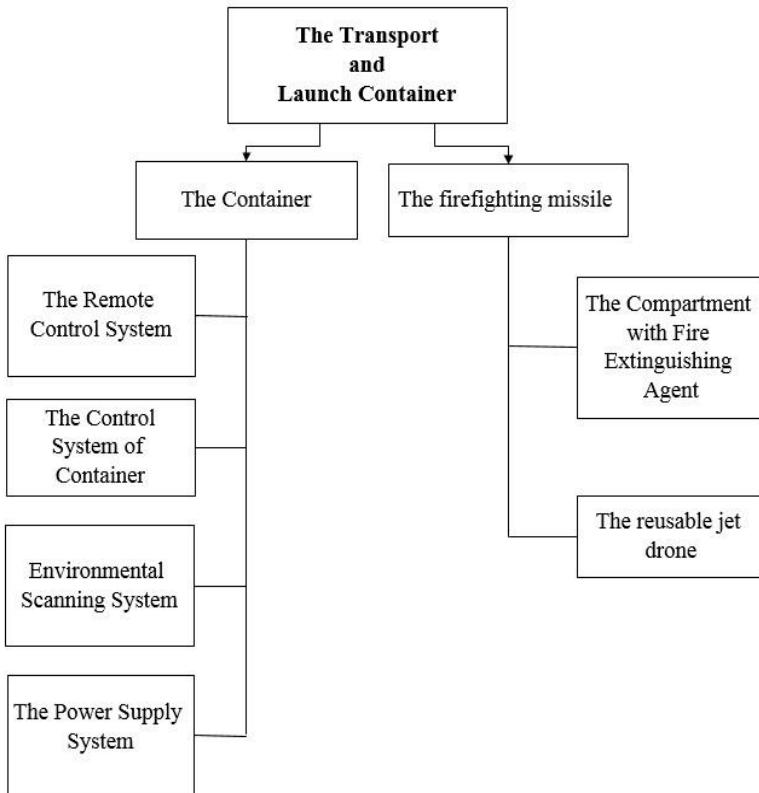


Fig. 1. System composition the Transport and Launch Container

The jet drone is equipped with the necessary sensors, smart avionics, and controlled jet engines, which allows the firefighting missile to bypass obstacles while flying to the target.

The "charge" of one robotic firefighting missile is capable of spraying a fire extinguishing agent over an area of ~100 m<sup>2</sup> (~1000 square feet). One container contains twelve robotic firefighting missiles, which makes it possible to extinguish twelve ignitions or a forest fire with an area of ~1200 m<sup>2</sup> (~12000 square feet).

In the event of lacking firefighting missiles when extinguishing a fire from one transport-launch container, neighboring transport-launch containers from the network will be connected to extinguish the fire.

The compact dimensions of the transport-launch container allow it to be transported in the back of a conventional pickup truck. Initially, the system was considered as a means of extinguishing fires in high-rise buildings.

But it can also be safely put in defense of densely populated areas and megacities, in industrial areas where there is a danger of contamination with hazardous substances during a fire, as well as objects on the water surface.

Unlike existing vehicles for extinguishing fires, «Antifire Rockets»:

- do not depend on the state of the road surface, traffic jams, and landscape drops, like the fire fighting vehicles;
- do not depend on weather conditions, like firefighting aircrafts;
- do not require preparatory measures and deployment of fire brigades.

Along the way, this system can not only monitor the surrounding area in order to detect ignitions, but also provide relevant information in real time for law enforcement agencies, hydro meteorological services, as well as provide sparsely populated areas with wireless communication.

## CONCLUSION

Achievements of Ukrainian scientists will help to solve the issue of prompt fire extinguishing at the stage of ignition and thus save the population and business from more global damage and, as a result, colossal insurance payments.

The research papers dedicated the method for extinguishing fire with the use of automated fire safety system based on reactive fire systems.

## REFERENCES

1. Sokol G.I., Sokol A.V. Automated system based on multiple launch rocket systems for extinguishing fire. / Novel problems of continuum

medium and strength of structures / Abstracts of reports of the Second International Scientific and Technical Conference in memory of academician of the NAS of Ukraine Volodimir. Mossakovskii (to the 100th anniversary of birthday), Dnipro, October 10-12, 2019, Ukraine. – Dnipro: 2019. – P. 327.

2. Sokol Andrey, Sokol Galyna. Firefighting Method using Automated System on the Basis of Multiple Launch Rocket Systems. Section 8. Fire and Civil Safety / Abstracts of II International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 1), November 26, 2021. Tel Aviv, State of Israel: European Scientific Platform. ISBN 978-1-68564-147-4/ DOI 10.36074/scientia-26.11.2021 –P. 86-88.

3. Patent № 3519080, 1968. USA, Helicopter with a suspended tank for extinguishing forest fires. Morz F. Kolebaniya i zvuk. – M.: Gostehizdat, 1937. – 465 p.

4. Patent RU №30418 U, A62C 3/00, 2006. A method of extinguishing a forest fire.

5. Sokol. A.V, Sokol G.I. A Method of Extinguishing Fires Using an Automated Safety System Based on Multiple Launch Rocket Systems. Patent for an utility model of Ukraine No. 123017 dated 12.02.2018 Bull. No. 12 dated 25.06. 2018. Electronic document identifier 3305200618.

6. Galyna Sokol, Andrey Sokol. The Method of Extinguishing Fires using an Antifire / GJSFR Volume 22 Issue 2 Version. 1.0 Global Journal of Science Frontier Research: I Interdisciplinary Volume 22, Issue 2 ,Version 1.0 Year, 2022 . p.1-4.Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal Publisher: Global Journals Online ISSN: 2249-4626 & Print ISSN: 0975-5896 / I Classification: DDC Code: 614.845 LCC Code: QC100, DOI:10.17406/GJSFR. [https://globaljournals.org/index.php//GJSFR\\_Volume22/1-The-Method-of-Extinguishing.pdf](https://globaljournals.org/index.php//GJSFR_Volume22/1-The-Method-of-Extinguishing.pdf).



## **ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СУБОРБІТАЛЬНИХ РАКЕТ-НОСІЇВ ДЛЯ ВІДВЕДЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З НИЗЬКИХ НАВКОЛОЗЕМНИХ ОРБІТ**

*Владислав Аркадійович Пророка*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Микола Михайлович Дронь*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Анатолій Олександрович Абатуров*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Зростання кількості нефункціонуючих космічних об'єктів, що знаходяться на низьких та середніх орбітах все більш гостро ставить задачу їх відведення у щільні шари атмосфери з метою запобігання ситуацій їх зіткнення між собою та зростання засміченості цих ділянок навколоземного простору. Останніми роками запропоновано велику кількість засобів відведення (систем уводу) об'єктів космічного сміття (ОКС) [1]. Майже всі запропоновані рішення передбачають виведення таких пристроїв на орбіти з параметрами близькими до параметрів орбіти ОКС, з подальшим зближенням засобу відведення та об'єкту, що необхідно відвести. Деякі пристрої здатні відвести лише один крупногабаритний об'єкт космічного сміття, інші виконують операції переходу між орбітами, на яких знаходяться ОКС з метою захоплення декількох таких об'єктів.

У порівнянні із запропонованими на даний момент рішеннями, перспективним виглядає шлях виведення систем уводу об'єктів космічного сміття за допомогою ракет, що можуть рухатися за суборбітальними траєкторіями. До таких ракет можна віднести як існуючі суборбітальні ракети-носії (СРН) – ракети-зонди; метеорологічні, геофізичні ракети; ракети для космічного туризму тощо, так і деякі ракети військового призначення, що знімаються з озброєння та підлягають утилізації [2]. Дані ракети можуть забезпечити виведення системи уводу у ті самі точки навколоземного простору, що і ракети-носії. Однак такий спосіб має свої особливості.

Суборбітальні траєкторії у більшості випадків передбачають розгін корисного навантаження до швидкостей менших за першу космічну. Через це величина відцентрової сили, що напрями залежить від

квадрату швидкості, виявляється недостатньою аби компенсувати гравітаційну силу та утримати об'єкт на орбіті. Така особливість створює як передумови для комплексного вирішення проблеми космічного сміття, так і нові задачі, що необхідно вирішити для реалізації вводу ОКС за допомогою суборбітальних ракет.

Типова траєкторія суборбітальної ракети передбачає наявність декількох основних ділянок. Висхідна ділянка траєкторії поділяється на активну, де відбувається політ під дією тяги рушійної установки та швидкість збільшується із часом, та пасивної, де ракета рухається за інерцією, отриманою на активній ділянці з поступовим зниженням швидкості. На низхідній ділянці відбувається вільне падіння ракети з поступовим наростанням швидкості на ділянках, де щільність атмосфери є малою.

Звернувшись до формули Ціолковського, поданої у класичному вигляді [3], зрозуміло, що зменшення кінцевої швидкості напряду веде до зменшення кількості палива, яку необхідно спалити для виведення корисного навантаження, що у свою чергу призводить до зменшення маси конструкцій баків або корпусів ракетних двигунів твердого палива (РДТП) і сумарно дозволяє у разі зменшувати як стартову масу ракети, так і вартість всього ракетного комплексу, що від неї залежить. Для того, аби проілюструвати наскільки суттєво меншою є твердопаливна суборбітальна ракета, необхідна для виведення системи відводу на деяку висоту у порівнянні з твердопаливною ракетою-носієм, що має виводити еквівалентний корисний вантаж на кругову орбіту з аналогічною висотою, слід звернутися до прикладу, що мав місце у історії ракетної техніки.

Найпотужнішою на даний момент суборбітальною ракетою є ракета-зонд *Maxus* [4]. Ця ракета використовується з 1992 року для проведення експериментів в умовах мікрогравітації і здатна виводити корисний вантаж масою близько 800 кг на висоту приблизно 700 км. Рушійною установкою одноступеневої *Maxus* є РДТП *Castor 4B*, який був успадкований від оперативно-тактичної ракети *MGM-29 Sergeant* та раніше використовувався на других ступенях сімейства ракет-носіїв *Scout* [5]. На початку 1980-х років компанія *Space Services Inc. of America* вирішила створити на базі РДТП *Castor 4B* сімейство твердопаливних орбітальних ракет-носіїв, яку назвали *Conestoga* [6] (див. Рис. 1). Перші ступені ракет-носіїв сімейства було побудовано за модульною схемою – вони представляли собою пакети зв'язаних між собою однакових РДТП *Castor 4B*.

Серед ракет сімейства (окрім першого тестового варіанту, що не входив у сімейство) лише *Conestoga-1620* дійшла до етапу льотних випробувань, які були проведені у 1995 році. Однак льотні

випробування виявилися невдалими і через деякий час компанія припинила свою діяльність.

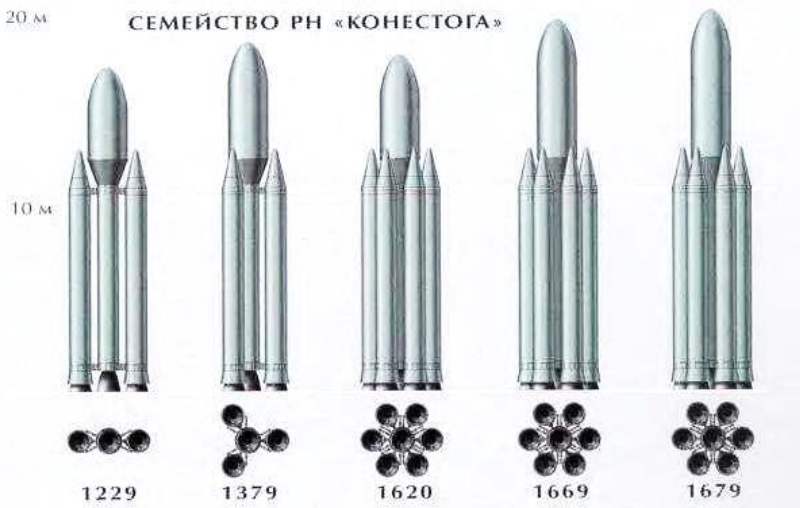


Рисунок 1 – Сімейство орбітальних ракет-носіїв Conestoga [6]

Відомо, що Conestoga–1620 могла виводити корисний вантаж масою 1179 кг на кругову орбіту з висотою 700 км. При цьому виведення відбувалося наступним чином: на першому ступені працювало 4 з 6 бокових прискорювачів ракети, що були розташовані навколо центрального блоку, на другому ступені працювали 2 прискорювачі, що залишилися, далі на третьому ступені працював останній Castor 4В з розширеним соплом, а на 4 ступені застосовувався твердопаливний двигун Star-63V. Основні характеристики двигунів, що застосовувалися на ракеті Conestoga–1620 показано у Таблиці 1.

Для того, аби порівняння ракет Maxus та Conestoga–1620 стало більш коректним, приведемо масу корисного вантажу до одного значення. Для цього зменшимо значення запасу палива (і час роботи двигуна відповідно) на останньому ступені ракети Conestoga–1620. Скориставшись програмою DBallistic [7] для оцінки параметрів орбіти зміненої ракети Conestoga–1620, знайдемо методом послідовних наближень параметри зменшеного РДТП четвертого ступеня для висоти орбіти 700 км та корисного навантаження 800 кг за сталих параметрів тяги та сухої ваги РДТП, які подано у Таблиці 2.

У Таблиці 3 наведемо основні характеристики ракет Maxus та ракети Conestoga–1620 після проведеної модифікації.

Таблиця 1 – Основні характеристики двигунів ракети Conestoga 1620 [6]

РДТП	Повна маса, кг	Маса палива, кг	Маса конструкції, кг	Сумарний імпульс, кН·с	Середня тяга, кН	Питома тяга на землі, с	Питома тяга в пустоті, с	Час роботи, с	Діаметр, м
Castor 4B	11400	10000	1400	27558,4	430,6	222	281	64	1,02
Star-63V	2140	2010	130	7818	93,1	-	292	84	1,24

Таблиця 2 – Характеристики четвертого ступеня після модифікації у DBallistic [5, 7]

РДТП	Повна маса, кг	Маса палива, кг	Маса конструкції, кг	Сумарний імпульс, кН·с	Середня тяга, кН	Питома тяга на землі, с	Питома тяга в пустоті, с	Час роботи, с
Star-63V мод.	815	685	130	2559,4	93,1	-	292	27,5

Таблиця 3 – Порівняння основних характеристик ракет Maxus і Conestoga–1620 у модифікованому варіанті [4, 5, 7]

Ракета	Висота, км	Маса корисного вантажу, кг	Стартова маса, кг	Маса палива, кг	Маса конструкції, кг	Сумарний імпульс, кН·с	Час роботи двигуна, с	Діаметр, м
Maxus	700*	800	12380	10000	1580	27558,4	64	1,02
Conestoga–1620	700**	800	81415	70685	9930	195468,2	219,5***	~3,06

Примітки: \* – апогею; \*\* – кругова орбіта; \*\*\* – сумарний для ракети.

Маємо наступні співвідношення між ракетою Conestoga–1620 та Maхus:

1. Відношення стартових мас:

$$\bar{m}_{\text{старт}} = \frac{81415 \text{ кг}}{12380 \text{ кг}} = 6,576;$$

2. Відношення мас палива:

$$\bar{m}_{\text{пал}} = \frac{70685 \text{ кг}}{10000 \text{ кг}} = 7,0685;$$

3. Відношення мас конструкції:

$$\bar{m}_{\text{констр}} = \frac{9930 \text{ кг}}{1580 \text{ кг}} = 6,285;$$

4. Відношення сумарних імпульсів:

$$\bar{I}_{\Sigma} = \frac{195468,2 \text{ кН} \cdot \text{с}}{27558,4 \text{ кН} \cdot \text{с}} = 7,093;$$

5. Відношення часу активних ділянок траєкторії:

$$\bar{t}_{\text{акт}} = \frac{219,5 \text{ с}}{64 \text{ с}} = 3,43.$$

Слід зауважити, що ракета Conestoga–1620 побудована за модульною схемою, яка не є оптимальною з точки зору мінімуму критеріїв, які було обрано для порівняння. Тобто для заданих параметрів корисного вантажу та висоти орбіти може існувати теоретична ракета з кращими характеристиками відносно Conestoga–1620, однак, вона потребуватиме створення більш потужних РДТП. Матеріальні та часові затрати на проектування та відпрацювання таких РДТП у свою чергу значно збільшить загальну вартість реалізації проекту. Тому таке питання потребує більш глибокого економічного аналізу з пошуком оптимального рішення.

Застосування суборбітальної ракети Maхus замість модифікованої версії ракети-носія Conestoga–1620 для теоретично можливого виведення системи уводу ОКС дозволяє зменшити вартість запуску системи уводу ОКС за рахунок:

1) зменшення кількості сумішевого палива, що є достатньо дорогавартісним, приблизно у 7 разів;

2) зменшення маси конструкції, головним чином корпусів РДТП, що виготовляються із композиційних матеріалів високої вартості, більш ніж у 6 разів;

3) зменшення стартової маси ракети, що призводить до зменшення конструкцій стартового комплексу та обслуговуючого і транспортувального обладнання більш ніж у 6,5 разів;

4) зменшення кількості необхідних РДТП з 8 до 1, що крім зменшення вартості значно збільшує вірогідність виконання польотного завдання;

5) зменшення вартості за рахунок відсутності конструкцій, що скріплюють ракетні блоки у пакет та ступені між собою.

Окремо слід відзначити переваги, пов'язані з режимами польоту суборбітальних ракет. Більшість суборбітальних ракет мають траєкторію польоту близьку до вертикалі. Це дозволяє зменшити величину перерізуючих сил та згинальних моментів, що діють на ракету за наявності програми тангажа, що характерно для орбітальних ракет-носіїв. Зменшення навантажень веде до зменшення величини несучих конструкцій ракети. Окрім того, якщо брати до уваги ракети, що побудовані не за модульною схемою, критичним тут може бути питання збільшення часу роботи двигуна, що веде до ускладнення заходів забезпечення теплового захисту елементів ракетних двигунів. Менший час роботи двигунів суборбітальних ракет дозволяє значно спростити вирішення даної проблеми.

За рахунок того, що траєкторія суборбітальної ракети наближена до вертикалі, це дозволяє значно зменшити розміри зони відчуження необхідних для їх запуску у порівнянні з зонами можливого падіння відпрацьованих ракетних орбітальних ракет-носіїв. Для ракети *Maхus* зона відчуження у діаметрі не перевищує 80 км (див. Рис. 2) [4]. Це у свою чергу розширює перелік територій, з яких можливо здійснювати запуск СРН.

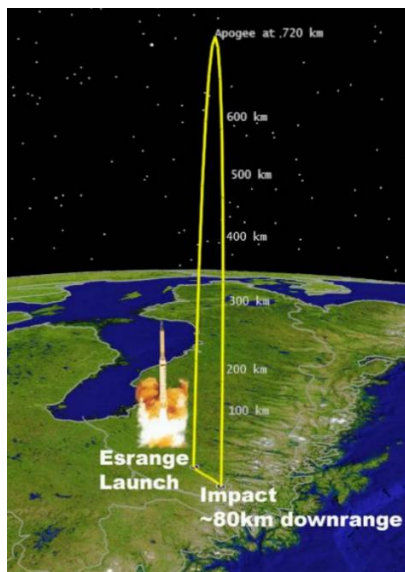


Рисунок 2 – Номінальна траєкторія польоту ракети *Maхus* [4]

Зупинимось на питанні багаторазовості використання конструкцій ракет. На тепер існує тенденція пошуку шляхів до реалізації такої ідеї для об'єктів ракетно-космічної техніки. Для орбітальних ракет-носіїв на сьогоднішній день іде мова лише про повернення перших ступенів, у той час як порятунок та повторне використання верхніх ступенів залишається практично нереалізованим завданням. Це пов'язано з високою швидкістю з якою дані ступені обертаються на орбіті, тому сходження з орбіти потребує значних енергетичних затрат на видачу гальмівного імпульсу достатнього для того, щоби при спуску у земну атмосферу ступінь не зруйнувалася від різного роду навантажень. У той же час, найбільш дороговартісними вузлами, які можна було б використовувати повторно для ракет залишаються двигуни та апаратні відсіки, у яких зосереджені високоточні прилади систем керування – бортові комп'ютери, датчики системи орієнтації тощо. Майже завжди апаратні відсіки знаходяться саме на верхніх ступенях ракет. Для суборбітальних ракет така проблема стоїть менш гостро, так як швидкості, з якими рухається СРН при досягненні апогею на є на декілька порядків меншими за швидкість об'єктів, що утримуються на орбіті. Тому реалізувати багаторазовість використання усєї конструкції СРН можна значно простіше. Проте, на низхідній ділянці траєкторії ракета перебуває у вільному падінні, тому для її безпечного повернення необхідно реалізовувати заходи по зменшенню швидкості з якою вона знижується. Для цього на суборбітальних ракетах встановлюють системи порятунку, що можуть представляти собою одноступеневі та багатоступеневі парашути, елементи, що при розкладанні збільшують аеродинамічний опір за рахунок збільшення площі міделя, двигуни гальмування та інші типи систем порятунку.

Поруч із усіма перевагами виведення систем уводу ОКС з навколоземних орбіт за допомогою СРН, слід звернути увагу на нові задачі, які не вирішувалися дотепер жодною із систем, що працюють чи працювали у навколоземному просторі.

Припустимо, що існує деяка точка навколоземного простору, через яку проходять орбітальна траєкторія ОКС та траєкторія СРН, що містить на борту систему уводу цього ОКС. Швидкість ОКС складає не менше 7 км/с, у той час як СРН може рухатися зі швидкістю одиниць, десятків або у кращому разі сотень метрів на секунду. До того ж, вектор швидкості СРН явно не буде збігатися з вектором швидкості ОКС, що має напрям по дотичній до орбіти.

Першою задачею, яку не обхідно вирішити для реалізації запропонованої ідеї є вибір та аналіз взаємодії двох об'єктів, що рухаються зі швидкостями, які відрізняються на 2-3 порядки. Просте зіткнення

між такими об'єктами може призвести до утворення хмари уламків, що перебуватимуть на навколоземній орбіті значний час через недостатню для сходу з орбіти зміну швидкості. Негативним прикладом, що ілюструє актуальність вирішення цієї задачі є випробування засобів боротьби з космічними апаратами, що використовуються у військових цілях [8], при яких утворювалися уламки, що могли загрожувати функціонуванню у тому числі Міжнародної космічної станції.

Другою задачею є забезпечення точності виведення системи уводу у місце зустрічі з ОКС. Причому точність як по координатам, так і по часу зустрічі. Окрім значної різниці у швидкості між об'єктами, складність полягає у тому, що значна частина траєкторії СРН є пасивною ділянкою, яка до того ж проходить на висотах з дуже розрідженою атмосферою, де її вплив практично не відчутний. Тому у цій ситуації важко знайти альтернативу деякому двигуну, що видаватиме коригуючі імпульси на фінальному відтинку при підльоті до точки зустрічі з ОКС. Для того аби звести коригуючі імпульси на фінальному відтинку до мінімуму, а значить зменшити розміри двигуна корекції та запас робочого тіла для видачі імпульсу, необхідно мінімізувати будь-які збурення, що можуть відхилити траєкторію руху СРН від номінальної. Тобто, необхідно вирішити задачу мінімізації розсіювання траєкторних параметрів на активній ділянці польоту СРН як тіла змінної маси та на пасивній ділянці, де рух ракети мало чим відрізняється від руху артилерійського снаряда, що рухається по балістичній траєкторії. Зрозуміло, що достатня точність виведення може бути забезпечена лише за наявності відповідної точності системи керування та орієнтації СРН, що є окремою непростотою для практичної реалізації задачею.

## ВИСНОВКИ

1) Виведення систем уводу ОКС за допомогою СРН є доцільним з економічної точки зору. Матеріальні витрати у порівнянні з виконанням тої ж задачі орбітальними ракетами-носіями скорочуються у декілька разів. До суттєвих переваг такого рішення також належать менші зони відчуження для організації пусків, можливість багаторазового використання конструкцій та систем ракети, елементів систем уводу ОКС тощо.

2) Запропонована ідея використання СРН для рішення проблеми засміченості навколоземного простору потребує розв'язання нових задач, що пов'язані з точністю виведення СРН та взаємодією систем уводу з ОКС як об'єктами, швидкості яких відрізняються на 2-3 порядки. Однією з ключових задач є розробка методів впливу на ОКС,



що виключають утворення неконтрольованих хмар уламків, які можуть ускладнювати функціонування діючих космічних апаратів та здійснення космічної діяльності загалом.

## ПОСИЛАННЯ

1. An overview of methods and technical means of space debris removal from low earth orbits / A. O. Abaturov et al. *System design and analysis of aerospace technique characteristics*. 2022. Vol. 31, no. 2. P. 3–13. URL: <https://doi.org/10.15421/472209> (date of access: 26.05.2023).
2. Noga T. Suborbital rockets in safety & defense applications. *Safety & defense*. 2021. Vol. 7, no. 2. P. 65–79. URL: <https://doi.org/10.37105/sd.146> (date of access: 26.05.2023).
3. Проектування і конструкція ракет-носіїв: Підручник/ В. В. Близниченко, Є. О. Джур, Р. Д. Краснікова, Л. Д. Кучма, А. К. Линник та ін.; за ред. акад. С. М. Конюхова. – Д: Вид-во ДНУ, 2007. – 504 с.
4. Maxus-8 : Information kit. 2010. URL: [https://www.dlr.de/rd/Portaldata/1/Resources/portal\\_news/newsarchiv2010\\_2/MAXUS\\_Information.pdf](https://www.dlr.de/rd/Portaldata/1/Resources/portal_news/newsarchiv2010_2/MAXUS_Information.pdf) (date of access: 26.05.2023).
5. Castor motor series. propulsion products catalog. ©Northrop Grumman. Approved for Public Release OSR No. 16-S-1432, 2016. URL: <https://www.northropgrumman.com/wp-content/uploads/CAS-TOR-Motor-Series.pdf> (date of access: 26.05.2023).
6. Krebs, Gunter D. “*Conestoga-1620*”. Gunter's space page. URL: [https://space.skyrocket.de/doc\\_lau\\_det/conestoga-1620.htm](https://space.skyrocket.de/doc_lau_det/conestoga-1620.htm) (date of access: 26.05.2023).
7. DBallistic version 1.0.7.0s. Dnipro, 2004.
8. A Russian anti-satellite missile test puts the ISS in peril. *The economist*. 2021. 18 November. URL: <https://www.spacecom.mil/Newsroom/News/Article-Display/Article/2842957/russian-direct-ascent-anti-satellite-missile-test-creates-significant-long-last/> (date of access: 26.05.2023).

## СУЧАСНІ БПЛА ТА РОЗРАХУНОК ШУМІВ ЇХ ГВИНТІВ

*Сергій Вікторович Алексєєнко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0320-989X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Галина Іванівна Сокол*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Денис Вікторович Михальов*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6857-2813>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), часто відомі як дрони, є однією з найпопулярніших технологій сучасності. Вони представляють собою літальні апарати, що не потребують присутності пілота на борту [1]. Завдяки широкому спектру застосувань та технологічному прогресу, сучасні БПЛА відкривають безліч нових можливостей у різних галузях. На сьогодні є два основних напрямки використання безпілотних літальних апаратів:

1. Військовий напрямок(розвідувально-наглядовий та ударно-бойові БПЛА);
2. Цивільний напрямок( фото- та відеозйомка, геодезія та картографія).

Безпілотні літальні апарати можуть мати різну конструкцію та розмір. Вони можуть бути мультироторними (з декількома гвинтами) або мати фіксоване крило.

Сучасні БПЛА вражають своїми технічними характеристиками. Вони здатні до автономних польотів на великі відстані, мають системи автоматичного пілотування, GPS-навігацію, системи уникнення перешкод, живлення з батарей та інтегровані керуючі системи, що спрощують їх експлуатацію.

При польоті вузли БПЛА випромінюють шум у навколишнє середовище, при цьому основним вузлом випромінювання є його гвинт. У цивільній сфері шум безпілотника може викликати у людей шумове роздратування, а у військовій сфері, реєструючи цей шум можна провести його пеленг та знищити летальний апарат. Щоб позбавитися цих шкідливих факторів і виникає потреба в розрахунку акустичного поля гвинта БПЛА.

## МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Метою роботи стало дослідження та аналіз шумів гвинтів БПЛА та були вирішені такі задачі: проаналізовано шуми, що виникають при роботі БПЛА, складено методику розрахунку характеристик акустичного поля гвинта БПЛА та запропоновані методи зниження шумів гвинтів.

## Опис досліджуваного БПЛА та його основного обладнання АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНУВАННЯ

Модель [1] FPVraptor V2 спеціально проектувалася для польотів з фотокамерою на борту. Тобто цей БПЛА призначений для польотів з відео. Але це зовсім не означає, що цей планер можна запускати тільки з FPV обладнанням, він чудово літає і без нього. FPVraptor V2 володіє хорошими льотними якостями і не вибагливий до навичок пілота. Він дуже стійкий в польоті, і може досить довго перебувати в повітрі (рис. 1).



Рисунок 1 – БПЛА FPVraptor V2, що оснащений фотокамерою

При проектуванні даного БПЛА розробники постаралися врахувати основні вимоги, які пред'являються для FPV моделей, а саме великий акумуляторний відсік, місце під кріплення камери з можливістю установки поворотного пристрою, місце для установки відео-передавача на хвостовій балці, зручний доступ у відсік з електронікою, модульну конструкцію силової установки, яка дозволяє легко отримати доступ до силовій електроніці. Розроблена модульна конструкція силової установки, яка дозволяє легко отримати доступ до силовій

електроніки. Модель планера, який рухається під впливом складного гвинта і вписується в жорсткі вагові рамки. Тим самим забезпечені прийнятні значення навантаження на крило, що в складних погодних умовах є критично необхідною складовою повернення моделі з великої відстані, при високому ступені розряду батареї.

Гвинт Volantex 1060 Propeller Set зображений на рис. 2.



Рисунок 2– Гвинт Volantex 1060 Propeller Set

Відноситься до нового покоління складних гвинтів. Оптимізована конструкція з дуже тонким профілем і комп'ютерний розрахунок аеродинамічних поверхонь гарантують високу точність при оптимальній ефективності та низькому енергоспоживанні двигуна. Гвинт виготовлений виключно з вуглецевого волокна, обробленого нейлоном для забезпечення високої жорсткості на скручування.

Електродвигун VOLANTEX B4023/Kv1050 зображений на рис. 3.



Рисунок 3 – Електродвигун VOLANTEX B4023/Kv1050

Основні характеристики електродвигуна:

- Потужність 260 Вт;
- Швидкість обертання двигуна в хвилину 1050 об/хв;
- Створювана тяга 0,8 кг;
- Напруга живлення 11,1 В;
- Діаметр валу 3 мм.

## ДЖЕРЕЛА ШУМІВ БПЛА

Основними джерелами шуму від БПЛА [2] при польоті є його двигуни та їх гвинти. Крім того, шум створює корпус літака та його обладнання внаслідок вібрацій, які викликаються невідповідністю вузлів та гвинтів. Нецільні з'єднання, погано закріплені агрегати обладнання викликають вібрації в обшивці БПЛА. У безпілотнику FPVartop використовується електричний двигун, який є найтихішим серед двигунів, які використовують у конструкціях літаків. За умови, що деталі безпілотника з'єднані щільно та агрегати обладнання закріплені надійно, головним джерелом шуму є гвинт. Застосування розробленої теорії та пакету програм MathCad дозволяє провести розрахунки звукового тиску, який виникає під час обертання лопотів гвинтів у повітрі.

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ АКУСТИЧНОГО ПОЛЯ ГВИНТА БПЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ MATHCAD

Для створення методики розрахунків використовуємо математичну модель, що запропонована Л. Я. Гутінім [3]. На кожен елемент гвинта діють дві сили: аеродинамічна сила та опір обертальному руху. З законів механіки випливає, що цей елемент, своєю чергою, впливає на середу з рівними за величиною та протилежно спрямованими силами. Точки застосування цих сил будемо вважати зосередженими в одній площині, так як осьове протяг лопаті дуже малий в порівнянні з довжинами хвиль перших гармонік. То джерело випромінювання вважатимуться точковим. Звуковий тиск розраховується за формулою:

$$P_m = Q \frac{\partial \varphi}{\partial t} \approx \frac{mn\omega}{2\pi c_0 L_1} \left| -P_B \cos \vartheta + \frac{c_0 M_{кр}}{\omega R_e} \right| J_{mn} \left( \frac{mn\omega}{c_0} R_e \sin \vartheta \right) \quad (1)$$

для розрахунку звукового тиску, необхідні такі вхідні дані:

- $m$  – номер гармоніки,
- $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ , де  $n$  – кількість оборотів за хвилину на валу двигуна,

рад/с,

- $n = 5827$  об/хв,
- $j$  – кількість лопатей гвинта. У нашому випадку – 2,
- $R$  – довжина лопаті гвинта.  $R = 0.1325$  м,
- $W$  – потужність,  $W = 260$  Вт.

Математичні розрахунки були виконані за допомогою пакету MathCad [4-5]. Необхідно ввести до програми величини, які застосовуються у формулі (1).

– Створюємо вектор-стовбець  $m$ , який містить 5 значень, від 1 до 5, що відповідають номерам гармонік.

– Заносимо у змінну  $n$  значення обертів на хвилину, 5827.

– Присвоюємо значення 2 змінній  $j$ , яка відповідає за кількість лопатей у гвинті.

– До змінної  $c$ , яка є швидкістю звуку у повітрі, заносимо значення 343 м/с.

– Розраховуємо значення кутової швидкості:  $\omega = \frac{\pi * n}{30}$ .

– Розраховуємо значення частоти звуку:  $f = \frac{n * j}{60}$ .

– Розраховуємо значення довжини хвилі:  $r = \frac{\lambda}{m}$ .

– Розраховуємо значення відстані, з якої починається дальнє поле:  $\lambda = \frac{c}{f}$  та заносимо до матриці  $r$ .

– Розраховуємо площу лопаті гвинта  $S$  як суму площин двох трикутників та прямокутника.

– Розрахуємо швидкість потоку повітря:  $V = 0.75R\omega$ .

– Занесемо у змінну  $p_0$  значення атмосферного тиску: 101325.

– Занесемо у змінну  $\rho$  значення густини повітря: 1,29.

– Розрахуємо повітряний тиск:  $pa = P_0 + \frac{\rho V^2}{2}$ .

– Розрахуємо аеродинамічну силу:  $P = pa * S$ .

– Розрахуємо обертальний момент на валу:  $M = \frac{W}{\omega}$ .

– Розрахуємо хвильове число:  $k = \frac{\omega}{c}$ .

– Аргументом функції, яка розраховує тиск, є кут обертання. Необхідно задати дискретність зміни кута, початкове та кінцеве значення у радіанах.

Заносимо усі змінні до формули (1).

У формулу необхідно вставити вбудовану функцію Бесселя. Для цього необхідно вибрати меню «Вставка» та підпункт меню «Функція». Це також можна виконати за допомогою комбінації клавіш Ctrl

+ Е. У діалоговому вікні необхідно в категорії функції вибрати «Бесселя» та вибрати  $J_n$ , що є функцією Бесселя першого роду  $m$ -го порядку. Додана функція має два аргументи:  $m$  та  $z$ . У перший заносимо номер гармоніки, у другий – добуток хвильового числа на довжину лопаті гвинта та синус кута прослуховування, тобто кута між радіус-вектором проведеним з центру обертання до місця прослуховування звуку та напрямком польоту БПЛА.

– Створимо ще 4 аналогічні функції для 4-х інших гармонік, змінюючи лише  $m$  та  $r$ .

Побудуємо полярний графік (рис. 4) для функцій  $p_1, p_2, p_3, p_4$  та  $p_5$ , де  $p_1$  – функція для основного тону, а  $p_2, p_3, p_4$  та  $p_5$  – функції для гармонік основного тону.

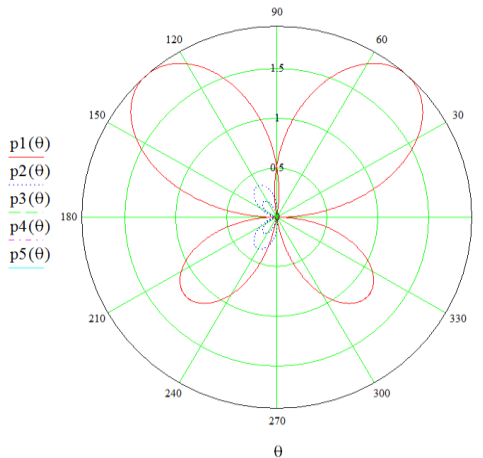


Рисунок 4 – Полярний графік спрямованості звукового тиску для основного тону –  $p_1$ , та для його гармонік –  $p_2, p_3, p_4$  та  $p_5$ .

Звуковий тиск прийнято вимірювати в дБ, а не в Па. Це зумовлено тим, що логарифмічна шкала виключно зручна для відображення дуже великих діапазонів значень величин. Перетворимо рівень звукового тиску в дБ. Полярний графік залежності звукового тиску основного тону та його гармонік, радіусом для якого являється звуковий тиск в дБ наведено на рис. 5.

Слід зазначити, що при вільному розповсюдженні рівень звукового тиску буде скорочуватись приблизно на 6 дБ при кожному подвоєнні відстані від джерела.

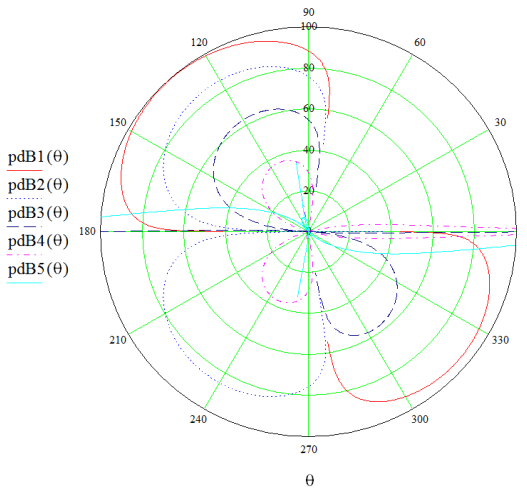


Рисунок 5 – Полярний графік направленості акустичного поля для основного тону та його гармонік (рівень звукового тиску в dB).

## РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

З аналізу джерел шумів з конструктивних елементів БПЛА бачимо, що головним джерелом шуму є гвинт літака.

На основі даних розрахунків, що наведені на графіках (див. рис. 4-5) маємо, що найбільший рівень звукового тиску спостерігається для основного тону, менший рівень для його другої гармоніки, ще менший для третьої, і так далі. Для основного тону максимальний рівень звукового тиску становить 1.9222 Па, або 99.655 dB, що спостерігається при кутах приблизно  $132^\circ$  та  $48^\circ$ .

## МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ШУМІВ

Один із заходів щодо зменшення рівнів шумів, який можна вжити – це вибрати гвинт більшої довжини, але з меншим кутом установки лопатей, щодо площини обертання. Величина підйомної сили при цьому зберігається. Однак швидкість обертання зменшується, що впливає на рівень звукового тиску вбік зниження рівня шумів перших гармонік. Разом зі зменшенням значення обертів гвинта економиться заряд акумуляторів, його вистачить на більший час. Доцільно використовувати карбонові лопаті гвинтів, які є міцними, легкими і зберігають свої властивості в широкому діапазоні температур.



## ВИСНОВКИ

1. Розглянута досліджувана модель БПЛА FPVraptor V2 та його основного обладнання акустичного випромінювання.
2. Розглянуті джерела шумів БПЛА.
3. Розроблена програма-методика розрахунків характеристик акустичних полів гвинта безпілотної літальної апарату FPVraptor v2.
4. Проведені розрахунки звукового тиску в оточуючому гвинт повітряному середовищі. Розрахунки проведені для п'яти гармонік шуму. Показано, що рівень звукового тиску найбільш великий для першої гармоніки. Він складає приблизно 99 дБ на відстані в одну довжину хвилі цієї гармоніки.

## ПОСИЛАННЯ

1. Михальов Д. В., Сокол Г. І. Розрахунок характеристик акустичного поля гвинтів БПЛА: XXIII Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос»: Збірник тез. Дніпро, 2021. С.10.
2. Самохин В. Ф., Остроухов С. П., Мошков П. А. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым двигателем в толкающей компоновке: Электронный журнал. «Труды МАИ» 2012. Вып. 70. С.20-32. URL: <https://www.mail.ru/science/trudy>.
3. Гутин Л. Я. Избранные труды: Судостроение. Л., 1977. 730 с.
4. Сокол Г. І., Алексеенко С. В., Михальов Д. В. Характеристики акустичного поля гвинта БПЛА: Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Зб. Наук. Праць, том XXXI / за наук. Ред. докт. техн. наук, проф. М. М. Дронь. Дніпро: Ліра, 2022. С. 81-94.
5. Прикладні дослідження в механіці та механотроніці. Звіт про науково-дослідну роботу (остаточний) ФТФ-23-19 / під кер д.т.н., доцента С. В. Алексеенко. Дніпро, 2021. С. 155. УКПП № держреєстрації 0119U101151 / Алексеенко С. В., Сокол Г. І., Михальов Д. В. ті ін.

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В ДЕТОНАЦІЙНІЙ КАМЕРІ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

*Олександр Євгенович Золотько*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Сергійович Аксьонов*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5399-7292>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Віталій Васильович Столярчук*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6082-7577>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Більшість відомих чисельних та експериментальних досліджень процесу детонації було проведено для детонаційних камер (ДК) простої конфігурації, що представляють собою циліндр постійного поперечного перерізу. Експериментальні дослідження детонації у камері змінного поперечного перерізу проводились з метою пошуку можливості посилення імпульсних і термогазодинамічних параметрів детонаційного течії [1]. У ДК складної просторової конфігурації реалізується нестационарний режим поширення детонаційних хвиль (ДХВ) на відміну від сталого режиму, який є характерним для роботи циліндричної камери. Розглянемо результати математичного моделювання детонаційних процесів в осесиметричній детонаційній камері, яка складається з декількох секцій [2]. До центральної (основної) циліндричної секції камери великого діаметра з обох сторін були приєднані дві циліндричні секції меншого діаметра. Стикування секцій великого та малого діаметрів здійснювалося за допомогою перехідних секцій, які мають форму зрізаного конуса. Як паливо використовувалася воднево-повітряна суміш стехіометричного складу під тиском 101,3 кПа при температурі 298 К. Ініціювання детонації здійснювалося у вхідному або вихідному перерізі камери. Геометрична конфігурація ДК відповідає конструктивній схемі камери перспективного багаторежимного детонаційного двигуна, призначеного для польоту з гіперзвуковою швидкістю у верхніх шарах атмосфери та у космічному просторі [3].

При проходженні каналом з кутовим уступом нереагуючого нев'язкого надзвукового потоку виникає складна хвильова конфігурація. Внаслідок багаторазового відбиття від стінок каналу падаючої ударної хвилі (УХВ) та взаємодії відбитих хвиль між собою відбувається

формування системи косих стрибків ущільнення (СУ). Кількість та інтенсивність УХВ визначаються значенням числа Маха  $M$  потоку, що набігає, та геометрією клину. Проходячи через систему косих СУ, надзвуковий потік піддається стисненню та нагріванню. Збільшення тиску та температури має стрибкоподібний (дискретний) характер. У той час, коли система косих СУ досягає вихідного перерізу камери, у зворотному напрямі починає поширюватися система хвиль розрідження. Система косих стрибків ущільнення є нестійкою – через вплив стінок каналу СУ з часом послаблюються та вироджуються у хвилю Маха. Поступово швидкість потоку стає дозвуковою.

У потоці здатній до хімічних реакцій паливної суміші система ударних хвиль ініціює процес горіння [4]. Займання відбувається у той момент, коли при стисканні потоку у системі косих стрибків ущільнення значення температури стає рівним або перевищує температуру самозаймання  $T_{c3}$  (для воднево-повітряної паливної суміші  $T_{c3} = 1100 \text{ K} - 1150 \text{ K}$ ). Якщо величина тиску після стиснення потоку у системі СУ досягне значення, що відповідає тиску у точці Чепмена-Жуге, відбудеться детонація паливної суміші. Детонаційний режим горіння може виникнути за першим стрибком ущільнення або після серії стрибків на стінці або у площині симетрії каналу.

Установлено, що інтенсивність процесу детонації насамперед визначається числом Маха польоту  $M$  та кутом розкриття клину  $\theta$ . У діапазоні зміни числа  $M$  – від 2 до 6, а величини кута  $\theta$  – від  $5^\circ$  до  $20^\circ$  можливі три випадки ініціювання детонації: поблизу вершини клину, за першою відбитою від площини симетрії ударною хвилею та за першою відбитою від стінки прямого каналу ударною хвилею. Зародок детонації, який утворюється в одному із зазначених положень, стрімко розвивається та поширюється вниз за течією у напрямку виходу з детонаційної камери. Після падіння зародка на тверду стінку або на площину симетрії каналу відбувається його відбиття та починається формування фронту косої ДХВ, який має нестійкий характер.

Детонаційний фронт, проходячи через область у формі клину, підхоплює вже існуючу систему косих ударних хвиль, які утворилися раніше. У результаті такої взаємодії утворюється  $\lambda$ -подібна фронтна структура. Подібна структура фронту формується також у разі взаємодії прямої детонаційної хвилі, яка розповсюджується проти потоку, з косим стрибком ущільнення. Отже, можливим є виникнення двох різних типів  $\lambda$ -структур. Структура першого типу зустрічається у разі ініціювання детонації при вершині клину. Ніжка Маха виникає в зоні горіння, і тому  $\lambda$ -структура є фронтом ударної хвилі. Другий тип  $\lambda$ -структури має місце при ініціювання детонації на стінці каналу або у площині його симетрії. У таких випадках ніжка Маха є фронтом

детонаційної хвилі. Для обох зазначених типів  $\lambda$ -структури контактна поверхня розташовується поблизу потрійної точки і відокремлює область, у якій знаходиться фронт нормальної ударної хвилі, від області, у якій розташована нижня частина ніжки Маха. Для заданого кута клину тривалість детонаційного процесу та частота пульсацій ДД приблизно пропорційні числу Маха вхідного потоку  $M_1$ . При фіксованому значенні числа Маха потоку  $M_1$ , який набігає на клин, тривалість процесу детонації зменшується зі зростанням величини кута клину  $\Theta$ . Проте при фіксованому значенні  $M_1$  величина кута  $\Theta$  істотно не впливає ні на швидкість руху фронту хвилі детонації, ні на середню величину тиску та температури на фронті детонації. Кут клину в основному визначає час затримки ініціювання детонації.

З метою підвищення ефективності роботи детонаційного двигуна трансатмосферного літального апарату інтервал часу, протягом якого відбувається ініціювання детонації, а також тривалість детонаційного циклу повинні бути мінімальними. Тому значення режимних факторів польоту та геометричних параметрів детонаційної камери повинні знаходитись у певному діапазоні.

## ПОСИЛАННЯ

1. An experimental study of formation of stabilized oblique detonation waves in a combustor / Z. Zhang et al. *Combustion and Flame*. 2022. Vol. 237. P. 111868. URL: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111868>.

2. Bachman C. L., Goodwin G. B. Ignition criteria and the effect of boundary layers on wedge-stabilized oblique detonation waves. *Combustion and Flame*. 2021. Vol. 223. P. 271–283. URL: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2020.10.007>.

3. Experimental Investigation on Initiation of Oblique Detonation Waves / J. S. Gong et al. 21st AIAA International Space Planes and Hypersonics Technologies Conference, Xiamen, China. Reston, Virginia, 2017. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2017-2350>.

4. Fan H. Y., Lu F. K. Numerical simulation of detonation processes in a variable cross-section chamber. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*. 2008. Vol. 222, no. 5. P. 673–686. URL: <https://doi.org/10.1243/09544100jaero272>.

## INFRASOUND EMITTING AT THE START OF A SPACE ROCKET LAUNCH

*Egor Olegovich Zagrevskiy*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1447-7408>

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

*Galina Ivanovna Sokol*

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

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

### INTRODUCTION

The analysis of acoustic radiation during the launch of a heavy space rocket is the main goal of this work. Particular attention is paid to the determination of sound pressure levels in the vicinity of the rocket body and its potential effect on the body, flexible connections and internal devices. Additionally, the generation of infrasonic waves in the Earth's atmosphere and their interaction with atmospheric phenomena are investigated.

To achieve this goal, several tasks are solved in this work. First of all, the basic principles of generation, propagation and direction of sound waves and infrasound during the launch of a space rocket are studied. Then a method is developed for analyzing acoustic sources and radiation in the initial seconds of a rocket flight.

Additionally, an analysis is made of the relationship between the characteristics of acoustic radiation and sound pressure levels near the body of the launch vehicle. A general technique for studying acoustic radiation during the first 14 seconds of a space rocket flight is being developed.

An important part of the study is the study of the interaction of infrasonic waves with magnetic particles and their influence on geomagnetic variations. Comprehensive observations, analysis and modeling are being carried out to better understand and explain the relationship between seismic activity, infrasonic vibrations and atmospheric phenomena.

### PURPOSE AND TASKS

The purpose of this work is to study and analyze acoustic radiation during the launch of a heavy space rocket. Determine the sound pressure levels in the vicinity of the rocket body and evaluate its effect on the body, flexible connections and internal devices. And also to study the generation of infrasonic waves in the Earth's atmosphere and their interaction with atmospheric phenomena.

The following tasks are solved herein:

- to study ideas about the generation, propagation and direction of

- sound waves and infrasound during the launch of a space rocket;
- to develop a method for analyzing acoustic sources and radiation during the launch of a space rocket and their acoustic fields in the first seconds of flight;
  - to analyze the relationship between the characteristics of the source of acoustic radiation and the levels of sound pressure near the body of the launch vehicle;
  - develop a general methodology for studying acoustic radiation during the flight of a space rocket in the first 14 seconds of flight;
  - to study the interaction of infrasonic waves with magnetic particles and its effect on geomagnetic variations;
  - to conduct complex observations, analysis and modeling in order to understand and explain the relationship between seismic activity, infrasonic oscillations and atmospheric phenomena.

### MAIN PART

There is acoustic field appeared during the start of a heavy class space rocket in the atmosphere. The research directions of acoustic emitting at the start of a space rocket launch based on ideas about the generation and propagation of sound waves and modeled as a volume acoustic source. On fig. 1 is showed launch of a space rocket.



Figure 1 - Launch of a space rocket

A sound suppression level calculations are carried out at the stage of preliminary design. It is based on the results of the physical and

mathematical analysis of acoustic oscillations sources. After the engine starts, various acoustic emissions are generated during the rocket moving in the atmosphere, and acoustic fields are formed in the atmosphere. One of the most relevant problems here is to analyze and assess the acoustic radiation's intensity levels, especially at infrasonic frequencies [1]. It is important to make an assessment of the acoustic pressure impact on the shell of the case, penetrating acoustic radiation inside the cavities of the compartments and its impacting on flexible connections both inside the devices and on their fastenings. Therefore, it is necessary to create a method that will allow identifying features and determining the directions of acoustic radiation researches based on existing ideas about the generation, distribution and direction of both sound waves and infrasound. A method of analysis of the acoustic sources and of radiation during the launch of space rockets (SR) and their acoustic fields in the first seconds of flight was developed. The method is based on the determination of the wave parameter  $kR$  of the source of acoustic radiation and allows us to provide valid data on the levels of sound pressure and intensity at specific points in air [2]. This is an important factor that gives an idea of the acoustic field direction and makes it possible to simplify the calculation of sound pressure magnitude as a function of distance variation from the source of oscillations to the point where the conditioned observer is located. It is needed to make an analysis of the relationship between the acoustic emitting source characteristics appeared in the first seconds of the rocket launch and at the indicated points near the carrier rocket body. The points are located near the tail section, the instrument section, the first-stage inter-tank compartment, and the third-level fairing. A general methodology of researching the acoustic emissions during the flight of a space rocket in the first 14 seconds of flight is developed. To calculate the acoustic characteristics of the volumetric type emitters, an algorithm and a program on Java programming language have been developed. An analysis of the relationship between the acoustic emitting source characteristics and the acoustic field's characteristics is established. Also, the calculation of the amplitude-frequency characteristic of acoustic emitting is given. As a result of the calculations, it was found that the sound pressure levels at the indicated points vary from 155 to 185 dB [3].

### **INFRASOUND WAVES AND THEIR INTERACTION WITH THE ATMOSPHERIC PHENOMENA, INFLUENCE ON THE CLIMATE AND THE WEATHER**

Formation of space and atmospheric weather, changes in the Earth's climate is now involved in many world organizations. In Ukraine it is States Space Agency and anthers organization that are the party of it from

Dnipro, Kyiv, Lviv. In world that are Intergovernmental Oceanographic Commission, World Metrological Organization. In USA it is National Center for Atmospheric Research, Colorado, Boulder; University Corporation for Atmospheric Research. Intergovernmental Group of Experts on Climate Change (IPCC). Recently more and more attention it is given to every possible oscillating motions of atmosphere, including to infrasonic waves. At the present stage less all is clarified atmospheric links at levels below 200 km. Without their definitive installation it will be difficult to solve completely and bottoms of is solar-terrestrial relationships of cause and effect. Infrasonic oscillations in an Earth's atmosphere grow out of activity of the numerous parents: earthquakes (earth crust oscillations), a tsunami. It is known that the infrasound sources are: eruptions of volcanoes, falls, thunder-storms, oscillations of a surface of the sea, forest fires, the strong wind, turbulence of atmosphere, activity of the person (explosions, gun shots, electromagnetic radiations, motions of meteors, galactic rays, gravitational actions of moon and the Sun, corpuscular flows from the Sun. It is earthquake, mountains, the storms of the sea, the sources of vortices in atmosphere, geomagnetic variations and others [4]. On fig. 2 the apparats for discovery of atmosphere of the Earth have displayed.

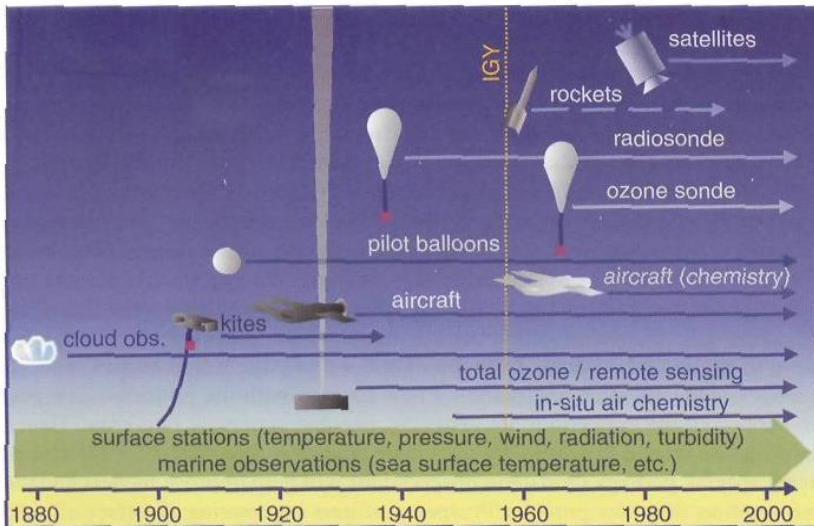


Figure 2 - The apparatus for discovery of the atmosphere of the Earth

The scientists of the department of Ukrainian Institute of Space of State Space Agency of Ukraine Science Academy (SSAU) in Lviv regis-



tered the infrasound of earthquakes in Turkey (A.A. Negoda, S.A. Soroka and other scientists) [5]. They defined that the infrasound is connected with the sun activity. When the sun activity is high the infrasound decies in atmosphere and vice versa when the sun activity is decies high in atmosphere the level of the infrasound is drops.

The infrasonic waves of the quakes travel in high atmosphere. They amplitude does not change a lot. But on high 80 km there are infrasonic waves. There is in sound channel and infrasonic waves (IS – waves) turn on 90 degrees and continued to travel in direction that is parallels on surface on the Earth. The infrasonic waves moved by meridians to poles of the Earth. When infrasonic waves connecting with magnetic particles, we can see the phenomenon of aurora at North Pole [6].

Because geomagnetic particles connected with infrasonic waves. The conducted operations have displayed, that this interaction makes essential impact on an ionosphere. It is proved, that perturbations of an ionosphere of an infrasound from earthquakes and eruptions of volcanoes it is accompanied by a birth of magnetic storms [7]. Earlier the scientists were supposed and considered that the disturbing in an ionosphere (IOA) is connect only with solar flares. At the present stage the scientists are connect the disturbing in an ionosphere with IS – waves. The factor, making the significant impact on infrasonic oscillations of atmosphere, is seismic activity. And it can be an exposure on preparatory processes and the link of intensity of seismic processes. It can be connect with solar activity.

The scientists found effect at analysis of global seismicity and 11-year-old solar cycles. Influence of seismic activity on IOA is very complex process and is not reduced only to piston radiance fluctuating lithosphere plates. Here it is necessary to consider manifold physicochemical processes, both in lithosphere, and in atmosphere. IOA can create on a surface of the Earth alternate stresses and in pour on the significant depths in lithosphere. Infrasonic oscillations influence on the velocity of fluids travel, on the electrical fields and on local seismic oscillations by stimulation in the lithosphere. Thus, the infrasound in atmosphere can be generating as effect of seismic oscillations and awake the influence on the atmosphere [8].

For examinations of the infrasonic canal of lithosphere-atmospheric links it has been introduced two coefficients of seismic activity. The first proportional to a quadrate of the maximum magnitude in the given day in the given region, second - to a quad-rate of the total of magnitudes of all seismic events with magnitude  $\geq 3$  for a day in the given region. It was considered two regions. One of it is dimensioned on a longitude  $10^\circ - 45^\circ\text{E}$  and latitude  $35^\circ - 60^\circ\text{N}$ , and second - on a longitude  $10^\circ - 55^\circ\text{E}$  and latitude  $20^\circ - 60^\circ\text{N}$ . The first and second regions powered up the basic bands of

heightened seismicity of the central and east Europe, and also Turkey.

Recently a lot of attention is given to the infrasonic and magneto hydrodynamic waves originating both in the uppermost atmosphere, and behind its limits below and in a magnetosphere. Pressure of sound waves invokes atmosphere inflating [9].

Waves with the frequency exceeding  $0,1 \text{ glc}$ , are customary waves and are spread with velocity of a sound ( $g$  - acceleration of gravity). Waves with frequency, smaller  $0,1 \text{ glc}$ , go with a little bit smaller velocity. Last, named by gravity waves, always have a wave length exceeding altitude of a homogeneous atmosphere. Thus, the wave length of gravity waves will be not less than hundred kilometers. Thereof in various bands of atmosphere temperature lapse rates and the thermal instabilities generating IOA are organized.

The organized infra-sound can influence fluctuations of intensity of interaction of ultra-rays with atmospheric aerosols. In earth crust percussions and vibrations of very low sound frequencies from the diversified radiant are, including from explosions are observed [10]. For an infrasound small uptake in various mediums owing to what infrasonic waves in air, water is characteristic and in earth crust can be spread to very far distances.

## CONCLUSION

This paper shows that after the engine is started, various acoustic radiations are generated in the atmosphere while the rocket is moving, and acoustic fields, including infrasonic ones, are formed in the atmosphere. The calculation of the amplitude-frequency characteristic of acoustic radiation is also given. As a result of calculations, it was found that the sound pressure levels at the indicated points vary from 155 to 185 dB.

The effect of infrasonic oscillations on the Earth's atmosphere and ionosphere is considered. It has been proven that disturbances of the ionosphere by infrasound from earthquakes and volcanic eruptions are accompanied by magnetic storms. Infrasound has a direct effect on the atmosphere, causing changes in fluid velocity, electric fields and local seismic vibrations. Infrasonic waves can be generated by a variety of sources, including earthquakes, thunderstorms, volcanic eruptions, and human activities. They are able to propagate over long distances due to their low absorption in various media. In general, the study of infrasound is essential for understanding and forecasting weather events and climate change on Earth.

---

## REFERENCES

1. G. Sokol, S. Bondarenko, O. Khorischenko, O. Myronenko, S. Kirichenko. The problem of Noise Situation in the Start of the Space Application Rocket / EGU General Assembly 2018, *Geophysical Research: Abstracts*. Vol. 20. 2018. P. 1550.
2. Zagrevskiy E. O., Sokol G. I. Acoustic radiations of a cylindrical form at the launch of a one-nozzle rocket / *Journal of Rocket and Space Engineering*. Vol. 30 No. 4. 26 December 2022. P. 107-115. URL: <https://doi.org/10.15421/452214>.
3. Sokol G. I., Zagrevskiy E. O., Sokol A. V. Impact of Infrasound in the Atmosphere of the Earth / *New Frontiers in Physical Science Research*. Vol. 1. 1 September 2022. P. 37-51. URL: <https://doi.org/10.9734/bpi/nfpr/v1/7593F>.
4. Sokol G. I. Features of infrasonic processes in the infrasonic frequency range. Dnepropetrovsk. Promin. 2000. P. 136.
5. Negoda A. A, Soroka S. A. Acoustic channel of cosmic influence on the Earth's biosphere / *Kosmichna nauka i tekhnologiya*. 2001. P. 85-93.
6. Krasovsky V. I. Calms and storms in the upper atmosphere. M.: Nauka. 1971. P. 136.
7. Propagation of Infrasound in the Atmosphere of the Earth / *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series "Rocket and Space Technology"*. Vol. 20, № 4. 2012. P. 36-44.
8. Galyna I. Sokol, Valeria L. Babenko, Vladislav Yu. Kotlov, Lizaveta V. Nikiforova *Infrasound: Multilaval Aspects*. *International Journal of Modern Physics and Application*. February 4. 2016. P. 14-18. ISBN: 2375-3870.
9. Hupe P, Ceranna L, Le Pichon A, Matoza RS, Mialle P. International monitoring system infrasound data products for atmospheric studies and civilian applications. *Earth System Science Data Discussions*. 2022. P. 1-40.
10. Hedlin M. A, Walker K, Drob D. P, de Groot-Hedlin CD. *Infrasound: Connecting the solid earth, oceans, and atmosphere*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2012. P. 40.

## **КЕРУВАННЯ ВЕКТОРОМ ТЯГИ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ДВИГУНА ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНИХ РАКЕТ**

*Микола Олександрович Бондаренко*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Володимир Олексійович Габрінець*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6115-7162>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

У сучасних військових конфліктах роль оперативно-тактичних ракет значно зросла, оскільки вони є ефективним засобом доставки ударних засобів на великі відстані. Проте, для успішного виконання завдань необхідно забезпечити ефективне функціонування систем керування цих ракет, а також захистити їх від систем протиповітряної оборони (ППО) противника. Серед різноманітних заходів, що застосовуються для протидії системам ППО противника, важливе місце займає керування вектором тяги ракетного двигуна на твердому паливі (РДТТ). Цей метод дозволяє змінювати напрямок руху ракети та збільшувати її маневреність, що робить її менш уразливою для протиракетних систем. У даній статті розглянуто основні принципи керування вектором тяги твердопаливного двигуна оперативно-тактичних ракет та їх використання для протидії системам противника. Також проаналізовані можливості та обмеження застосування цього методу в різних умовах ведення бойових дій [1].

Так як для успішного виконання бойових завдань необхідно забезпечити ефективне функціонування систем керування оперативно-тактичними ракетами, а також забезпечити їх захист від систем ППО противника. Задача цього дослідження включає в себе декілька етапів, зокрема: огляд існуючих засобів доставки бойової частини у сучасній Україні, розгляд основних принципів керування вектором тяги РДТТ оперативно-тактичних ракет та їх використання для протидії системам ППО, що дозволить розробити рекомендації для покращення їх функціональності та надійності у воєнних конфліктах. В сучасній Україні найбільш далекобійною оперативно-тактичною ракетою на озброєнні є ракета "Вільха-М", яка має дальність близько 130 км. Ракета "Вільха-М" була розроблена в Україні в 2010-х роках. Офіційно вона була презентована в 2018 році на виставці зброї та безпеки "Weapon Show", і призначена для ураження наземних цілей, таких як військова техніка, військові склади, командні пункти, аеродроми та інші доцільні об'єкти. Надалі розглянемо ефективність систем ППО.

Ефективність систем ППО залежить від багатьох факторів, таких як технічні характеристики системи, тактики її використання, маневреність цілі та інші фактори. З одного боку, системи ППО можуть бути дуже ефективними в захисті від ворожих ракет і літаків, якщо вони мають потрібні технічні характеристики і використовуються правильно. Наприклад, система "Залізний купол" в Ізраїлі заявляє про ефективність понад 90% від ракет, що вилітають з сектора Газа. Під час конфлікту в Сирії з 2011 по 2021 роки Росія заявляла про відсоток збиття крилатих ракет та безпілотників системою ППО "Панцир-С1" на рівні 80-90%. У ході військових дій під час Карабаського конфлікту в 2020 році, Вірменія заявляла про відсоток збиття безпілотних літальних апаратів Азербайджану системою ППО "Тор" на рівні 80%. З іншого боку, існують приклади, коли системи ППО не змогли дати достатнього захисту. Наприклад, у Перській війні в 1991 році, система ППО Patriot в США заявляла про ефективність понад 80% від ракет "Скад", але пізніше виявилось, що ці дані були перебільшені. Хоча ефективність систем ППО залежить від багатьох факторів і може варіюватись в широких межах в різних ситуаціях, вона залишається на високому рівні. Виходячи з цього, імплементація систем протидії ППО являється невід'ємною частиною при розробці сучасних оперативно-тактичних ракетних комплексів, а керування вектором тяги є важливим аспектом контролю за польотом твердопаливних ракет в бойових умовах [2].

Перед тим, як розглядати методи керування вектором тяги, слід зазначити, що РДТТ є одним з основних типів двигунів, що використовуються в ракетних системах. Оперативно-тактичні ракети, такі як балістичні ракети, керовані ракети та крилаті ракети, використовують твердопаливні двигуни для забезпечення великої швидкості та маневреності. Твердопаливний двигун є тим типом двигуна, який обмежений у зміні потужності своєї тяги під час роботи. Це означає, що твердопаливний двигун має постійну тягу, яка залежить від конструкції двигуна та використовуваного палива. Тому, для забезпечення маневреності та зміни напрямку польоту, твердопаливні двигуни оперативно-тактичних ракет використовують спеціальні методи керування вектором тяги [3].

Керування вектором тяги твердопаливного ракетного двигуна може бути здійснено за допомогою певного пристрою, що являється складовою частиною сопла. Пристрій здатний відхилити газовий потік двигуна, створюючи бічну керуючу силу. Однак, такий потік має високу температуру 3300-3700 К, та ерозійно-тепловий вплив, що може пошкодити елементи сопла. Одним з прикладів керування вектором тяги є поворотне керуюче сопло (ПКС). Перше використання

ПКС було втілено у чотирьох сопловому двигуні 15Д15. Сопло мало змогу відклонятись тільки в одній площині на кут  $\pm 7^\circ$ . Одночасний поворот двох сопел в одну сторону створював бічну керуючу силу (в площині тангажу або рискання), що дорівнювала близько 6% загальної тяги двигуна. Для управління в каналі крену, сопла, розташовані в одній площині, відхилялися в протилежні напрямки. Також після переходу до односоплового блоку були розробки центрального ПКС у карданній підвісці та сферичній опорі ковзання. В середині 1960-х років був розроблений новий тип підвіски ПУС, який виконує роль ущільнення - еластичний опірний шарнір (ЕОШ). Він був простим у конструкції і зручним у монтажі, тому здобув велику популярність серед розробників РДТТ. Однак його застосування у вітчизняних проєктах було обмежене відсутністю низькомодульної гуми. В кінці 70-х років стали розробляти нові рецептури низькомодульних резин на основі синтетичного ізопренового каучука. Це знову викликало зацікавленість розробників ПУС до цього конструкторського рішення. Також, при постановці технічного завдання бувають випадки обмежених габаритних умов. Тоді можливим залишається використання органу керування лише на базі стаціонарного сопла [4].

На той час в конструкторському бюро "Південне" були проведені проєктні роботи та експериментальні дослідження з управлінням вектором тяги за допомогою безгазового вдуву гарячого камерного газу в закритичну частину сопла. Аналогічною за фізичним принципом системою в той же час займався Московський інститут теплотехніки, але в його маршеві РДТТ вдувався не камерний газ, а більш холодні та не містять твердих частинок продукти згорання палива. Це полегшувало вирішення головної задачі системи вдуву - забезпечення роботоздатності клапанів, що регулюють витрату вдуваного газу і відповідно значення бічної керуючої сили, проте суттєво знижувало ефективність системи через меншу за порівнянням з основним потоком температуру вдуваного газу. Найтермостійкіші конструкційні матеріали на основі вольфраму, з яких можна виготовити силові деталі клапана, працюють в цих умовах на межі своїх можливостей (температура плавлення вольфраму - 3653 К).

Крім того, продукти згорання твердого палива в пограничному шарі перед входом в зону клапана насичуються твердими частинками, що переносяться з внутрішніх теплоізоляційних покриттів двигуна. Ці частинки містять вуглець, який, увійшовши в хімічну взаємодію з вольфрамом деталей клапана, утворює евтектичні сполуки, температура плавлення яких значно нижче температури плавлення чистого вольфраму. Але найголовнішою перешкодою, яку потрібно було подолати, були високі термічні напруження в матеріалі деталей клапана

в початковий момент роботи двигуна, коли при запуску двигуна на холодний клапан обрушуються потужні теплові потоки від продуктів згорання палива. Тож розроблена КБ Південне система вдуву містить вісім клапанів, розташування яких забезпечує керування вектором тяги по всіх каналах стабілізації (тангаж, крен, рискання). У каналах тангажа та рискання система забезпечує бічну керуючу силу до 6% загальної тяги двигуна. До сьогоднішнього дня система керування вектором тяги маршових РДГТ за допомогою безгазохідної подачі гарячого камерного газу в закритичну частину сопла є унікальною і не має аналогів у світовій практиці. Отже, як приклад, колективом КБ-5 ДП "КБ "Південне" з 1970-х років були створені кілька типів поворотних керуючих сопел та унікальна газодинамічна система керування вектором тяги [5].

Далі наведені методи керування вектором тяги ОТР та аналіз можливостей і обмежень застосування цих методів. Газові рулі - це метод управління вектором тяги балістичної ракети шляхом зміни напрямку та швидкості виходу газів з окремих сопел двигуна. Для управління напрямком польоту ракети використовується система газових рулів, які розташовані на корпусі ракети навколо її продовгуватої осі. Кожен газовий руль має свій власний двигун та сопло, яке може змінювати напрямок викиду газу. При роботі газових рулів, гарячі гази, що виходять з сопла, створюють момент сили, який змінює напрямок тяги двигуна і повертає ракету в потрібному напрямку. Розташування та кількість газових рулів залежить від конкретної конструкції ракети та її цільової місії.

Газові рулі використовуються в балістичних ракетах, таких як міжконтинентальні балістичні ракети (МБР), для управління їх польотом в атмосфері. Вони дозволяють коригувати траєкторію польоту ракети в режимі реального часу, що забезпечує високу точність попадання по цілі. В цілому, газові рулі є ефективним та надійним методом управління вектором тяги балістичної ракети, який дозволяє здійснювати точне управління польотом ракети в умовах різних атмосферних умов та вимог місії.

Поворотні камери згорання - це технологія, яка дозволяє змінювати напрямок тяги реактивного двигуна, змінюючи кут нахилу камери згорання. Це дає змогу керувати напрямком руху літака або ракети без необхідності використання поворотних керуючих поверхонь. У поворотній камері згорання є дві стійки, які підтримують камеру згорання та дозволяють їй обертатись. Внутрішня поверхня камери згорання покрита вогнетривким матеріалом, який забезпечує захист від високих температур та хімічних реакцій. Коли паливо викидається з камери згорання, обертання камери змінює напрямок викиду

газів та тим самим змінює напрямок тяги реактивного двигуна. Кут нахилу камери згорання може бути змінений за допомогою гідравлічних або електричних приводів, що дозволяє керувати рухом літака або ракети. Однією з переваг поворотних камер згорання є їх гнучкість та можливість застосування в різних умовах. Наприклад, вони можуть бути використані для керування космічними кораблями в атмосфері та в космосі, де інші методи керування можуть бути неефективними. Однак поворотні камери згорання мають і деякі недоліки. Один з них полягає у складності конструкції, що може призвести до збільшення ваги та складності ремонту. Крім того, зміна кута нахилу камери згорання може призвести до збільшення витрат палива та зменшення ефективності двигуна.

Одним з найпоширеніших методів керування вектором тяги твердопаливного двигуна є гімбалізація. Гімбалізація полягає у використанні спеціальної системи гімбалів, що забезпечує можливість повороту двигуна в різних напрямках. Зміна напрямку гімбалізованого двигуна дозволяє змінити вектор тяги та напрямок польоту ракети. Жорстке керування є одним з найбільш простих методів керування вектором тяги твердопаливного двигуна. Цей метод полягає у використанні механічної системи, що забезпечує можливість повороту твердопаливного двигуна в різних напрямках без використання гімбалізації.

Проте цей метод не є таким точним, як гімбалізація [6]. У підсумку, методи керування вектором тяги мають свої можливості і обмеження в різних умовах бойових дій. На практиці їх ефективність залежить від конкретного сценарію та умов, в яких ведуться бойові дії. Деякі загальні аспекти, які можна врахувати при аналізі можливостей та обмежень методів керування вектором тяги, наведені у переліку.

Атмосферні умови. Використання газових рулів та поворотних камер згорання може бути найбільш ефективним в атмосферних умовах, де гази можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем для зміни напрямку та керування ракетою. В космічному просторі, де немає атмосфери, методи керування вектором тяги можуть бути менш ефективними, і можуть бути необхідні інші методи керування, наприклад, використання струменевих рулів або супутникової навігації.

Види платформ. Різні платформи, такі як повітряні, морські або наземні, можуть мати власні обмеження та вимоги до методів керування вектором тяги. Наприклад, у повітряних або морських платформ можуть бути обмеження щодо розміру та ваги систем керування, а також можуть бути необхідні додаткові заходи для забезпечення стійкості та контролю.

Противник та протиракетні системи. Ефективність методів



керування вектором тяги може бути обмежена протиракетними системами та противником. Противник може мати високоточні ракети перехоплення або системи раннього виявлення та слідкування, що ускладнюють використання методів керування вектором тяги для уникнення протиракетних систем. Протиракетні системи можуть виявляти та відстежувати ракету, і у випадку використання методів керування вектором тяги, вони можуть намагатись прогнозувати траєкторію та взаємодіяти зі зміною напрямку тяги ракети. Це може призвести до зниження ефективності керування та збільшення ймовірності перехоплення.

Загальна комплексність та вартість. Деякі методи керування вектором тяги можуть бути технологічно складними, вимагати складної інтеграції з системами навігації та керування, а також високої вартості розробки, виробництва та підтримки. При виборі методу керування потрібно враховувати загальну комплексність та вартість впровадження розробки [7]. Враховуючи ці можливості та обмеження, вибір методу керування вектором тяги залежить від конкретних вимог місії, типу ракети або платформи, умов довкілля та інших факторів. Оптимальний підхід полягає в тому, щоб збалансувати переваги та недоліки різних методів та використовувати їх в комбінації, щоб досягти найкращої ефективності та надійності.

## ПОСИЛАННЯ

1. Габрінець В. О., Горбенко Г. О., Гумницький В. П. Основи теорії та проектування РДТП. Підручник, Дн-ськ, Арт-Пресс, 2005, 198 с.
2. ГП «Государственное Киевское конструкторское бюро «Луч», Каталог продукции, 2021, 44 с.
3. Шапошник В. І., Качер В. О., & Курдюков О. Ю. (2016). Аналіз методів керування вектором тяги при створенні зразків твердопаливних ракет. Науково-технічний журнал "Вісник Військової академії України", 1 (45), 148-155.
4. Liu, X., & Luo, Z. (2019). Control of solid rocket motors. *Progress in Aerospace Sciences*, 74, 28-55 с.
5. Н. С. Голубенко, Б. И. Кушнир, В. А. Зензеров. Опыт отработки органов управления вектором тяги РДТТ, Космическая техника. Ракетное вооружение. 2016. Вып. 1 (111), 13-18 с.
6. Chen, C. F., & Lin, Y. F. (2018). A review of missile attitude control systems. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 34(3), 676-687 с.
7. Miller, D. W., & Volden, J. (2019). The Art of Missile Guidance. *American Scientist*, 102(6), 416-423 с.

## **ПРЕСУВАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА МЕТОДОМ ПРОТЯГУВАННЯ КАНАЛОУТВОРЮЮЧОГО СТЕРЖНЯ**

*Артем Сергійович Швець*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олексій Володимирович Кулик*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

В сучасному світі розвиток космічних технологій та ракетобудування знаходиться на високому рівні. У пошуках більш ефективних рішень для підвищення потужності та продуктивності ракетних двигунів, велику увагу приділяють оптимізації технологічного процесу запресування твердого палива.

Запресування твердого палива є критичним етапом виробництва ракетних двигунів, оскільки саме від якості цього процесу залежить ефективність і безпека польотів. При запресуванні твердого палива досягається створення стійкого заряду, який забезпечує потрібну потужність для запуску ракети в космос. Оптимізація цього процесу має на меті збільшення ефективності використання палива, зниження втрат під час запресування та підвищення безпеки роботи.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Метою даної теми є дослідження та розробка оптимальних стратегій та методів для оптимізації технологічного процесу запресування твердого палива в ракетних двигунах. Основними цілями є:

1. Підвищення ефективності: Розвиток і впровадження нових технологій, матеріалів та методик для забезпечення більш ефективного використання твердого палива в ракетних двигунах. Це включає зменшення втрат під час запресування, підвищення щільності палива та підвищення його потужності.

2. Покращення якості: Розробка і вдосконалення методів контролю якості запресованого палива, забезпечення однорідності та стійкості характеристик заряду.

Це сприятиме досягненню більш точних та передбачуваних результатів при використанні ракетних двигунів. В результаті успішної оптимізації технологічного процесу запресування твердого палива,

очікується покращення продуктивності та надійності ракетних двигунів, зниження витрат і підвищення безпеки експлуатації.

3. Розробка технологічного процесу пресування твердого палива для двигунів суборбітальних ракет: Після проведеного аналізу розробити технологічний процес в умовах не серійного виробництва.

### **ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СПОРЯДЖЕННЯ РАКЕТНОГО ДВИГУНА СУБОРБІТАЛЬНОЇ РАКЕТИ**

На базі проекту «Студентська ракета» був побудований комплекс для втілення технологічного процесу пресування твердого палива в життя. Основна ідея методу полягає в тому, що каналоутворюючий стержень протягується за допомогою гідравлічного пресу через корпус двигуна, в якому заздалегідь закладене сумішеве поливо необхідного об'єму.

Композитний корпус баку ракетного двигуна є одним з ключових елементів сучасних ракетно-космічних систем. Використання композитних матеріалів дозволяє забезпечити вагову ефективність, міцність та стійкість до навколишнього середовища. Композити складаються з полімерних матриць, що армовані волокнами, такими як вуглецеві, скляні або арамідні волокна. Ця комбінація надає корпусу баку високу міцність при мінімальній вазі. Окрім того, композитні матеріали є незапальними та стійкими до корозії, що робить їх ідеальними для застосування в космічних умовах. Вони також мають відмінну термічну стійкість, що дозволяє корпусу баку витримувати високі температури, що виникають під час роботи ракетного двигуна.

Загалом, використання композитного корпусу баку дозволяє збільшити продуктивність та надійність ракетно-космічних систем, забезпечуючи оптимальне співвідношення міцності, ваги та стійкості до екстремальних умов. [1]

Каналоутворюючий стержень десяти пелюсткової форми (рисунок 1) який використовується в цьому технологічному процесі підібраний за такими вимогами:

**Простота виготовлення:** Стержень може бути виготовлений за допомогою спеціального обладнання, але його виготовлення вимагає менше складних процесів порівняно з іншими методами пресування палива.

**Висока механічна міцність:** стійкий до механічних навантажень та може витримувати великі тискові навантаження під час процесу пресування.

**Оптимальна форма:** Стержень має форму, що максимально підходить для забезпечення ефективного горіння. Він забезпечує

рівномірний розподіл тиску під час пресування, що сприяє однорідному горінню палива.



Рисунок 1 - Каналоутворюючий стержень десяти пелюсткової форми

Процес спорядження відбувається на гідравлічному стенді (рисунок 2). В підготовлений корпус двигуна, в якому міститься розрахована кількість сумішевого палива та встановлена задня заглушка кріпиться на раму стенду. Каналоутворюючий стержень з закріпленою на ньому передньою заглушкою проходить через паливо та формує профіль горіння. В такому стані відбувається фіксація заглушки та каналоутворюючого стержня до повної полімеризації палива.



Рисунок 2 – Гідравлічний прес

### **МЕТОДИ КОНТРОЮ**

Оскільки для даного проекту поки що не доступні складні методи контролю якості твердопаливних двигунів, такі як: рентгенівський та ультразвуковий контролю, використовуються наступні:

Візуальний контроль: Один з найпростіших і перших методів

контролю полягає в візуальному огляді пресованого твердого палива на наявність видимих дефектів, тріщин, включень або неоднорідностей. Це може бути зроблено візуальним оглядом або за допомогою оптичних пристроїв. [2]

Випробування на міцність: Випробування на міцність проводяться для визначення механічних властивостей пресованого палива, таких як міцність на стиснення, міцність на згин тощо. Це дозволяє переконатися, що тверде паливо здатне витримувати необхідні навантаження та умови експлуатації. [2]

## ВИСНОВКИ

В даній роботі проаналізовано існуючі методи пресування твердого палива та розроблено власну технологію пресування твердого палива для двигунів суборбітальних ракет. Цей метод дозволяє заздалегідь розраховувати необхідну кількість твердого палива, яку необхідно вкласти в двигун, щоб отримати необхідну щільність та пористість, що забезпечує надійність та працездатність ракети.

Цей метод спорядження значно спрощує технологічний процес виготовлення твердопаливних двигунів. При використанні цього методу відпадає необхідність розбірних оправок, які в своїй конструкції мають фланці для кріплення днищ. За рахунок суцільного корпусу вдалось досягти спрощення виготовлення корпусу двигуна та зменшити його масу.

## ПОСИЛАННЯ

1. Чернобрыўко М. В., Аврамов К. В., П. Г. Дегтяренко. Динамика композитного корпусу твердопаливного двигателя ракеты под действием импульсных нагрузок, описывающих рабочие процессы в двигателе. *Space science and technology, Космічна наука і технологія*. 2017.

2. Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів : підручник / Ю. С. Алексєєв та ін. Дніпропетровськ : АРТ-ПРЕС, 2007. 480 с.

## **ВИКОРИСТАННЯ ВІДОМИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ БАЗ (ДЖЕРЕЛ) ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВІДВЕДЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З НИЗЬКИХ НАВКОЛОЗЕМНИХ ОРБІТ**

*Анатолій Олександрович Абатуров*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Микола Михайлович Дронь*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9275-4296>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Владислав Аркадійович Пророка*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Інтенсивний розвиток космічної діяльності призвів до зростання кількості космічного сміття в навколоземному просторі. Запуск та експлуатація космічних апаратів (КА) таких як супутники, ракети-носії (РН) та космічні станції, супроводжується високою ймовірністю виникнення різноманітних залишкових матеріалів і відходів таких як малі фрагменти та уламки, що виникли в результаті руйнування РН чи КА [1], що залишаються на орбіті та перетворюються на об'єкти космічного сміття (КС). Накопичення таких об'єктів загрожує безпеці космічних місій і може мати довгострокові негативні наслідки для майбутніх космічних місій та супутникової інфраструктури Землі.

Зі збільшенням кількості космічних апаратів і КС виникає необхідність у розробленні ефективних і надійних методів відведення, щоб запобігти можливим зіткненням і зберегти космічне середовище. Вже відомо, що одним з найбільш популярних шляхів видалення КС з низьких навколоземних орбіт (ННО) є його зниження з подальшим згорянням у атмосфері Землі [2]. Однак визначення найперспективніших тенденцій у розвитку цих методів і технічних пристроїв є складним завданням, що вимагає глибокого аналізу та вивчення наявних інформаційних джерел.

Метою цієї роботи є огляд інформаційних баз та виявлення тенденцій розвитку методів та технічних засобів відведення космічних об'єктів (КО) з низьких навколоземних орбіт (ННО).

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Системи відведення космічних об'єктів активно розвиваються. Наразі вже запропоновано і розроблено значну кількість технічних засобів, заснованих на різних методах відведення, таких як активний і пасивний. Однак, з урахуванням динамічного розвитку космічної індустрії та збільшення кількості космічного сміття, необхідно продовжувати дослідження в цій галузі для поліпшення наявних систем і розроблення нових ефективних технологій.

Основною задачею цього дослідження є здійснення пошуку та аналізу інформаційних джерел, включно з патентними базами даних і науковими публікаціями, з метою виявлення поточних тенденцій і прогнозування розвитку методів і технічних засобів відведення космічних об'єктів з низьких навколосемних орбіт.

## МЕТОДИ ВІДВЕДЕННЯ

Існують три основних методи відведення об'єктів КС з ННО, а саме: активний метод, пасивний метод, комбінований метод. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки.

Активний метод відведення включає використання керованих засобів, таких як ракети або електродвигуни, для зміни орбіти космічного об'єкта. Переваги активного методу включають:

- Високу точність і контрольованість. Активні системи можуть надати точне управління над рухом об'єкта і дозволити досягти необхідної орбіти.

- Швидке реагування. Активні системи можуть швидко реагувати на зміни в орбітальній ситуації і вживати заходів щодо відведення об'єкта.

Однак активний метод має і недоліки:

- Потрібне паливо. Для роботи активних систем потрібен запас палива, який може бути обмежений. Під час тривалої експлуатації обмежений запас палива може стати проблемою.

- Дорога інфраструктура. Підтримка активних систем вимагає наявності складної інфраструктури, такої як ракетні заправні станції та системи спостереження.

Пасивний метод відведення заснований на використанні природних чинників, таких як аеродинамічний опір атмосфери, гравітаційні сили і сонячне випромінювання, для зміни орбіти космічного об'єкта. Переваги пасивного методу включають:

- Безпека і низька вартість. Пасивні методи не вимагають додаткових керованих засобів або палива, що дає змогу знизити витрати на

відведення об'єкта.

– Стійкість. Пасивні методи зазвичай продовжують діяти незалежно від наявності енергії або подальшої підтримки.

Однак пасивний метод також має недоліки:

– Обмежена точність і передбачуваність. Природні фактори можуть бути складними для точного прогнозування і контролю, що може ускладнити досягнення необхідної орбіти.

– Більш тривалий час відведення. Пасивні методи зазвичай вимагають більшого часу для зміни орбіти порівняно з активними методами.

Технічні засоби, що реалізують пасивний метод відведення активно досліджуються [3-6], розробляються нові варіанти.

Комбінований метод поєднує в собі елементи активних і пасивних методів для досягнення оптимальних результатів. Наприклад, можна використовувати активні засоби для швидкої зміни орбіти і пасивні засоби для подальшої підтримки нової орбіти. Комбінований метод дає змогу поєднати переваги обох методів і знизити недоліки кожного з них [2].

### **ІНФОРМАЦІЙНІ БАЗИ (ДЖЕРЕЛА)**

Патентне дослідження в галузі відведення космічних об'єктів є вкрай важливим та спрямоване на виявлення та аналіз інноваційних розробок, методів і технічних пристроїв, зареєстрованих у патентних базах даних. Оскільки відомо, що зростання кількості отриманих патентів у галузі, є ознакою прискорення реалізації, патентний аналіз дозволяє визначити актуальність подальших досліджень цієї теми.

Однак слід зауважити, що патенти не є вичерпним і повним джерелом інформації. Інформація в патентних документах може бути обмежена і не завжди відображає актуальний стан наукових досліджень і розробок. Тому під час патентного дослідження необхідно враховувати та доповнювати отримані дані за допомогою інших інформаційних джерел, таких як наукові публікації та технічні звіти.

Перед початком патентного пошуку було визначено ключові терміни для формулювання пошукових запитів. Список основних термінів наведено у таблиці 1.

Було встановлено, що у патентних документах використовуються формулювання “пристрої” та “способи”, у той час як у наукових публікаціях вживається термінологія “методи” та “технічні засоби”. Також було визначено, що в англійській патентній документації вживаються терміни “methods” і “devices”.



Таблиця 1 – Ключові терміни пошукових запитів

Український термін	Англійський термін
Низька навколосемна орбіта	Low Earth Orbit, LEO
Космічне сміття	Space debris, Orbital debris
Маневрування на орбіті	Orbit maneuvering
Усунення космічного сміття	Space debris removal
Відведення з орбіти	Deorbiting
Відведення космічних об'єктів	Space debris mitigation
Метод видалення космічного сміття	Space debris removing method

При виконанні патентного пошуку було застосовано як національні патентні бази даних окремих країн, зокрема України – Спеціалізована БД "Винаходи (корисні моделі) в Україні" [7] та США – United States Patent and Trademark Office (USPTO) [8], так і міжнародні патентні бази даних такі як Espacenet [9] та WIPO Patentscope [10].

Патентний пошук було проведено за період з 2002 по кінець 2022 року. Встановлено, що за цей період було отримано 102 патентних документи. Також визначено, що кількість отриманих патентів за останні 10 років значно зросла у порівнянні з попереднім періодом. Так за період з 2002 по 2012 рік було отримано 34 патенти, а за період з 2012 по 2022 рік – 68 патентів.

## ВИСНОВКИ

1. Визначено ключові терміни, що використовуються в патентному пошуку в галузі відведення об'єктів космічного сміття. Акцентовано увагу на відмінності термінології у патентних документах та науковій літературі.

2. Виявлено 102 патенти, пов'язаних з відведенням космічних об'єктів з низьких навколосемних орбіт, за період з 2002 по 2022 роки. Підкреслено, що за останні 10 років отримано в два рази більше патентних документів ніж за попередні. Це свідчить про активність у розробці нових методів та технічних засобів для боротьби з космічним сміттям.

3. Встановлено, що найбільш поширеними для досліджень і розробки є технічні засоби які реалізують пасивний метод відведення.

З огляду на вищезазначене, можна зробити висновок про наявність значного потенціалу для подальшого розвитку і вдосконалення систем відведення космічних об'єктів з використанням пасивних методів. Результати патентного пошуку свідчать про інтерес до цього напрямку досліджень та можливості реалізації новаторських рішень.

Це відкриває перспективи для подальшої оптимізації процесів відведення космічних об'єктів, забезпечення більшої ефективності та зниження ризиків для космічних місій.

## ПОСИЛАННЯ

1. Дронь Н. М. Пути уменьшения техногенного засорения околоземного космического пространства / Н. М. Дронь, П. Г. Хорольский, Л. Г. Дубовик // Науковий вісник Національного гірничого університету. - 2014. - № 3. - С. 125-129.

2. Голубек А. В. Оптимизация энергетических затрат при комбинированном уводе объектов космического мусора с низких околоземных орбит / А. В. Голубек, Н. М. Дронь, Л. Г. Дубовик, Н. В. Поляков // Авиационно-космическая техника и технология. - 2018. - № 7. - С. 5–11.

3. Аэродинамические системы увода космических объектов / А. П. Алпатов, А. С. Палий, А. Д. Скорик // Техническая механика. - 2015. - № 4. - С. 126-138

4. InflateSail de-orbit flight demonstration results and follow-on drag-sail applications. Underwood, Craig, et al. s.l.: Acta Astronautica, 2019, Vols. 162, pages 344-358.

5. Accurate aerodynamic model of membranes in free-molecular flow for deorbit device design / F. Nobuhiro et al. Transactions of the japan society for aeronautical and space sciences, aerospace technology japan. 2019. Vol. 17, no. 2. P. 189–196.

6. Алпатов А. П. Розробка конструктивної схеми та вибір проектних параметрів аеродинамічної системи відведення з орбіти розгінних ступенів ракет-носіїв / А. П. Алпатов, О. С. Палій, О. Д. Скорік // Наука та інновації. - 2017. - Т. 13, № 4. - С. 33-45.

7. Укрпатент. Укрпатент. URL: <https://ukrpatent.org/uk> (дата звернення: 18.03.2023).

8. United states patent and trademark office. United States Patent and Trademark Office. URL: <https://www.uspto.gov/> (date of access: 21.03.2023).

9. Espacenet net patent search. Espacenet net patent search. URL: <https://worldwide.espacenet.com/> (date of access: 20.03.2023).

10. Patentscope. WIPO - World Intellectual Property Organization. URL: <https://www.wipo.int/patentscope> (date of access: 22.03.2023).

## ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ-КОНСТРУКТОРІВ

*Анжеліка Володимирівна Давидова*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Владислав Юрійович Левченко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5359-5422>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Сергій Валерійович Араkelов*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2362-3386>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Для сучасних потреб суспільства підготовка фахівців в різних галузях потребує не лише нашарування теоретичних знань, але й забезпечення відповідного рівня набутих під час освіти різноманітних компетентностей. Саме набуття необхідних спеціалізованих навичок стає необхідним доповненням, додатковим до традиційної вищої освіти. Особливо це важливо і необхідно для галузей, пов'язаних з технічними спеціальностями. Одним з інструментів вдосконалення, аналізу та покращення навичок є вільне володіння основними принципами адитивних технологій різного типу. Такі технології дуже необхідні майбутнім проектантам, конструкторам, технологам, двигунобудівникам, тобто студентам, які навчаються за освітніми програмами авіаційна та ракетно-космічна техніка, ракетні двигуни, ракетно-космічні комплекси, технологія виробництво літальних апаратів та споріднених з ними.

Контрольні заходи, які проводяться у вищих навчальних закладах і визначають рівень набутих студентами знань, умінь та навичок, відповідають вимогам нормативних документів щодо вищої освіти і забезпечують своєчасне коригування навчального процесу. Підсумковий модуль-контроль забезпечує оцінку результатів навчання студентів певного освітньо-кваліфікаційного рівня на проміжних або заключному етапах їх навчання.

Зазвичай, елементом підсумкового контролю знань студента, який вивчає дисципліни «Конструювання ЛА» та «Проектування ЛА», є написання розрахунково-графічної роботи, яка систематизує знання та навички студента, отримані під час навчального процесу. Розрахунково-графічні роботи передбачають розв'язання конкретної практичної навчальної задачі з використанням уже відомого та/або

самостійно вивченого теоретичного матеріалу, вмінням вільного володіння навичок для створення тривимірних віртуальних об'єктів, відтворюючи їх досконалу візуалізацію.

Для виконання такого роду робіт студент повинен засвоїти основні принципи графічних редакторів, пов'язаних з CAD-системами різного рівня складності, нормативними вимогами Єдиної Системи Конструкторської Документації, а також мати змогу отримати різноманітні практичні навички, які стануть у нагоді при самостійному вирішенні задач різного типу складності, побудові 2-D або 3-D моделей, вміннями та компетенціями при роботі із різними типами техніки, такими як, наприклад, 3-D принтер, або станок з ЧПУ, створенні та оформленні конструкторської документації. Отримані способи використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення, різні форми і засоби візуалізації об'єктів, будуть корисними як піз час навчання так і в подальшій професійній діяльності. Майбутній фахівець, який вільно володіє сучасними методами проектування, конструювання, знайомий з типами виробництва РКЛА, з технологічними процесами виготовлення типових деталей, технологічними пристроями, сучасними матеріалами буде конкурентно-спроможним на ринку праці та здатним для автономної роботи з підвищення власної професійної кваліфікації і вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.

Результатом виконаної роботи є графічне зображення певного елемента конструкції за розрахованими заздалегідь параметрами. Для майбутніх конструкторів та проєктантів можливість візуалізації отриманих результатів своєї діяльності не тільки на папері, але й у житті, є надзвичайно потужним стимулом до подальшого продовження науково-пошукових робіт.

Для подальшого розвитку цього напрямку використовуються нові підходи – від вдосконалення комп'ютерної техніки до використання нового софту, сучасних систем захисту інформації, які втілюють новітні крипто-паролі та крипто-ключі, а також інші сучасні засоби створення суттєво іншого інноваційного технологічного продукту. Тому вдосконалення існуючих систем графічного, технологічного, розрахункового та інших інженерних напрямків відповідають викликам сучасної науки та потребують подальшого розвитку.

Саме тому, використовуючи різні типи методик адитивних технологій було б досить ефективним кроком використання практичної бази для студентів, де вони зможуть в повному обсязі відтворювати елементи конструкцій та стиків, які вони самі спроектували та розраховували. Це дасть змогу у повному обсязі дослідити конструктивні особливості деяких стиків, агрегатів або елементів конструкцій,

сприятиме розвитку уявлення та мислення, дасть змогу на практиці побачити результат розумової діяльності студента.

Сучасний підхід до процесів проектування та конструювання спонукає майбутніх фахівців використовувати найбільш відомі і достатньо прості у використанні системи автоматичного проектування, що надасть можливість для підвищення ефективності роботи відповідно до вимог галузевих нормативних документів щодо процедур проектування, виробництва, випробування та сертифікації елементів та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки на всіх етапах їх життєвого циклу.

Ці тенденції тісно пов'язані з проблемами створення відповідних навчальних курсів для фахівців інженерної галузі. Подальше дослідження має на меті ретельний аналіз найбільш суттєвих труднощів, що виникають у студентів при оволодінні сучасними методами автоматизованого проектування, причин їх виникнення (об'єктивного і суб'єктивного характеру) та шляхів їх подолання. Результати роботи можуть бути корисними для фахівців, що займаються викладанням відповідних освітніх компонент у закладах вищої освіти.

## Посилання

1. Давидов С. О., Давидова А. В., Шевцов В. Ю. Наукові направлення кафедри проектування та конструкцій. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. 2019. Т. XXVI. С. 39–42.
2. Сучасні автоматизовані системи для створення виробів нової техніки : навч. посіб. / Ю. В. Ткачов та ін. Дніпро : РВВ ДНУ, 2020. 141 с.
3. Сюркало Б. І., Садикова Я. М. Застосування адитивних технологій в освітній діяльності. *Економіка. Фінанси. Право*. 2017. № 12. С. 56.
4. Положення про організацію навчального процесу в НТУУ “КПІ” / ред. Ю. І. Якименко ; уклад.: Г. Б. Варламов та ін. Київ : ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2004. 72 с.
5. Воденніков С. А., Кісельов Є. М. Положення про розрахунково-графічні роботи у Запорізькій державній інженерній академії. Запоріжжя, 2018. 10 с.

## ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГЕОМЕТРИЧНИХ, ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І РЕОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

*Денис Русланович Козельський*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7950-0492>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Анна Романівна Козельська*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5789-0195>

Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро

*Василь Юхимович Шевцов*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3617-940X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

В існуючих на сьогодні теоретичних моделях і в інженерних методиках розрахунків конструкцій на міцність значення руйнівних напружень вважається сталою величиною незалежно від геометричних, функціональних та реологічних факторів. Виключенням є лише напруження місцевої чи загальної стійкості, критичне значення яких суттєво залежить від координатних співвідношень розмірів конструкції, що працює на стійкість.

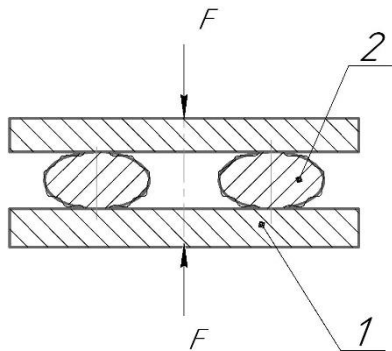


Рисунок 1

При проведенні експериментів на герметичність фланцевих з'єднань із ущільнюючими прокладками з "м'якого" алюмінію був зафіксований ефект зростання значень напружень текучості при наближенні товщини прокладок до розміру їх кристалічних зерен. Профіль течії матеріалу прокладки 2 (рис. 1) під дією  $F$  на фланці 1 був

подібним до профілю течії рідини, але на ньому можна було побачити в мініатюрі поверхню, що нагадувала поверхню “еластичного мішка наповненого картоплею”. Подібний профіль поверхні є свідченням течії неоднорідного двофазового середовища, що складається з кристалів і несформованої суміші матеріалу прокладки з різноматеріальними включеннями й різного роду дефектами його суцільності.

В зазначених дослідях використовують прокладки товщиною від 4 мм до 1 мм. При цьому межа текучості змінювалась від приведеної в довідниках до значень, що більше ніж втричі перевищувала початкові значення при зменшенні товщини прокладки до 1 мм, або майже до розмірів кристалічних зерен матеріалу конструкції. Звичайно, на характер течії та на зусилля деформації впливало тертя між прокладкою і фланцями, але, зважаючи на характер геометрії профілю течії та на зростання напружень деформації, необхідно зробити висновок про те, що для конструкцій, розміри яких наближаються до розмірів мікрозерен їх матеріалу, необхідно враховувати зміну механічних властивостей, в тому числі й в розрахунках на міцність.

Найбільш небезпечними факторами для втрати функціональності конструкцій являються непрогнозовані за наслідками зміни фізико-механічних характеристик конструкційних матеріалів. Дані фактори можна розділити на дві групи: на ті, що відбуваються при функціонуванні конструкції в процесі експлуатації під дією зовнішніх і функціональних навантажень, і ті, що є наслідками змін характеристик в часі і які називаються реологічними.

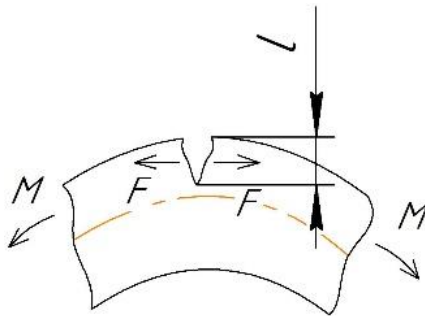


Рисунок 2

Серед факторів першої групи на надійність аерокосмічної техніки найбільше впливають знакозмінні навантаження, що викликають ефект «втомлюваності». Швидке падіння величини тимчасової міцності зі зростанням кількості циклів навантаження обумовлено

появою мікротріщин на поверхні, що розтягується. Якщо не зупинити розростання тріщин, швидкість росту яких пропорційна місцевим моментам на тріщинах, а саме росту плеча  $l$  (рис.2), то це веде до руйнації конструкції в цілому. Для запобігання чи зменшенню впливу тріщиноутворення можна скористатись або покриттям деталі більш пластичним і пружним матеріалом, або заповненням «зародкових» поверхневих тріщин матеріалом із «змочувальним» ефектом. Розростання тріщин також можна зупинити шляхом застосування багатопшарового виконання конструкції, межа між шарами якого буде перепороною для розростання тріщин. При лікуванні тріщин шляхом їх заповнення спорідненим матеріалом, умовою успішного лікування має бути «прибирання» адгезійної плівки з поверхні тріщин, що лікуємо. Найбільш ефективною технологією для того, щоб позбавитись адгезійної плівки, є «лікування» в вакуумованому просторі.

Наступним за важливістю і непрогнозованістю фактором є зміни в структурі конструкційного матеріалу з часом. За кімнатної температури експлуатації в матеріалі конструкції завжди присутня нерівноважна концентрація «дислокацій» і «вакансій», що утворились при високій температурі. Завдяки процесу їх дифузії і «конденсації» спостерігається зміна властивостей конструкцій, що теж може мати негативні наслідки.

## Посилання

1. Линник А. К. Конструювання корпусів рідинно-паливних балістичних ракет: Навчальний посібник – Дніпропетровськ: Видавництво ДНУ, 1994.
2. Ashby, Michael F., Hugh Shercliff, and David Cebon. *Materials: engineering, science, processing and design*. Butterworth-Heinemann, 2018.
3. Міцність ракетних конструкцій: Навч. посібник для машинобудівних спец. вузів // В. І. Мосаковський, А. Г. Макаренков, П. І. Нікітін та ін; За ред. В. І. Мосаковського. - Москва: Вища школа, 1990.



## METHOD OF REGULATING POWER QUALITY INDICATORS

*Anton Panov*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0688-1430>

State Biotechnological University, Kharkiv

### INTRODUCTION

One of the important requirements for electricity supply is ensuring the quality of electricity, which is understood as the degree of compliance of quality indicators with accepted standards. Deviation of voltage and other quality indicators from established norms significantly affects the operation of electrified equipment and electrical networks, which leads to electromagnetic and technological components of economic damage. Also, voltage asymmetry is one of the urgent problems of 0.4 kV three-phase electrical networks. The asymmetry of the voltage is manifested in the inequality between the models of the phase voltage vectors and the shift angles between them.

IEEE Std 1100-2005. IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment [1] (hereinafter IEEE) and DSTU EN 50160:2014 "Characteristics of power supply voltage in electrical networks of general purpose" (hereinafter DSTU) [2] establish indicators and norms of power quality in electrical networks of power supply systems general purpose alternating three-phase and single-phase current with a frequency of 50 Hz at the points to which electric networks owned by different consumers of electric energy or receivers of electric energy (points of general connection) are connected.

The power quality standards established by the standard are electromagnetic compatibility levels for conductive electromagnetic disturbances in general purpose power supply systems. In compliance with established standards of electricity quality, electromagnetic compatibility of electrical networks of energy supply organizations and electrical networks of electricity consumers is ensured.

The standard does not establish requirements for the quality of electricity in special-purpose electrical networks (contact, traction, communication), mobile installations (planes, trains, ships), etc. The standard does not establish power quality standards for regimes caused by force majeure (exceptional weather conditions, natural disasters, etc.).

DSTU EN 50160:2014 is the first standard in the field of electricity quality, which states that the established norms are subject to inclusion in the technical conditions for the connection of consumers and in energy supply contracts.

The standard regulates voltage deviations at the terminals of electrical energy receivers. The normally permissible and maximum permissible values of the established voltage deviation are respectively equal to  $\pm 5$  and  $\pm 10\%$  of the nominal value of the voltage and at the points of common connection of consumers of electric energy must be established in energy supply contracts for the hours of minimum and maximum loads in the power system, taking into account the need to comply with the norms of the standard on conclusions of receivers of electrical energy in accordance with regulatory documents.

Consumers of electrical energy work most efficiently at nominal voltage. However, it is practically impossible to provide nominal voltage to all consumers. Each conductor has a certain resistance, so the passage of electric current through the electrical network is associated with voltage losses. These losses do not remain unchanged, since the network load constantly changes during the day, season, year, etc. [3].

As a result of the load change, the voltage loss in the network also changes, and as a result, the voltage at the terminals of consumers changes [4]. These changes can be fast and short-term (for example, during the start-up of an asynchronous motor with a short-circuited rotor) or slow and long-lasting (with a gradual change in load over the course of a day or year and with smooth voltage regulation) [5].

Voltage asymmetry is one of the indicators by which the quality of electrical energy is assessed in three-phase electrical networks with a voltage of 0.4 - 10 kV in accordance with DSTU EN 50160:2014. According to these standards, the voltage asymmetry coefficient leads to a sharp decrease in the efficiency of three-phase asynchronous motors, despite the fact that most of the industry works only on asynchronous motors. Therefore, voltage asymmetry should be carefully studied and controlled.

In the lighting network, voltage deviations occur:

- change of light intensity;
- shortening the service life of incandescent lamps;
- increase in consumption power.

Relatively small voltage changes have little effect on the luminous flux of the lamp. With large voltage drops, the lamps either do not light up or blink, which sharply shortens their service life.

The lighting of workplaces significantly affects labor productivity. According to available data, a decrease in illumination by 1.5-2 times reduces labor productivity by 1-2%. In addition, illumination has an effect on vision, which deteriorates sharply with reduced illumination. (Considering that the illumination depends on the voltage, it has rather strict requirements, specified above).

If we take into account that when the voltage is reduced by 5%, the

luminous flux of incandescent lamps decreases by 20%, then the systematic reduction of voltage during the hours of maximum loads is accompanied by the replacement of incandescent lamps with more powerful ones. After the normalization of the situation, consumers do not immediately return to the former lamps, which causes increased electricity consumption for a long time. The operation of fluorescent lamps depends less on voltage deviations. Their service life changes by 4% with a voltage deviation equal to 1%.

The most common sources of voltage asymmetry in three-phase power supply systems are those consumers of electricity whose symmetrical multiphase implementation is either impossible or impractical for technical and economic reasons. Such installations include induction and arc electric furnaces, traction loads of railways, made on alternating current, electric welding units, special single-phase loads, lighting installations [6].

Asymmetric voltage regimes in electrical networks also occur in emergency situations - when a phase is broken or asymmetric short circuits [7].

Voltage asymmetry is characterized by the presence in a three-phase electrical network of reverse or zero-sequence voltages, which are significantly smaller in magnitude than the corresponding components of the forward (main) sequence voltage [8].

The asymmetry of the three-phase system of voltages arises as a result of superimposing the reverse sequence voltages on the direct sequence system, which leads to changes in the absolute values of the phase and inter-phase voltages.

## **PURPOSE AND TASKS**

The purpose of the work is to develop a model that regulates the quality of electrical energy, namely such indicators of electricity as the steady voltage deviation and voltage asymmetry coefficients in reverse and zero sequence.

To build a model of regulation of the quality of electrical energy, it is necessary to perform the following tasks: develop a block diagram of the algorithm for regulation of the established voltage deviation; to develop a block diagram of the algorithm for regulating the voltage asymmetry coefficient by reverse and zero sequence in electrical networks.

## **MATERIALS AND METHODS**

Based on the analysis and development of the method of regulating the quality of electrical energy due to the control algorithm based on fuzzy logic, presented in the article [9], it is better to estimate the harmonic

components of the voltage using the modernized method of correlation functions.

As a basis for the new algorithm, a section of mathematics was used, which is a generalization of classical logic and set theory [10], based on the concept of fuzzy sets, introduced as an object with the function of element belonging to sets that apply any values in the interval [0;1].

This ensures high accuracy of the estimation of harmonic voltage components.

To develop a fuzzy algorithm for regulating the steady voltage deviation, fuzzy variables were taken as the input parameters of the fuzzy output system, i. e. responsible for the phase voltage and the on-load control drive device itself: *"Phase A"*, *"Phase B"*, *"Phase C"* and *"Position of the tap-changer device"*. Also, the initial parameters of the system were vague variables, such as: *"Switching of the tap-changer device"*, *"Disconnecting a part of the load"* and *"Inclusion of an additional load"*.

The following term sets were written for fuzzy variables:

$$T_u = \{ \text{"UAlow"}, \text{"UAmid"}, \text{"UAhigh"} \};$$

$$T_u = \{ \text{"UBlow"}, \text{"UBmid"}, \text{"UBhigh"} \};$$

$$T_u = \{ \text{"UClow"}, \text{"UCmid"}, \text{"UChigh"} \}.$$

The membership functions of the terms of sets  $T_u$  are chosen in accordance with the norms of the standard and look as follows:

$$\mu_{\delta U_{yL}} = \max\{ 0, \min\{ 1, \frac{0,95U_{НОМ} - U}{0,05U_{НОМ}} \} \}; \quad (1)$$

$$\mu_{\delta U_{yM}} = \max\{ 0, \min\{ 1, \frac{U - 0,9U_{НОМ}}{0,05U_{НОМ}}, \frac{1,1U_{НОМ} - U}{0,05U_{НОМ}} \} \}; \quad (2)$$

$$\mu_{\delta U_{yH}} = \max\{ 0, \min\{ 1, \frac{U - 1,05U_{НОМ}}{0,05U_{НОМ}} \} \}; \quad (3)$$

This is a function of belonging to established deviation indicators, which describe low, medium and high degrees of deviation from the requirements of norms and standards.

As term sets for the fuzzy variable *"Position of the tap-changer device"* were written:

$$T_p = \{ \text{"TAPmin"}, \text{"TAPmax"} \}.$$

To write term-sets for a fuzzy output variable for indicators such as *"Switching of the tap-changer device"*, *"Partial load disconnection"* and *"Additional load inclusion"* look as follows:

$$T_n = \{ \text{"TAP-"}, \text{"TAP+"} \};$$

$$T_o = \{ \text{"OFF load"} \};$$

$$T_v = \{ \text{"ON load"} \}.$$

The coefficients of voltage asymmetry on the reverse and zero sequence "K2U" and "K0U" are presented in a fuzzy form, as it is proposed in [11-13], and the output parameter is a fuzzy variable: "Inclusion of the switching device", as presented in [14-18].

The sets  $Tk = \{ "K2Un", "K2Uh" \}$  are used as set terms for the fuzzy variable "Coefficient of voltage asymmetry in reverse sequence".

Likewise, the set  $Tk = \{ "K0Un", "K0Uh" \}$  is used as the term set for the fuzzy variable "Strength asymmetry coefficient at zero sequence".

The membership function of the term sets  $Tk$  are chosen in accordance with the norms of the standards and have the following form:

$$\mu_{K_{2Un}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{5-k}{3} \right\} \right\}; \quad (4)$$

$$\mu_{K_{2Uh}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{k-2}{3} \right\} \right\}; \quad (5)$$

$$\mu_{K_{0Un}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{5-k}{3} \right\} \right\}; \quad (6)$$

$$\mu_{K_{0Uh}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{k-2}{3} \right\} \right\}. \quad (7)$$

At the same time, each of the terms of the first two variables is evaluated on the scale of the asymmetry coefficient from 0% to 5%.

The set  $To = \{ "PC" \}$  is used for the "Toggle" fuzzy output variable.

## RESULTS

After setting the rules of fuzzy output in the "Fuzzy Logic Toolbox" toolkit in the MATLAB package, we will get the result for the output variable of the "Switching tap-changer device" indicator at specific values of the input variables, presented in the view of the graphical interface in Figure 1.

In the same way, a graphical interface is built after obtaining the results for the output variable of the "Partial load disconnection" indicator at other values of the input variable of one of the three phases, which is presented in Figure 2.

Similarly, a graphic interface is built for the output variable of the "Inclusion of additional load" indicator (Fig. 3).

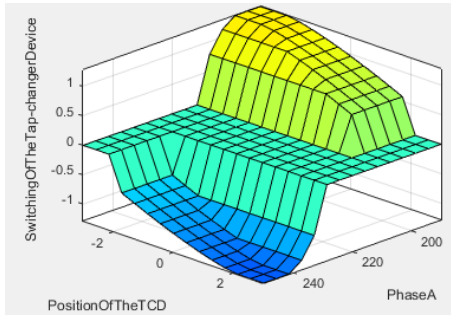


Figure 1 - Fuzzy Output Surface View UI Graph for “Twitching Tap Device”

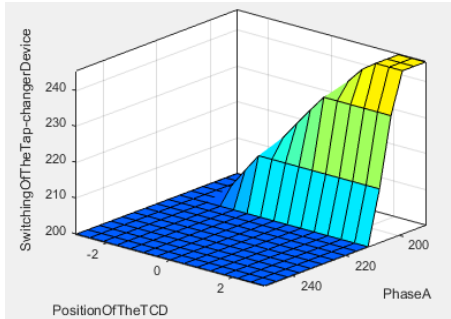


Figure 2 - Fuzzy Output Surface Viewing Interface Graph for “Partial Load Cutoff”

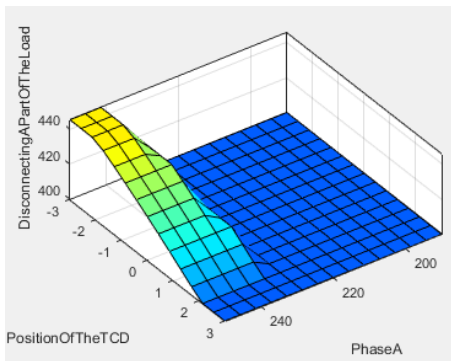


Figure 3 - Fuzzy output surface viewing interface graph for “Additional Load Inclusion”

The graphic interface for viewing the surface of the fuzzy output shows that when the voltage on one of the three phases changes, the on-load tap-changer device will switch to the desired position. When the voltage on two phases changes, an additional load will be switched on or a part of the load will be switched off.

The graphic interface for viewing the surface of the fuzzy output (Fig. 4) shows that when the voltage asymmetry coefficient changes in reverse and zero sequence, commutation will occur. Asymmetry in the reverse, as well as in the zero sequence, is solved in the same way, that is, with the help of a transformer substation, which is equipped with a tap-changer device, which is able to change the commutation of the consumer to the phases, that is, by switching the commutation of consumers between phases.

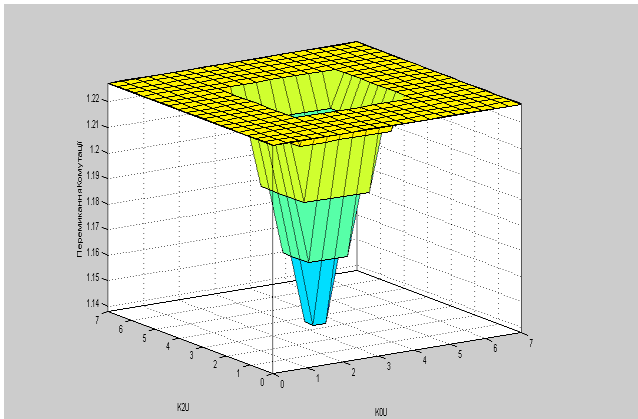


Figure 4 - Fuzzy Output Surface View GUI for "Toggle Switching"

## CONCLUSIONS

The existing methods of regulating the quality of electrical energy are analyzed. The shortcomings and problems of the issue related to the improvement of the quality of electricity were revealed.

The scientific novelty of the work consists in the improvement of the model of regulation of electric energy quality indicators based on the method of fuzzy logic.

The practical value of the work is as follows:

- the built model using the method of fuzzy logic allows to speed up the coordination of the transformer with tap-changer with the control scheme and to establish more accurate voltage regulation, which will

increase the efficiency of the transformer and the system itself;  
- the results of the work can be used in the design of the substation for introduction into the power system.

Further research by the authors may be directed to the development of control schemes for transformers with on-load tap-changer and the creation of FPGA models for the implementation of more detailed integer calculations.

## REFERENCES

1. IEEE Working Group on Power System Harmonics, "Power system harmonics: an overview". IEEE Trans. Power App. Syst. 1983. Vol. PAS-102, no. 8. P. 2455–2460.

2. DSTU EN 50160:2014 "Characteristics of power supply voltage in general-purpose electrical networks." – Instead of DSTU EN 20160:2010; Input 05/20/2014. - Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2014. - 32 p.

3. Pleshkov P., Poltovets M., Savelenko I. Estimation of economic losses during zero-sequence voltage measurement in rural electric networks. - Kirovohrad: KDTU, 2002. - P. 69-72.

4. A. de Almeida, Moreira L., Delgado J. Power Quality Problems and New Solutions. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.icrepq.com/pdfs/PL4.ALMEDIA.pdf>. Application date: April. 30, 2023.

5. Hryb O. G., Dovgalyuk O. M., Sapryka O. V. Analysis of voltage deviation in electrical networks of internal lighting [Electronic resource]. Access mode: [http://www.kdu.edu.ua/statti/Tezi/Daidzhest/2011/02\\_01\\_.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/Tezi/Daidzhest/2011/02_01_.pdf). Application date: April. 30, 2023.

6. Galashin B. The influence of voltage asymmetry on the operation of electrical equipment // VII All-Ukrainian Student Scientific and Practical Conference "Natural and Humanitarian Sciences. Current is-sues" // Ternopil, 2017. - P. 204.

7. Pleshkov P., Poltovets M., Savelenko I. Estimation of economic losses during zero-sequence voltage transmission in rural electric networks. – Kirovohrad: KSTU, 2002. – P. 69-72.

8. Modeling and optimization of modes of energy supply and electricity consumption systems: training. manual / V. G. Yagup, K. V. Yagup; Kharkiv. national city university farm named after O. M. Beketova. - Kharkiv: XNUMX named after O. M. Beketova, 2019. -183 p.

9. A. A. Panov, S. A. Tymchuk. Fuzzy algorithm for regulating the steady-state voltage deviation in the 0.4 kV electrical network // Tallinn: United Journal, 2019. - No. 26. - P. 31-37.



10. Panov A. A., Tymchuk S. A. Fuzzy algorithm for regulation of reverse and zero-sequence voltage asymmetry coefficients // The 4th International scientific and practical conference "Perspectives of world science and education" // Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 2019. – P. 670-679.

11. A. O. Panov. Regulation of zero- and re-verse-sequence voltage asymmetry coefficients in 0.4 kV electrical networks. / A.O. Panov// Automation and computer-integrated technologies - 2020. VII international scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students. - Kyiv: KPI, 2020. - P. 16-17.

12. Tymchuk S., Shendryk S., Shendryk V., Panov A., Kazlauskaitė A., Levytska T. (2020) Decision-Making Model at the Management of Hybrid Power Grid. In: Lopata A., Butkienė R., Gudonienė D., Sukackė V. (eds) Information and Software Technologies. ICIST 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1283. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59506-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59506-7_6).

13. Panov A.O. Development of an algorithm for regulating the steady deviation of voltage in distribution networks 0.4-10 kV / Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Higher Education Graduates and Young Scientists. - Kharkiv: Khnadu, 2021 - pp. 170 - 174.

14. Panov A.A. Regulation of steady voltage deviation in 0.4 kV electric networks. / A.O. Panov // Automation and computer-integrated technologies - 2019. VI International scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students. - Kiev: KPI, 2019. - P. 10-11.

15. Panov A.A. Regulation of zero and reverse sequence voltage asymmetry coefficients in 0.4 kV electric networks. / A. O. Panov // Automation and computer-integrated technologies - 2020. VII international scientific-practical conference of young scientists, graduate students and students. - Kyiv: KPI, 2020. - P. 16-17.

16. Panov AA Research of regulation of inverse and zero sequence voltage asymmetry coefficients using a fuzzy control algorithm / Proceedings of the XVI International Youth Forum: "Youth and agricultural machinery in the XXI century". - Kharkiv: KhNTUSG, 2020 - P.148.

17. Zhou Y, Mancarella P, Mutale J. "Framework for capacity credit assessment of electrical energy storage and demand response". IET Gener. Transm. Distrib., vol. 10, no. 9, pp. 2267-2276, Feb. 2016.

18. Jiahuan Feng, Dongbo Zhao, Geng Wu, Zongqi Liu, Jianhua Zhang. Evaluating Demand Response Impacts on Capacity Credit of Renewable Distributed Generation in Smart Distribution Systems. [Electronic resource]. Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/ielam/6287639/8274985/8031328-aam.pdf>. Date of application: April. 30, 2023.

## СЕЛЕКТИВНІ ПОКРИТТЯ

*Ярослав В'ячеславович Ігнатенко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2506-7055>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олег Леонідович Марченко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5112-1396>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Робота присвячена короткому огляду наявних пропозицій щодо перетворення сонячної енергії на теплову та електричну, а також фізичних принципів, на яких ґрунтуються ці пропозиції. Основна увага приділяється можливості реалізації високотемпературного нагріву за допомогою методів, придатних для створення потужних теплових установок.

### МЕТА І ЗАДАЧІ

Температура нагрівання сонячним випромінюванням обмежується двома процесами – тепловим випромінюванням тіла, що нагрівається, і тепловіддачею в навколишнє середовище. В умовах рівноваги:

$$S \cdot \alpha \cdot P_c = S'(\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 + h \cdot \Delta T), \quad (1)$$

де  $S$  - освітлювана поверхня,  $\alpha$  - поглинальна здатність тіла,  $P_c$  - потік сонячного випромінювання,  $S'$  - повна поверхня тіла,  $\varepsilon$  - випромінювальна здатність тіла,  $\sigma$  - постійна Стефана-Больцмана,  $T$  - температура тіла,  $h$  - коефіцієнт тепловіддачі,  $\Delta T$  - різниця температур тіла та навколишнього середовища.

Якщо тимчасово не враховувати втрати енергії за рахунок тепловіддачі в навколишнє середовище (другий член у рівнянні (1)) то можна оцінити граничну температуру тіла що нагрівається виключно випромінюванням. Для цього перетворимо (1) до вигляду:

$$T = \sqrt[4]{\frac{P_c}{\sigma} \cdot \frac{S}{S'} \cdot \frac{\alpha}{\varepsilon}} \quad (2)$$

Якщо потік випромінювання прийняти  $P_c = 10^3 \text{ Вт/м}^2$ , що

відповідає ясному сонячному дню,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$  а площі освітлюваної та повної поверхні рівними то отримаємо:

$$T = 365 \cdot \sqrt[4]{\frac{\alpha}{\varepsilon}} \text{ (}^\circ\text{K)} \quad (3)$$

З (3) видно, що навіть при нагріванні чорного тіла  $\alpha = \varepsilon = 1$  його температура не досягне навіть температури кипіння води при нормальних умовах, тобто  $373 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $100^\circ\text{C}$ ). А з урахуванням тепловтрат у навколишнє середовище за рахунок конвекції буде ще нижче.

Подальше збільшення температури теплоносія можливе або за рахунок підвищення потоку сонячного випромінювання  $P_c$ , або за рахунок відношення поглинаючої до випромінювальної здатності тіла  $\alpha/\varepsilon$ . Підвищити потік сонячного випромінювання можна застосуванням концентраторів але це значно ускладнить конструкцію геліосистеми. Другим способом збільшення температури об'єкта, що нагрівається випромінюванням, є фактор  $\alpha/\varepsilon$ .

Слід враховувати, що в даному випадку поглинальна і випромінювальна здатність відносяться до різних областей спектра. Так основна частина потоку сонячного випромінювання лежить у видимій частині спектра з довжинами хвиль  $\lambda = 0,35 \div 1,2 \text{ мкм}$ , а випромінювання об'єкта, що нагрівається, лежить в інфрачервоній області з  $\lambda \geq 2 \text{ мкм}$ . Тому оптимальні умови нагріву будуть за умови поглинання енергії у видимій частині спектру та великим коефіцієнтом відбивання в інфрачервоному діапазоні. Матеріали, що мають такі властивості, називаються селективними від лат. *selectio* - відбір і являють, по суті «теплову пастку», що працює на принципі парникового ефекту.

Для зменшення теплових втрат за рахунок конвекції тіло, що нагрівається, розміщується в корпусі з матеріалу, прозорого в видимій області спектру (скло або спеціальні плівки). Така оболонка пропускає сонячне випромінювання і разом з тим частково послаблює конвективний теплообмін з повітрям. Можна використовувати не один, а кілька шарів захисту. У таких пристроях вдається дещо підвищити ефективність нагріву. Однак підвищення температури без застосування концентраторів невелике.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Інший підхід заснований на застосуванні селективних покриттів, що забезпечують ефективне поглинання сонячного випромінювання і водночас невеликі значення випромінювальної здатності в

інфрачервоній області спектра. Існує декілька різних методів отримання необхідної селективності.

По-перше, є ряд матеріалів, що добре поглинають або пропускають сонячне випромінювання і мають великий коефіцієнт відбиття  $r$  в інфрачервоній області. Відповідно до закону Кірхгофа випромінювальна здатність таких матеріалів мала,  $\varepsilon = 1 - r$ . Наприклад, карбід гафнію HfC в області 4 - 10 мкм має коефіцієнт відбиття  $r = 0,8 - 0,9$  а у видимій області  $r \approx 0,25$ . Відбиття у видимій області може бути зменшено, якщо на поверхню HfC нанести шар прозорого діелектрика. За допомогою таких матеріалів можна отримати значення  $\alpha/\varepsilon = 4 - 5$ .

Для підвищення селективності можна використовувати складніші багатошарові покриття, наприклад тришарові - діелектрик, напівпровідник, метал. Поглинання відбувається у шарі металу а перші два шари є прозорими для сонячного випромінювання, їхнє призначення - послабити теплове випромінювання за рахунок великого коефіцієнта відбиття напівпровідника в інфрачервоній області.

Нарешті, можуть застосовуватися багатошарові інтерференційні покриття, аналогічні тим, що використовуються для просвітлення оптики.

При використанні селективних покриттів з малим значенням  $\varepsilon$  істотно зростає відносна роль теплообміну з навколишнім середовищем. Граничні температури нагріву, які допускаються втратами на теплове випромінювання, можуть бути реалізовані лише за умови, що теплові втрати менше втрат на випромінювання. Теплові втрати можна знизити до необхідного рівня, уклавши тіло, що нагрівається, в прозору вакуумну оболонку.

У лабораторних дослідженнях за рахунок складних багатошарових покриттів вдалося довести відношення  $\alpha/\varepsilon$  приблизно до  $7 \div 10$ .

Використовуючи одночасно концентрацію сонячної енергії та селективні покриття, можливо, в принципі, отримати температуру нагріву достатню для роботи низки енергетичних пристроїв. Так, при  $\alpha/\varepsilon = 8$  і  $\xi = 4$  (нерухомий концентратор)  $T = 650$  °К. При  $\alpha/\varepsilon = 8$  і  $\xi = 13$  (концентратор із сезонним регулюванням)  $T = 870$  °К.

Для застосування в низькотемпературних сонячних колекторах (при температурах 150 - 300°C) найбільш перспективними покриттями, що поглинають, є покриття з чорного нікелю, у складі якого нікель - сульфід цинку і з чорного хрому, що являє собою суміш хрому і оксидів хрому. В даний час найвищі значення  $\alpha$  і  $\varepsilon$  покриттів із чорного нікелю, нанесених на нікелеві підкладки, становлять 0,95 та 0,07 відповідно. Ці покриття стабільні до температури 300°C у вакуумі. Вони також стійкі до дії ультрафіолетового випромінювання у

вакуумі, але нестійкі при опроміненні на повітрі. Однак ці покриття псуються при спільній дії високої температури та вологості. Покриття з чорного хрому мають гарні оптичні властивості ( $\alpha = 0,95$  і  $\varepsilon = 0,09$ ) та є досить міцними. А покриття, нанесене на підшар нікелю завтовшки 12,7 мкм, має тривалий термін служби.

## ВИСНОВКИ

На сьогодні відомо досить багато матеріалів, що мають вибіркову поведінку по відношенню до сонячного випромінювання. Використовуючи комбінації таких матеріалів і способи їх нанесення можна значно підвищити ККД геліосистем [2]. Так, наприклад, два шари покриття «Чорний нікель» поверх гальванопокриття з нікелю на м'якій сталі показали здатність поглинання, рівну 0,94, при цьому здатність випромінювання складала всього 0,07, що теоретично дозволяє підвищити температуру об'єкта, що нагрівається, майже в два рази. Слід зазначити, що застосовувані нині селективні покриття, як правило, недостатньо термостійкі.

При сучасних технологіях отримання селективних покриттів їхня вартість не висока і не призводить до помітного подорожчання геліосистеми в цілому та витрат на додаткове обладнання.

## ПОСИЛАННЯ

1. Формування схемних рішень системи кліматизації споруд в робочому середовищі альтернативних джерел енергії : монографія / В. О. Габрінець та ін. Дніпро : Ліра ЛТД, 2016. 146 с. URL: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/9325>.

2. Гурін В. М., Яшков І. О., Гурін Д. В. Розробка ефективного селективного покриття та конструкції сонячного теплового колектора з рекомендаціями щодо його використання. *Автоматизовані системи управління та пристрої автоматики*. 2012. Т. 158. С. 68–72.

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ З ЩІТКОВИМИ УЩІЛЬНЕННЯМИ**

*Михайло Олександрович Катренко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1015-5746>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Для насосних систем постачання компонентів палива рідинних ракетних двигунів та двигунних установок величина перетікань робочого тіла через вільні кромки лопаток значно впливає на енергетичні параметри робочих коліс насосів і турбін, та агрегатів постачання в цілому. Одним із можливих методів зменшення перетікань є використання щіткових ущільнень, які розташовується безпосередньо на вільних кромках лопаток напіввідкритого робочого колеса. Цей метод має як переваги так і недоліки. До переваг слід віднести те, що щіткове ущільнення є гідравлічним опір, що перешкоджає перетіканню рідини з напірної сторони лопатки на тильну, що призводить до підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) і напору відцентрових насосів, а також використання відцентрової сили, яка діє на рідину, що знаходиться у міжщітковому просторі. Основний недолік щіткових ущільнень – можливість їх часткових руйнувань, та потрапляння щітинок у проточну частину насосу.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Метою експериментального дослідження є порівняльний аналіз характеристик напіввідкритих робочих коліс насосів з щітковими ущільненнями.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

Робочі колеса насосів напіввідкритого типу, двоярусні, розміщувались у нерухомому корпусі та були закріплені на валу, мали задне гвинтове ущільнення, зовнішній вигляд яких показаний на рисунках 1, 2. На торцях лопаток встановлені щітки, виконані у вигляді набору дротів, які вільним кінцем торкалися корпусу, та знаходились у прогнутому стані. Щітки виконували з нержавіючої дроту діаметром 0,0002 м і довжиною 0,003 м. Дроти встановлювалися в один ряд на відстані 0,0005 м один від одного. Фрагмент робочого колеса з встановленими щітковими ущільненнями показаний на рис. 3.



Рисунок 1 – Робочі колеса насосів



Рисунок 2 – Робочі колеса насосів



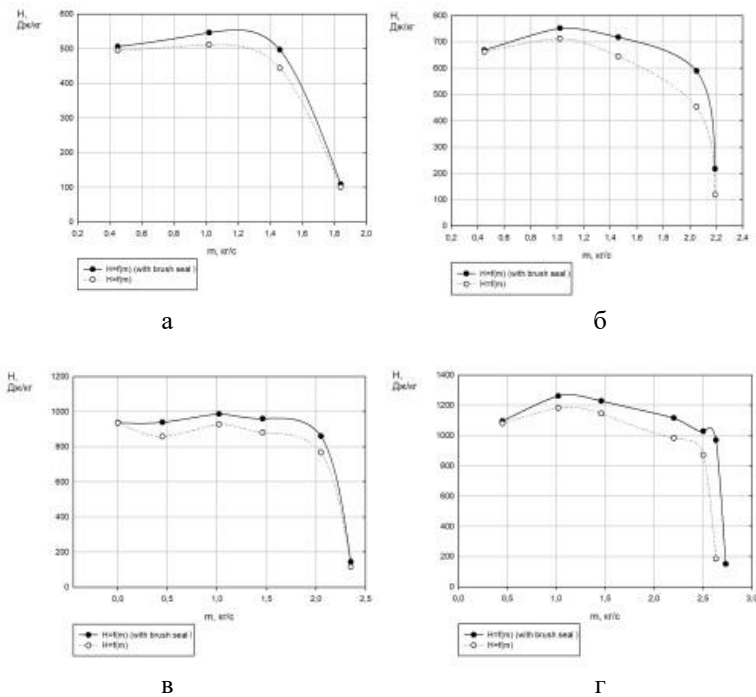
Рисунок 3 – Робоче колесо насосу з щітковими ущільненнями

Осьовий зазор при експериментальному дослідженні становив 0,001 м. Для оцінки ефективності установки щіткового ущільнення знімалися характеристики робочих коліс з однаковими

геометричними параметрами, при однакових робочих умовах. Геометричні параметри випробуваних робочих коліс були такими:

- діаметр входу  $D_1 = 0,03$  м;
- діаметр виходу  $D_2 = 0,094$  м;
- кут лопатки на вході  $\beta_{1,l} = 20^\circ$ ;
- кут лопатки на виході  $\beta_{2,l} = 40^\circ$ ;
- число лопаток на виході з колеса  $Z_{pk} = 12$ ;
- діаметр входу лопаток другого ярусу  $D_{1(2)} = 0,072$  м.

Робочі колеса насосів досліджувались при наступних кутових швидкостях обертання  $\omega$ : 628 1/с, 733 1/с, 837 1/с, 942 1/с. Для визначення напору  $H$  та ККД насосу  $\eta$  проводилось вимірювання тисків рідини на вході та виході з насосу, масова витрата робочого тіла  $m$ , та частота обертання ротору  $n$ . Експериментальне дослідження насосів при сталій кутовій швидкості обертання ротору здійснювалось з регулюванням масової витрати. Результати, що були отримані подані на рисунках 4, 5.

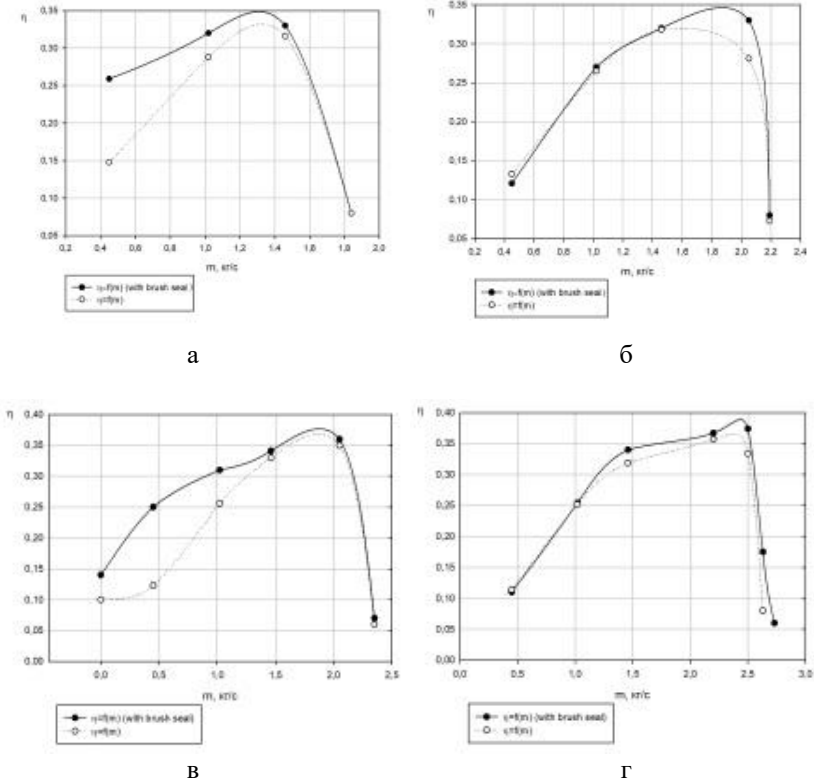


а)  $\omega = 628$  1/с б)  $\omega = 733$  1/с в)  $\omega = 837$  1/с, г)  $\omega = 942$  1/с

Рисунок 4 – Залежності напорів насосів від масової витрати рідини



В абсолютному вираженні, середнє збільшення напору колеса з щітковим ущільненням у порівнянні з колесом, де ущільнення було відсутнє складо 2 - 4%. Відповідно до рисунку 5, можна констатувати, що середнє збільшення ККД колеса з щітковим ущільненням у порівнянні з колесом, де ущільнення було відсутнє складо 2 - 6%. Для конструкцій робочих коліс що досліджувались, отримане покращення напірної та ефективної характеристики пояснюється тим, що зменшення перетікань рідини через вільну кромку лопатки дозволило покращити картину течії рідини при її руху по гвинтовій поверхні у проточній частині робочого колеса в більшій мірі, ніж наявне погіршення кінцевих течій в межах шару рідини щіткового ущільнення у порівнянні з течією перед вільними кромками лопаток.



а)  $\omega = 628$  1/c б)  $\omega = 733$  1/c в)  $\omega = 837$  1/c, г)  $\omega = 942$  1/c  
Рисунок 5 – Залежності ККД насосів від масової витрати рідини

Проблеми технічного і технологічного характеру, які виникли при проведенні досліджень коліс з щітковими ущільненнями, показали шляхи та можливості використання такого типу динамічних ущільнень.

На щітки діє гідродинамічна сила від перепаду тиску, що ці щітки прагне відігнути від корпусу, але за рахунок пружності щіток останні з ним мають безпосередній контакт. При тотожності сили пружності та гідродинамічної сили щітки тільки торкатимуться корпусу насоса і не передаватимуть на корпус зусилля. Таке положення щіток відповідає максимальному значенню ККД насоса. Перепад тиску на щітках можна визначити за залежністю:

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot W^2 \cdot \xi^2}{2}, \quad (1)$$

де  $W$  - швидкість руху рідини відносно щіток.

Коефіцієнт гідравлічного опору становить

$$\xi = \beta \cdot k \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

де  $\alpha$  - кут нахилу осі щетинки щодо вектору  $W$ .

У першому наближенні швидкість  $W(i)$  можна подати у вигляді:

$$W(i) = \frac{\omega \cdot r(i) \cdot x(i)}{h}, \quad (3)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість обертання робочого колеса,  $r$  - поточний радіус колеса або осьового зазору,  $x$  - поточна координата по ширині зазору, що починається на торці лопаті і закінчується на корпусі,  $h$  - ширина осьового зазору.

Частка величин  $x/h$  змінюється від нуля до одиниці. З залежності видно, що швидкість  $W$  збільшується за шириною каналу від нуля до  $W \cdot r(i)$ , а  $\sin \alpha$ , зменшується при збільшенні  $x$ . У зв'язку з цим у першому наближенні перепад тиску на щітках  $\Delta p$  можна прийняти сталим за величиною  $x$ , а гідродинамічну силу, що діє на щітки, визначається за залежністю:

$$F_T = \Delta p \cdot l \cdot d, \quad (4)$$

де  $l$  – довжина щітки,  $d$  – діаметр.

Під дією цієї сили щітка вигинається в осьовому зазорі  $h$ . Прогин  $f$  щітки можна визначити а відомою залежністю:

$$f = \frac{F_r l^3}{8EJ}, \quad (5)$$

де  $E$  – модуль пружності щітки, Па,  $J$  – осьовий момент інерції щітки.

Гідродинамічна сила навантаження щетинки  $F_r$  збільшується зі збільшенням радіусу, таким чином, задаючись прогином щітки  $f$  і довжиною  $l$ , можна визначити модуль пружності  $E$ . Якщо  $f$ ,  $l$  і  $J$  постійні величини, відповідно до формули, величина  $E$  буде функцією, яка залежить від радіуса  $r(i)$ . При збільшенні радіусу  $r$  модуль пружності  $E$  повинен збільшуватись при збереженні ККД насоса.

З іншого боку надійність та працездатність насосів з щітковими ущільненнями в значній мірі залежить від технології виробництва щіток, методів їх закріплення на вільних кромках лопаток, а також вибору потрібних матеріалів, адже теоретичні положення показують, що жорсткість щіток повинна бути змінною за радіусом.

## ВИСНОВКИ

Досвід використання щіткових динамічних ущільнень у напіввідкритих робочих колесах насосів показує доцільність їх використання. Покращення напірної характеристики та характеристики ККД насосів при використанні щіткового ущільнення на лопатки робочого колеса насоса за умов розрахункового режиму роботи дозволило збільшити ККД та напору насоса. Відносне зростання ККД 9%, а напору до 16 %. Жорсткість щіток раціонально збільшувати відповідно до збільшення радіусу робочого колеса. Потрібні додаткові дослідження щодо технології виготовлення щіткового ущільнення та його закріплення на вільних кромках тонких профілів.

## ПОСИЛАННЯ

1. Центробежный насос : а. с. 1645644 СССР : F 04 D 29/16 / Ю. В. Дронов. № 1645644 ; заявл. 05.05.1989 ; опубл. 30.04.1991, Бюл. № 16. 2 с.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF ADDITIVELY MANUFACTURED COAXIAL SWIRL INJECTORS

*Samir Vekilov*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5736-6300>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

*Volodymyr Lypovskyi*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-7973>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

*Roman Marchan*

FlightControl Propulsion, Dnipro

*Artem Lohvynenko*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8733-1649>  
FlightControl Propulsion, Dnipro

### INTRODUCTION

Modern development of the intense competition on the market of Liquid Propellant Rocket Engines (LPRE) is mostly driven by occurrence of many private space companies, crowdfunding space projects, etc., which inevitably leads engineers to seeking of rational solutions with the aim of decreasing production costs along with increasing of the efficiency of the parts. Usually for successful development of the rocket engine costly equipment as well as advanced manufacturing experience is in need which explains high overall manufacturing cost.

It is due to specific requirements for individual parts that application of conventional manufacturing of LPRE is typically associated with significant time expenses, decreasing the efficiency of the production cycle. When there is a lack of necessary equipment, funds, and time, it is of high priority to find new methods of LPRE components manufacturing which do not require special tools and numerous complex technological processes, etc. Thus, it is becoming widespread to use additive manufacturing which can significantly reduce the production cycle as well as decrease production expenses [1, 2, 3].

One of the most significant components of a LPRE is a Combustion Chamber (CC) which is at the forefront of development, especially in the case of newly designed engines. In some cases, designing and production of the chamber might compose up to ~50% of the overall engine cost, and its conventional design usually is associated with significant technological difficulties [1, 2]. Thuswise, it is of high priority to use additional

manufacturing for further design adaptation along with synthesis of the design solutions with unique properties [4–6].

In this work the application of additive manufacturing method for coaxial bipropellant swirl injectors production is considered. 30 coaxial bipropellant swirlers of the internal mixing were manufactured using L-PBF technology. Numerous hydraulic tests of the injectors were performed with the aim of determining its characteristics. The aim was to observe individual operation of each injector as well as collaborated work of the coaxial injectors. Spray cone angle for both individual and collaborative operation mode was of a particular interest. The obtained data is analyzed and compared to the calculated values.

## **TASKS AND OBJECTIVES**

The main objectives:

- Adaptation of the design of coaxial bipropellant swirl injectors to additive manufacturing.
- Use of refractory alloy.
- Use of easily accessible material.
- Determination of coaxial bipropellant swirl injectors characteristics by carrying out hydraulic tests.
- Comparing experimental with theoretical data.

## **MATERIALS AND METHODS**

The considered coaxial bipropellant swirl injectors were manufactured using relatively easily accessible material Haynes 230. The alloy is capable of withstanding high ( $\sim 1149^{\circ}\text{C}$ ) and low, cryogenic temperatures, maintaining outstanding oxidation resistance, decreased thermal-expansion coefficient and great welding characteristics. As injectors are a part of a larger complex component, a mixing head which perceives a significant amount of heat flux during the engine operation, application of Haynes 230 is a rational decision.

Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) [1, 2, 3] was chosen to be a manufactured method. Consequently, a laser beam is used to supply energy for metal powder fusion during the building process (see Figure 1).

– Let us consider a simplified procedure of the manufacturing process (see Figure 2):

- Thinking of the main design concepts and ideas.
- Developing a 3D model using Computer Aided Design (CAD) system considering technological limitations of the printer (maximum unsupported printing angle of the surface, minimal printing diameter of holes

and slots, minimal wall thickness, etc.).

- Pre-printing model processing: conversion to .stl format, choice of the type and installation places of the supporting structures, etc.
- Printing process.
- Post-printing process.

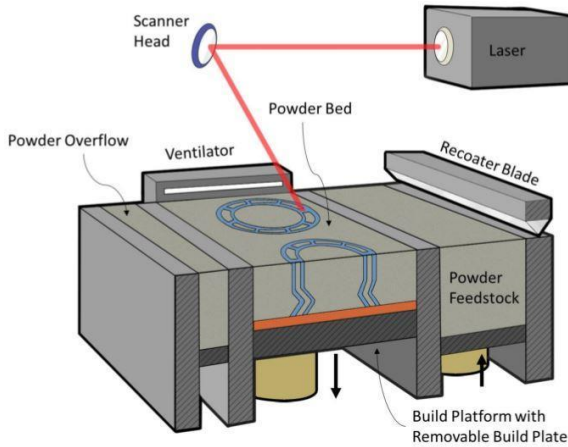


Figure 1 – Laser Powder Bed Fusion process [1]

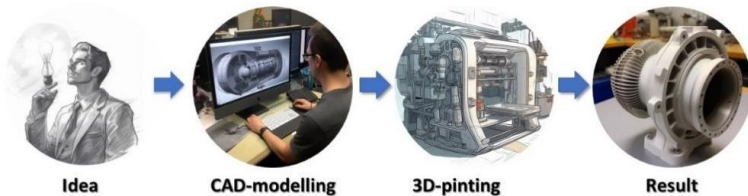


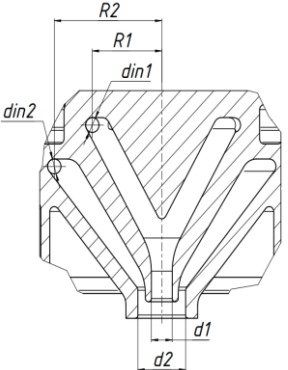
Figure 2 – Simplified procedure of the additive manufacturing process

It should be noted that currently there is no standard that regulates additive manufacturing cycle, in particular uniform quality control for produced parts. In that respect, 3D-printing parameters and post-printing procedures are often considered to be corporate property and are not subject to disclosure [2].

The objective of the hydraulic tests was to determine main characteristics of the coaxial bipropellant swirl injectors (pressure drop, spray cone angle). Each of the injectors consists of two parts: inner and outer swirl injectors (injector 1 and injector 2 respectively). The testing was performed for two regimes: individual operation of each injector and

cooperative operation of both injectors. Water was chosen as a working fluid. 30 specimens were divided into 6 groups with variation of the geometrical parameters (5 specimens per group). All geometrical parameters of the injectors were normalized to nozzle diameter  $d$  ( $d2$ ) of the outer injector and are represented in Table 2.

Table 1 – Geometric characteristics of manufactured injectors

Parameter	Injector 1	Injector 2	
R	1.6	2.4	
d	0.44	1	
$d_{in}$	0.28...0.35	0.25...0.33	
n, pcs	3	1...2	
A	3.9...5.9	38.3...60.4	

A is a geometric characteristic coefficient of the injector:

$$A = \frac{R \cdot \frac{d}{2}}{n \cdot \left(\frac{d_{in}}{2}\right)^2}$$

where  $n, pcs$  is a number of tangential holes;  $d$  is a normalized nozzle discharge diameter ( $d1, d2$ );  $d_{in}$  is a normalized tangential hole diameter,  $R$  is a normalized swirl diameter.

## RESULTS

According to experimental data, it is shown that between-specimen repeatability of pressure drops lies within the 5% range and is fully acceptable for engineering purposes (see Table 2). Discharge coefficient is determined following the equation:

$$\mu = \frac{\dot{m}}{f_c \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p}}$$

where  $\dot{m}$ , kg/s – mass flow rate of the working fluid through the injector;  $f_c = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ ,  $m^2$  discharge nozzle cross-section;  $\rho$ ,  $kg/m^3$  – density of a working fluid;  $\Delta p$ , Pa – injector pressure drop.

Table 2

Injector 1						
Parameter	1	2	3	4	5	6
Re	8851	8851	8851	8851	7113	8851
$\Delta p, \text{kgf/cm}^2$	5.33	5.35	5.33	5.34	4.2	5.3
$\mu$	0.378	0.377	0.378	0.377	0.425	0.379
$C = \frac{2R_1}{d_1}$	7.3					
A	5.9	5.9	5.9	5.9	3.9	5.9
Injector 2						
Re	26554	26554	14937	14937	22761	26554
$\Delta p, \text{kgf/cm}^2$	5.11	5.25	2.4	2.43	3.25	5.73
$\mu$	0.0578	0.057	0.084	0.084	0.072	0.055
$C = \frac{2R_2}{d_2}$	4.8					
A	60.4	60.4	38.3	38.3	44.8	60.4

Depending on the shift of the faces of the injector’s nozzles  $a$  (see Figure 3), injectors can be divided into **two groups**: the one of internal and external mixing of the components. Variation of the dimension  $a$  is not considered in this work while manufactured specimens are characterized as coaxial swirl injectors of external mixing. In case of external mixing the process is typically divided into two modes: independent operation of internal and external injectors (individual spray cones do not interact, see Figure 3a) and collaborative operation mode when spray cones interact near the nozzles and result in a common, single cone (see Figure 3b). The described operation modes can also change depending on the change of the environmental density (or pressure). The exact mode cannot be determined by simple hydraulic tests. Thus, to investigate more and find the main margins of the described effect, a complex equipment for advanced research is needed and, for this reason, the effect was not considered in this work [8–15].

In terms of a spray cone angle of the conventionally manufactured swirl injectors, there are known dependencies and their margins of application. The following dependencies are considered in the review [7]. Spray cone angles of additively manufactured swirl injectors were calculated and compared with experimental data. The results are shown in Table 3.

It can be seen from the Table 3, that the known dependencies for spray cone angle assessment cannot be used in case of additively manufactured swirl injectors. The discrepancy between calculated and experimental values lay beyond even the 10% interval, which is not acceptable for engineering applications.



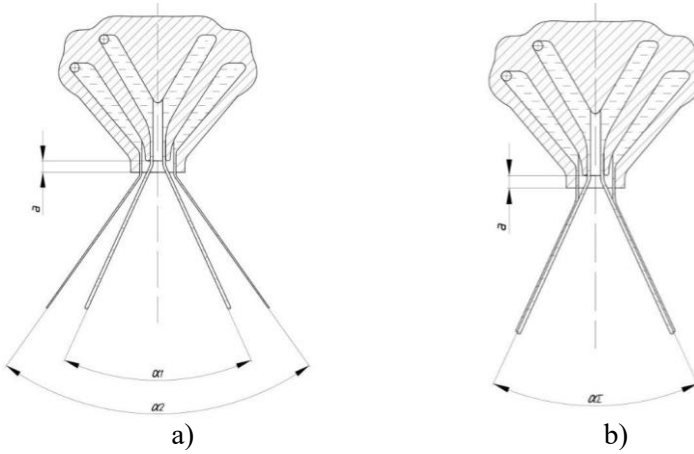


Figure 3 – Operational modes of coaxial swirl injectors of external mixing

Table 3 – Experimental and calculated data on spray cone angle of AM swirl injectors

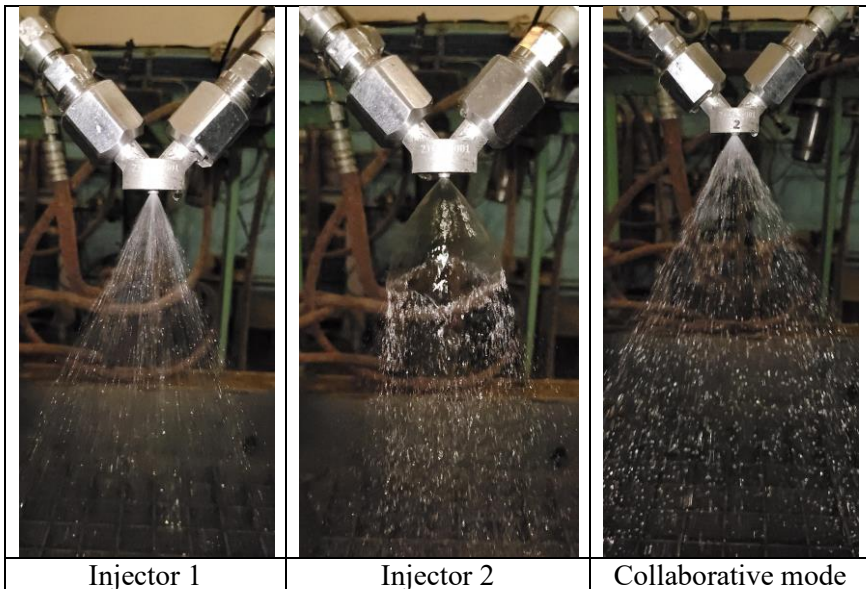
Injector variant №	Experimental data	Benjamin [9]	Abramovich [8]	Fu et. al. [10]	Giffen and Muraszew [7]	Giffen and Muraszew (Liu et al. [7])	Khil et. al [13].	Liu et. al. [12]	Rizk and Lefebvre [7]	Xue et. al. [11]
Injector 1										
$\alpha_1$ , deg										
1	49.6	63.0	153.6	60.0	73.5	153.2	61.1	74.0	79.4	66.1
2	45.2	63.1	153.7	60.0	73.6	153.2	61.1	74.0	79.5	66.2
3	46.8	63.0	153.6	60.0	73.5	153.2	61.1	74.0	79.4	66.1
4	46.8	63.1	153.7	60.0	73.6	153.2	61.1	74.0	79.4	66.2
5	49.0	56.2	147.1	50.8	67.7	143.5	57.6	68.3	72.7	59.6
6	47.6	63.0	153.5	60.0	73.4	153.3	61.0	74.0	79.4	66.0
Injector 2										
$\alpha_2$ , deg										
1	76.2	122.0	178.0	114.9	128.5	170.1	105.1	92.7	134.5	115.9
2	70	122.2	178.0	114.9	128.8	170.0	105.6	92.7	134.9	116.1
3	76.6	104.0	176.8	98.7	121.0	168.0	90.7	90.5	115.5	111.1
4	71	104.1	176.9	98.7	121.1	167.9	90.9	90.5	115.7	111.3
5	77.8	110.3	177.4	107.5	124.2	168.6	96.2	91.3	122.3	110.9
6	77.2	122.9	178.1	114.9	129.6	169.7	107.4	92.7	136.2	116.7

At this moment, there is no known dependency describing the resulting spray cone angle of the additively manufactured coaxial swirl injectors of external mixing. It is due to the high complexity of the process that engineers must rely only on experimental data and preliminary results for obtaining more accurate data in terms of coaxial bipropellant swirl injectors. Experimental data describing resulting spray cone angle of the studied specimens is represented in Table 4. Obtained experimental data shows that collaborative operational mode is realized for each specimen. Photos of the operation of the specimen №2 is represented in Table 5.

Table 4 – Resulted spray cone angle of the additively manufactured coaxial bipropellant swirl injectors

Variant №	$\alpha_{\Sigma}, \text{deg}$
1	56
2	55.2
3	55
4	56.6
5	57.6
6	56.4

Table 5 – Hydraulic testing of the injector (variant №2)



## SUMMARY

With the purpose of investigation of the operation of additively manufactured coaxial bipropellant swirl injectors, 30 specimens were produced by L-PBF technology. As a material for injectors, a relatively easily accessible refractory alloy Haynes 230 was used. With the aim of determining the characteristics of injectors, numerous hydraulic tests were performed. According to the obtained data it found that:

- Repeatability of hydraulic characteristics of the manufactured injectors lay within 5% and is acceptable for further engineering purposes.
- Analysis of the known dependencies describing spray cone angle of the swirl injectors was carried out. The calculated values were compared to experimental data and there is a significant discrepancy between values.
- All calculated values of the spray cone angle of the individual operation mode show tendency to be larger than experimental data for each injector.

Currently there is no known dependency reliably describing the parameters of additively manufactured swirl injectors and further research is needed.

## REFERENCES

1. Gradl P., Mireles O. Additive Manufacturing for Propulsion Component and System Applications. NASA Marchall Space Flight Center, 25 May 2021. URL: [https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210016065/downloads/Redstone\\_IPT\\_NASA\\_AM-Components\\_Gradl-Mireles\\_25-May-2021.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210016065/downloads/Redstone_IPT_NASA_AM-Components_Gradl-Mireles_25-May-2021.pdf)
2. Advancing GRCop-based Bimetallic Additive Manufacturing to Optimize Component Design and Applications for Liquid Rocket Engines / P. Gradl et al. AIAA Propulsion and Energy Forum : Virtual Event, 9–11 August 2021. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2021-3231>.
3. Geometric feature reproducibility for laser powder bed fusion (L-PBF) additive manufacturing with Inconel 718 / P. Gradl et al. Additive Manufacturing. 2021. Vol. 47. URL: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102305>.
4. Distinctive features of SLM technology application for manufacturing of LPRE components / S. Vekilov et al. Journal of Rocket-Space Technology. 2021. Vol. 29, no. 4. URL: <https://doi.org/10.15421/452112>.
5. 3D printed acoustic igniter of oxygen-kerosene mixtures for aerospace applications / R. Marchan et al. 8th European conference for aeronautics and space sciences (EUCASS) : International Conference, Madrid, 1–4 June 2019. URL: <https://doi.org/10.13009/EUCASS2019-238>.

6. Vekilov S., Lipovsky V. Comparison and analysis between conventional and additive manufacturing technologies of LPRE. System design and analysis of aerospace technique characteristics. 2022. Vol. 31, no. 2. P. 14–25. URL: <https://doi.org/10.15421/472210>.

7. Review on pressure swirl injector in liquid rocket engine / Z. Kang et al. *Acta Astronautica*. 2018. No. 145. P. 174–198. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.12.038>.

8. Abramovich G. N. The theory of swirl atomizers. *Industrial Aerodynamics*. 1944.

9. Film thickness, droplet size measurements and correlation for large pressure-swirl atomizers / M. A. Benjamin et al. *Gas Turbine & Aeroengine Congress & Exhibition*, Stockholm, 2–5 June 1998.

10. Spray characteristics of an open-end swirl injector / Q.-F. Fu et al. *Atomization Sprays*. 2012. Vol. 22, no. 5. P. 431–445.

11. Effect of Geometric Parameters on Simplex Atomizer Performance / J. Xue et al. *AIAA*. 2004. Vol. 42, no. 12. P. 2408–2415. URL: <https://doi.org/10.2514/1.2983>.

12. Experimental research on the water mist fire suppression performance in an enclosed space by changing the characteristics of nozzles / Y. Liu et al. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2014. No. 52. P. 174–181. URL: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.09.008>.

13. Quantifying the variation of the mass flow rate generated in a simplex swirl injector by pressure fluctuation / T. Khil et al. *AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*, Hartford, 21–23 July 2008. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2008-4849>.

14. Design and Testing of Liquid Propellant Injectors for Additive Manufacturing / S. Soller et al. *7th European conference for aerospace science : Materials of International conference*, Milan, 3–6 June 2017.

15. Effect of Inlet Slot Number on the Spray Cone Angle and Discharge Coefficient of Swirl Atomizer / M. Rashid et al. *Procedia Engineering*. 2012. Vol. 41. P. 1781–1786. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pro-eng.2012.07.383>.

## КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГЕЛІЄВИХ ГАЗОБАЛОННИХ СИСТЕМ НАДДУВАННЯ ПАЛИВНИХ БАКІВ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ

*Юрій Олексійович Мітіков*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Максим Сергійович Седченко*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Як відомо, системи наддування (СН) паливних баків ракетних рухових установок (РУ) призначені для забезпечення необхідних тисків компонентів палива на входах у двигуни і забірні пристрої (для їх безперервної роботи). Їх друге призначення – створення потрібних рівнів тисків газу в тонкостінних паливних баках для їх стійкості на активній ділянці траєкторії польоту ракети-носія (РН) [1, 2].

СН входять до складу пневмогідрравлічних систем подачі (ПГСП) компонентів палива. Вони є найдорожчими, складними, наукомісткими частинами РН [3] після рідинних ракетних двигунів (РРД).

В даний час як паливо РРД найбільш широко використовуються і плануються до застосування в найближчому майбутньому рідкий кисень і вуглеводневе пальне (РГ-1, Т-1, метан, синтин, надалі - гас). Достатньо навести як приклад РРД РН «Зеніт», «Циклон-4М», «Маяк» (Україна), Antares (США та Україна), Atlas-V, Falcon 9 (США), "Чанчжен-7" та "Чанчжен-9 (КНР), KSLV-I, KSLV-II (Південна Корея) та ін.

Для наддування паливних баків всіх перерахованих сучасних РУ на зазначених компонентах палива в силу ряду причин найбільше поширення як робоче тіло знайшов гелій [4]. Заздалегідь перед запуском РУ охолодженим гелієм (наприклад, на РН «Зеніт» ~113К) заправляють спеціальні балони системи польотного наддування. Ці балони розміщують у сучасних РУ в баках з рідким киснем. Гелієм з температурою навколишнього середовища проводять і передпускове наддування баків.

Необхідно констатувати такий цікавий факт, який має знайти пояснення. Всі рідинні міжконтинентальні балістичні ракети Радянського Союзу, США, КНР навіть останнього покоління, гелій не використовували, навіть для роботи агрегатів автоматики. РН для космічних місій у своїй переважній більшості також обходилися без гелію.

Широко використовувалися генераторні, парові, сумішні, «хімічні» СН [5].

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Провести критичний системний аналіз сучасних конструкцій та параметрів гелієвих СН, у тому числі, з урахуванням даних натурних випробувань. Показати позитивні та негативні сторони даних систем та вплив останніх на ефективність РН.

З виходом нових амбітних приватних компаній відбулося значне посилення конкурентної боротьби на ринку надання пускових послуг. Сьогодні вже очевидно, що перемагати у цій складній комерційній боротьбі буде той, хто зможе забезпечити доступнішими пускові послуги. Тому не дивно, що все більшого значення набувають роботи, спрямовані на здешевлення виведення 1 кг корисного навантаження на опорну орбіту при загальноприйнятій надійності. Для цього необхідно детально критично розібратися у сутності існуючих систем. Коли будуть зрозумілі недоліки, тоді можна цілеспрямовано їх модернізувати чи приймати більш радикальніші рішення.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ДОСЛІДЖЕННІ**

Використовуються методи ретроспективного аналізу, матеріали по конструкціям і параметрам цікавих СН для належних РРД.

### **РЕЗУЛЬТАТИ**

Гелієві СН у ракетобудуванні успішно застосовуються вже понад п'ятдесят років. Вони досить добре вивчені, технології роботи з гелієм на всіх етапах роботи налагоджені [6]. Гелієві СН не потребують великого обсягу експериментального відпрацювання, високої кваліфікації проєктантів систем постачання РРД, великого часу на проєктування. Останні, можливо, є найбільш вагомими аргументами їх популярності.

Для розуміння проблематики гелієвих СН розглянемо її принципову схему [4]. На рис. 1 наведена така. Це схема гарячої газобалонної СН баку окиснювача РУ I ступеня РН «Зеніт». Як видно з наведеної схеми, система складається з балонів 1 високого тиску з гелієм, розміщених у баку 2 з рідким киснем. Балони з'єднані трубопроводами 3 з температурними компенсаторами 4 за допомогою агрегатів автоматики 5 з дозуючими жиклерами 6 і теплообмінником двигуна, розташованого в хвостовому відсіку. Далі підігрітий гелій по трубопроводу

8 з температурними компенсаторами 9 вводиться у верхню частину бака окиснювача 2 для його наддування.

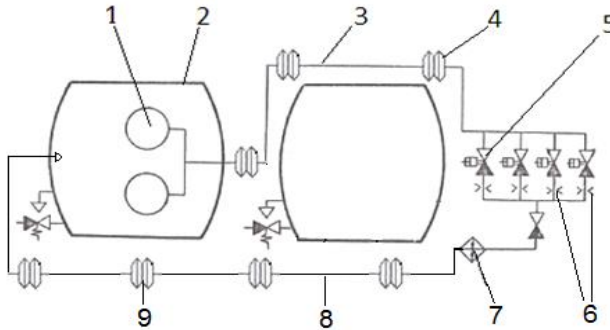


Рисунок 1 – Принципова схема гарячої газобалонної СН бака окиснювача: 1 – балони з гелієм; 2 – бак із рідким киснем; 3,8 – трубопроводи; 4,9 – температурні компенсатори; 5 – агрегати автоматики (ЕПК); 6 – жиклери; 7 – теплообмінник (ТО);

Аналіз запропонованої схеми дозволяє зрозуміти її недоліки вже для етапу проектування. По-перше, точно не відомі характеристики магістралей наддування (фактичні діаметри, які будуть у наявності в обмежувачі заводу-виробника на момент початку серійного виробництва, довжини, кількість поворотів, зварювальних швів). Таким чином, не відомий точний опір трактів. По-друге, невідомі точні характеристики ТО [7]. Відомо тільки вимоги ТЗ до нього (розкид по температурі від номіналу до 25%, втрати тиску не більш 15 бар при витраті гелію 0,4 кг/с з  $T=90\text{K}$ ). Невідома також динаміка виходу ТО на режим.

Для прикладу в табл.1 наведені дані шести натурних випробувань РН по теплообміннику гелію СН.

Таблиця 1 – Параметри ТО за підсумками шести натурних випробувань РН

Номери пусків РН	По ТЗ	1	2	3	4	5	6
Перепад тиску гелію на ТО, бар	15	5	10	3	5	2	2
Температура гелію після ТО, К	$T_{\text{ном}} = 573$	600	618	615	643	618	621

Для парировання цих невизначеностей необхідно вводити систему регулювання тиску газу в баку. Найчастіше існує вимога працездатності РН при одній відмові, тому систему регулювання треба дублювати. Це розширює розрахунковий діапазон тиску газу в баку, відповідно розрахунковий тиск на міцність та масу бака. Якщо кількість балонів з гелієм за підсумками першого етапу льотних випробувань можна безболісно зменшити, то зі зменшенням товщин стінок паливного бака та діаметрів витратних магістралей з компенсаторами, справа інакша. Для цього потрібний великий обсяг дорогих випробувань з відповідним фінансуванням, яке не передбачено кошторисами. В силу зазначених причин, наприклад, маса бака окиснювача першого ступеня РН "Зеніт" обтяжена на ~400 кг, що еквівалентно зменшенню корисного навантаження на ~100 кг.

Серед рідкісних публікацій на тему застосування гелію в СН відзначається лише одна – він легкий. Тут слід зазначити, що найкращий у світі титановий балон для гелію виробництва ДП "ВО ПМЗ", що зміцнюється в криогені, внутрішнім об'ємом 132 л, важить 45 кг. І це без магістралей його зарядки та подачі гелію до трактів СН. При цьому з нього використовується лише ~8,5 кг гелію. У кожному балоні залишається не використаним до 5 кг гелію. Пропозиції скидати його до кінця польоту радикально проблему не вирішує [8]. Так легкий гелій чи ні? Питання, на думку авторів, риторичне.

Це один істотний недолік гелієвих систем не можна оминати. Це неможливість імітації нестационарного нагрівання гелію при автономному наземному відпрацюванні СН без штатного теплообмінника маршового РРД, з його унікальним теплоносієм (окислювальний генераторний газ після турбіни з тиском ~28 МПа та розрахунковою температурою на режимі в номіналі 630 – 650К). Цей момент суттєво знижує достовірність та інформативність наземних автономних випробувань СН. Це своє чергу також вимагає певних запасів робочого тіла на борту і, відповідно, підвищення розрахункового тиску газу баках та його міцності (маси).

Далі, тип гелієвих СН багато в чому формує не тільки конструктивну складність РН (а, значить, і її надійність), а й структуру стартового комплексу, стендової випробувальної бази, виробничих потужностей. Це відбувається через те, що системи, що розглядаються, у загальному випадку, споживають із зазначених місць значний унікальний ресурс – гелій з жорсткими вимогами щодо тиску, витрати, температури. Природно, така ситуація знаходить свій відбиток у показниках надійності, вартості та термінах розробки всього ракетно-космічного комплексу.

Наприклад, схема підготовки та постачання холодного гелію для



заряджання балонів СН РН «Зеніт» має наступний склад. Вона включає 1266 балонів високого тиску ( $37,5 \div 40,5$  МПа) по 500л кожен, більше 3000 одиниць пневмоапаратури, протяжність трубопроводів становить десятки кілометрів (дані головного розробника старту І.І. Барміна). Устаткування розміщено глибоко під землею в термостатованих приміщеннях. Воно повинно регулярно обслуговуватися, змінюватися (при необхідності), судини високого тиску ще і перевіряються органами держнагляду.

Через найбільше поширення в світі і тривалий досвід експлуатації гелієвих ПГСП може скластися враження їх підвищеної надійності. Однак це далеко не так. Наведемо приклади їх ненадійності тільки з самого недалекого минулого:

– 7.08.2012 р. позаштатно закінчилося виведення РН «Протон-М» низки супутників через засмічення магістралі наддування гелієм бака пального розгінного блоку "Бриз-М". Корисне навантаження було втрачено;

– 26.10.2012 р. пусковій команді довелося відкласти пуск РН KSLV-1 через витік «холодного» гелію, що виникла при заправці балонів системи наддування I ступеня російського виробництва (аналог I ступеня РН «Ангара»). РН була знята зі стартової позиції для усунення несправності.

– 17.04.2014 р. відклали запуск космічного корабля Dragon до МКС. За повідомленнями прес-служби NASA причиною перенесення дати старту з'явився витік гелію в РУ першого ступеня;

– 27.06.2014 р. не відбувся перший пуск РН «Ангара» легкого класу, який знаходиться в розробці більш 19 років. Причиною скасування пуску РН стало падіння тиску гелію в балоні наддування газового демпфера, встановленого у видатковій магістралі рідкого кисню. Для усунення несправності на полігоні «Плесецьк» довелося знімати РН «Ангара» зі старту;

– 28.06.2015 р. відірвався балон з гелієм в баку окиснювача II ступеня РН Falcon 9 при роботі РУ I ступеня. Корисне навантаження для МКС, багаторазовий корабель Dragon були втрачені;

– 1.09.2016 р. на РН Falcon-9 вперше була зроблена спроба використання кисню з температурою  $\sim 66$ К. На етапі заправки киснем при підготовці до вогневих випробувань носія сталось руйнування бака окиснювача II ступеню з подальшою пожежею. РН із супутником були повністю знищені. Великі пошкодження отримав старт. З причинами аварії розібралися – помилки в конструюванні гелієвих систем.

Цікаво відзначити, що сучасні РРД на два порядки складніші агрегати, ніж гелієві ПГСП, проте такої гнітючої статистики за ними не відзначається.

У середині шістдесятих років минулого століття здійснено якісний стрибок у світовому двигунобудуванні. На зміну ракетним двигунам, що використовують для роботи турбіни парогаз з перекису водню (РД-100, РД-103, РД-107), а також відновлювальний газ (без допалювання в камері згорання) з основних компонентів палива (РД-111, F-1, LR-105, LR-89), прийшли двигуни з допалюванням окислювального газу (НК-9, НК-15, НК-30, РД-170, РД-180, РД-191), що дозволило суттєво підняти питомий імпульс. При цьому відбулося помітне зниження температури генераторного газу перед турбіною через проблеми зі стійкістю матеріалів у високотемпературному окислювальному середовищі. Природно, під час роботи ЗРД за цією схемою знижується і температура генераторного газу після турбіни (робоче тіло гелієвого ТО) – з  $870 \div 920\text{K}$  до  $620 \div 650\text{K}$  на номінальному режимі.

Особливо слід підкреслити, що власне номінальний режим у сучасних двигунах з допалюванням окиснювального газу (РД-180, РД-191, РД-193) перших ступенів РН реалізується всього кілька десятків секунд (рис.2). Решта часу двигун перебуває у стані дроселювання (зокрема, і глибокого, до 30% тяги), що досягається істотним зниженням і так невисокої температури генераторного газу. Однак цей важливий момент для гелієвих СН належного теоретичного осмислення не отримав і у практичну площину не втілювався.

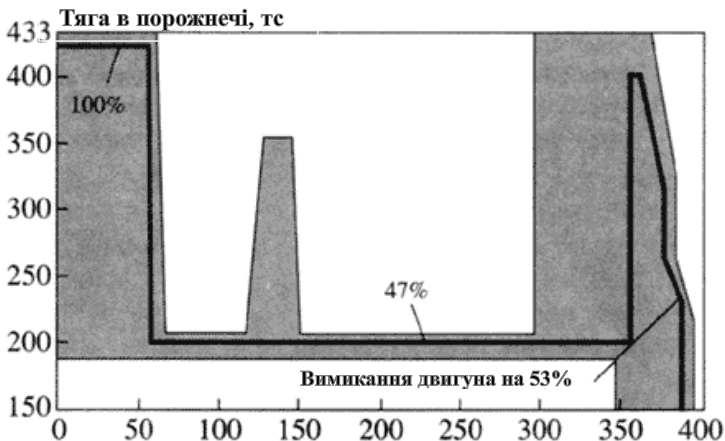


Рисунок 2 – Циклограма роботи РРД РД-180 для РН Atlas-5 легкого класу (дані Б. І. Каторгіна)

Одним із основних напрямів підвищення ефективності СН може бути використання робочих тіл наддування з дедалі вищою температурою – генераторного газу [5], [6], [7], [8], що отримується на борту РН. Саме цим шляхом вела розвиток ракетної техніки дніпровська школа систем живлення РРД [5]. Її засновником по праву вважається один із перших випускників кафедри двигунобудування професор М.М. Біляєв [1]. Наприклад, в ДУ МБР останніх поколінь (18М «Сатана», компоненти палива АТ і НДМГ), розроблених у КБ «Південне», досягнуто рівень температур робочого тіла на вході в бак в  $\sim 1300\text{K}$  [9]. При цьому передпускове наддування усіх баків було хімічним (гарячим) – вприскування самозаймистих компонентів в вільні обсяги алюмінієвих баків. У той же час в сучасних РУ з допалюванням окисного газу (паливо – кисень і РГ-1) цей параметр (середньомасова температура гелію на вході в бак за часом польоту) ледве перевищує  $400\text{K}$ .

Таким чином, стає видно орієнтири вдосконалення СН паливних баків з «космічними» компонентами палива рідкий кисень і гас. СН, з метою виявлення можливих резервів і напрямів подальшої модернізації відповідно до викликів сьогодення.

При вогневому комплексному відпрацюванні ступеня (через відсутність перенавантаження зменшується вклад стовпа пального) потрібний тиск компонента на вході в працюючий двигун для бескавітаційної роботи забезпечується підвищеним діапазоном тиску газу в баках (порівняно зі штатним). Це досягається азотним стендовим піднаддуванням. Відповідно, у баках для вогневого відпрацювання збільшується товщина стінок. Це, у свою чергу, призводить до зміни теплових втрат у конструкцію через іншу середньомасову температуру газу в баку. Результати вогневих випробувань щодо параметрів штатних СН, звичайно, помітно «змазаними».

Особливо слід відзначити незначну підсумкову (на вході в бак) величину нагрівання гелію навіть у найсучасніших маршових ДУ (РД-171М, РД-180, РД-191), що працюють за схемою з допалюванням окисного генераторного газу. Так, на номінальному режимі роботи ДУ (максимальна температура теплоносія у нового двигуна РД-171М  $\sim 650\text{K}$ , причому, за останні тридцять років вона підвищилася всього на  $10\text{K}$ ) розрахункова температура гелію на виході із теплообмінника складає  $540 \pm 70\text{K}$ . Картина суттєво не змінюється при використанні запатентованого новітнього, менш важкого пластинчастого теплообмінника [10], встановленого на РД-191. У будь – якому випадку, до входу в бак, наприклад, окиснювача, гелій по довжині «гарячої» труби втрачає у середньому ще  $50\text{K}$ . Причому, ця невисока номінальна температура реалізується короткочасно, так як маршові двигуни

помітну частину часу дроселюються (а сучасні досить глибоко, до 70%, і ця тенденція далі буде тривати), що досягається зменшенням температури генераторного газу, і, відповідно, температури теплоносія.

Так, сучасні двигуни планово дроселюють для зменшення швидкісного напору, для обмеження перенавантаження і т.п. Це призводить до того, що розрахункова середньомасова температура гелію після теплообмінника за весь час польоту для I ступенів РН «Зеніт» і РН «Енергія» трохи вище 410К. Звичайно, таке наддування з натяжкою можна вважати гарячим, і це є невід'ємною властивістю газобалонних схем наддування баків з теплообмінниками маршових РУ, що працюють за схемою з допалюванням окиснювального газу.

## ВИСНОВКИ

Проведені дослідження гелієвих СН паливних баків дозволили визначити їх основні хронічні недоліки, що в подальших дослідженнях допоможе сформулювати шляхи їх удосконалення. Основними параметричними та конструктивними недоліками газобалонних гарячих гелієвих СН паливних баків РУ виявлені наступні:

- велика маса гелієвих газобалонних СН;
- збільшення розрахункового діапазону тиску газу в баку, підвищення розрахункового значення тиску на міцність бака з подальшим збільшенням маси паливного бака;
- низька температура гелію на вході в бак у сучасних схемах РУ з допалюванням окиснювального газу;
- неможливість імітації унікального теплоносія ТО РУ при наземному автономному відпрацюванні системи без самого двигуна;
- велика залишкова маса гелію в балонах, особливо верхнього бака окиснювача;
- великий непродуктивний об'єм, який займають балони з гелієм у баку окиснювача;
- велика кількість зварних швів, температурних компенсаторів, поворотів у магістралях наддування та зарядки гелієм балонів, жиклерів, агрегатів автоматики (підвищений опір трактів наддування), які потребують численних видів сучасного контролю, часу, спеціальної оснастки та висококваліфікованого персоналу;
- суттєве ускладнення та подорожчання конструкції космодрому, стендової бази та виробничих потужностей.

## ПОСИЛАННЯ

1. Біляєв М. Системи надува паливних баків ракет. М. : Машинобуд., 1976. 328 с.
2. Ring Elliot. Rocket Propellant and Pressurization Systems. – Prentice Hall., Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1964, 404 p.
3. Дегтярьов О.В., Кушнар'ов О.П., Попов Д.О. і ін. Ракета космічного призначення надмалого класу// Космічна техніка. Ракетне озброєння: сб. наук.-техн. ст. ГКБ «Південне». – 2014. – №1. – С. 14 – 20.
4. Мітіков Ю. А. Газобалонні системи наддування і ракето-носії нового покоління//Космічна техніка. Ракетне озброєння, 2012, №1, С. 179 – 185.
5. Мітіков Ю. О., Антонов В. О., Волошин М. Л., Логвиненко О.І. Шляхи підвищення надійності і безпеки під час експлуатації ракетних комплексів // Авіаційно-космічна техніка і технології, 2012, № 3 (90), С. 30 – 36.
6. Мітіков Ю.О., Свириденко Н. Ф. Проблеми використання високотемпературного газу для наддування паливних баків двигунних установок нового покоління і шляхи їх вирішення // Технічна механіка, 2013, №1, С.68 – 77.
7. Мітіков Ю. О., Бучарський В. Л., Пономар'ов О. М. Теплообмінники ракетних двигунів і енергетичних установок на відновлюваних джерелах енергії. Конструкції та методи розрахунку/ Навч. посібник (двома мовами – українською і англійською). ДНУ ім. О. Гончара. ТОВ Сова. – 2023. – 279с.
8. Mitikov Yu., Shynkarenko O. Reduction of the Pressurization System Final Mass for a Modern Rocket Launcher/ Journal Aerosp. Technol. Manag., São José dos Campos, v14, e0122, 2022, p.1 – 10. <https://doi.org/10.1590/jatm.v14.1238p1>
9. Мітіков Ю.О. Генераторне наддування баку з РГ-1 ракето-носія // Східно-європейський журнал передових технологій, 2012, №4/8 (58), С. 6 – 9.

## **РОЗРОБКА СХЕМИ ВІДБОРУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ДОМЕННОГО ГАЗУ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

*Альона Миколаївна Ялова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0926-542X>

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

*Станіслав Миколайович Криворучко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7440-5187>

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

### **Вступ**

У сучасних реаліях енергетики світу та України одним з векторів розвитку є ефективне використання наявних енергоресурсів, одним з методів ефективного використання Енергоресурсів є так звані ВЕР-вторинні енергетичні ресурси, це побічні від основного виробництва ресурси що можна використовувати у енергетиці наприклад тепло від лінії охолодження машин та агрегатів, або як у випадку що розглядається у даній роботі Доменний газ.

Доменний газ – це побічний продукт металургійного виробництва. Доменний газ утворюється під час виплавки чавуну в доменних печах. Його вихід і хімічний склад залежать від властивостей шихти і палива, режиму роботи печі, способів інтенсифікації процесу та інших чинників.

Окрім питання енергетики правильна утилізація доменного газу є нагальною у масштабі екології, доменний газ є екологічно небезпечним продуктом металургії та не може бути просто викинутий у атмосферу.

Саме через Скупчення факторів необхідності утилізації та наявним енергетичним потенціалом створення схем ефективного відбору доменного газу є нагальним питанням не лише енергетики а також металургії та екології.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Метою даної роботи є проаналізувавши світовий та Український досвід, розробити енергоефективну схему відбору та застосування доменного газу у виробництві енергоресурсів, в першу чергу електроенергії.

Окрім безпосередньо вироблення електроенергії, цільовим питанням роботи є аналіз та вибір схем очищення доменного газу, так

як запиленість на виході з печі колошниковим пилом, що містить оксиди заліза, кремнію, алюмінію, марганцю, сірки, а також інші компоненти, наявні в шихті, дуже висока.

У разі застосування доменного газу для обігріву коксових печей, повітрянагрівачів доменних печей, а також в утилізаційних безкомпресорних турбінах (УБТ) вміст пилу в ньому не повинен перевищувати 4 (мг/м<sup>3</sup>).

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Основними методами при вивченні питання відбору доменного газу для вироблення електричної енергії є аналіз світового та Українського досвіду металургійних підприємств у даній області.

Особлива увага у аналізі приділялася саме випадкам подальшого вироблення електроенергії так як у даному конкретному випадку вимоги до технологічної схеми можуть відрізнитися.

Також у масштабі роботи з метою підняття практичної цінності брався до уваги не лише технологічний а також економічний аспект процесу видобутку електроенергії з доменного газу в умовах металургійного виробництва.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Доменний газ являє собою суміш таких газів: окису вуглецю, вуглекислого газу, азоту, водню і метану. Кисень у доменному газі відсутній. Доменний газ під час відведення з колошника доменної печі, особливо в період завантаження шихти (опускання великого конуса), захоплює із собою дрібні фракції шихтових матеріалів, що унеможливає використання його як палива без попереднього спеціального очищення. Вміст пилу в брудному колошниковому газі коливається від 5 до 100 г/м<sup>3</sup>.

Фізико-хімічний склад доменного газу різний і залежить від режиму роботи доменної печі, шихти, способів інтенсифікації процесу та інших чинників. Доменний газ порівняно з іншими горючими газами містить велику кількість окису вуглецю, що робить його дуже токсичним.

Для досягнення необхідних параметрів доменного газу застосовується декілька методів очищення:

- Мокрі електрофільтри (WESP);
- Мокрий метод очищення з застосуванням труб Вентурі з водним орошенням.
- Та сухий метод без застосування системи орошення газу.

- Сухі електрофільтри (DESP);
- Циклони;
- Скрубери.

Український досвід використання ВЕР доменного газу показує що видобуток електроенергії за рахунок даного ВЕР найчастіше використовують повноцінні ТЕС, подібна конфігурація дає можливість з найвищою економічною ефективністю покривати усі потреби у електроенергії для підприємства також не обмежує можливості введення нових енерго-споживачів що впливають на роботу підприємства.

Через цей фактор у даній роботі ТЕС було обрано як основний кінцевий споживач.

Так як для роботи ТЕС на доменному газі потреби до чистоти газу нижчі ніж для роботи УБТ. Достатніми методами очищення вважаються конфігурація з циклонами та мокрим методом очищення з орошенням у трубах Вентурі. Дані методи найменш енергоємкі та найменш економічно навантажені що є безпосереднім плюсом у сучасному світі. Так як за ціль поставлено покриття електроспоживання цілого підприємства одного доменного газу недостатньо, тому у дану схему також включено подання природного газу до ТЕС.

Дана конфігурація дозволить працювати підприємству в умовах зупинки печей на поточні ремонти, діяти відокремлено від зовнішніх факторів.

Загальносвітовий досвід використання ТЕС в подібних умовах показує менший час на окупність конфігурації.

## **ВИСНОВКИ**

Загалом у проведеній роботі розглянуто та проаналізовано різні типи та конфігурації технологічних схем видобутку електроенергії з ВЕР доменного газу в умовах металургійних підприємств.

Було виділено найпопулярніші та найпоширеніші типи підготовки газу, розглянуто технологічні конструкції застосування такого палива я доменний газ.

Розглянуто умови в яких доменний газ використовуються як моно-паливо, та ситуації де використання даного ВЕР йде у комплексі з традиційними видами спалююмого палива.

Конфігурація висвітлена у даній роботі загалом висвітлює ті тенденції та завдання що ставлять перед собою підприємства в меншій ступені висвітлюючи найтехнологічніші рішення у данній області.

Не дивлячись на не найтехнологічніше рішення конфігурації даної системи, ця робота висвітлює практичні сучасні задачі в умовах економічної доцільності у вирішенні промислових задач де



практична доцільність є основним пріоритетом у вирішенні завдань енергетичної безпеки.

## ПОСИЛАННЯ

1. Гічов Ю. О. Вторинні енергоресурси промислових підприємств. Частина I : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2012. 56 с.
2. Н. В.Ливитан. Конспект лекцій по дисципліне «Теплоенергетика» : конспект лекцій. Днепропетровск : Национальная металлургическая академия Украины, 2005. 35 с.
3. Электронный научный архив УрФУ: Применение доменного газа в комбинированном парогазовом цикле. Электронный научный архив УрФУ: Главная страница. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/58383>.
4. Г. Б. Варламов, Г. М. Любчик, В. А. Маляренко. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії : підручник. Київ : Політехніка, 2003. 232 с.
5. Українська радянська енциклопедія. У 12-ти томах. / За ред. М. Бажана. — 2-ге вид. — К., 1974—1985.
6. Тепловая электростанция (ТЭС): финансирование и проектирование, строительство и модернизация. Инвестиции, финансирование и инжиниринг | ESFC. URL: <https://esfccompany.com/articles/teplovaya-energetika/teplovaya-elektrostantsiya-tes-proektirovanie-stroitelstvo-i-modernizatsiya/> (дата звернення: 29.05.2023).
7. 3.2 Очистка колошникового газа. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/15921016/page:3/> (дата звернення: 29.05.2023).
8. Труба Вентури: принцип работы, чертеж. Все о трубах - Энциклопедия от А до Я. URL: <https://o-trubah.com/klassifikatsiya-trub/dymohodnye-truby/venturi/> (дата звернення: 29.05.2023).

## **РОЗРОБКА СХЕМИ ВІДБОРУ ЧАСТИНИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ З КОНТУРУ ОХОЛОДЖЕННЯ КОЖУХУ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ГОСПОДАРЬКО-ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*Нікіта Ігорович Альберт*

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

*Альона Миколаївна Ялова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0926-542X>

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

### **Вступ**

У сучасних реаліях енергетики світу та України одним з векторів розвитку є ефективне використання наявних енергоресурсів, одним з методів ефективного використання Енергоресурсів є так звані ВЕР-вторинні енергетичні ресурси, це побічні від основного виробництва ресурси що можна використовувати у енергетиці наприклад тепло від лінії охолодження машин та агрегатів, або як у даному випадку цілих виробничих систем таких як Доменна піч.

В об'ємі такої установки як доменна піч наявна дуже велика система охолодження як самої печі так і інших частин комплексу що контактують з високими температурами що відходять від чавуну та шлаку.

У своїй більшості температура від системи охолодження найчастіше просто утилізується у градирнях доменного комплексу ніяк не використовуючись у об'ємі додаткових задач по енергозбереженню що відходить від тенденцій виробничих та енергетичних моделей розвитку.

У наступну чергу велика теплова енергія що по суті просто викидається в атмосферу також має хоч і не дуже значні але усе ж наслідки для екології регіону де знаходиться виробництво.

Саме тому розробка системи з використанням теплової енергії з контуру охолодження кожуху доменної печі для опалення приміщень господарсько-побутового призначення є перспективним напрямом для розвитку енергетики у масштабі металургійних комплексів.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Основною метою роботи є розробка принципової схеми для відбору та застосування теплової енергії з контуру охолодження доменної печі для опалення приміщень доменного цеху. Адміністративно-

побутові приміщення, майстерні, склади що потребують опалення.

Схема що розробляється являє собою принциповий погляд на ситуацію з використанням теплової енергії як ВЕР з урахуванням потреб цеху в опаленні, потреб економії класичних енергоресурсів таких як, природний газ та дизпаливо або електроенергія що звичайно використовуються у цих цілях.

Однією з задач що ставилися у цій роботі це урахування можливостей включення даної системи у уже існуючі доменні комплекси, нові комплекси будуються досить рідко, а реконструкції існуючих проводяться регулярно, але вони можуть накладати обмеження на конструкцію застосування даної схеми, що і потрібно урахувати у побудові принципової схеми, дана змінна впливає на практичне значення роботи де економічна та енергетична доцільність є основними факторами для запровадження конструкцій в роботу комплексу.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дана робота є в певній мірі інновацією в використанні ВЕР тепла енергія контуру охолодження кожуху доменної печі, у відкритих джерелах немає згадок про подібне використання даної енергії у якості ВЕР.

Через відсутність достатнього світового досвіду по даній темі основними джерелами для аналізу у даній роботі були розглянуті існуючі у світі та Україні технології охолодження доменних печей, та існуючі та популярні схеми парового опалення.

Також у для роботи були проаналізований досвід реконструкцій доменних комплексів для розуміння реалій запровадження подібної схеми що повинно підняти практичну цінність роботи.

## РЕЗУЛЬТАТИ

У ході роботи проаналізувавши існуючі системи охолодження води з контуру охолодження доменної печі були виявлені конструктивні фактори що впливають на конструктив розроблюваної схеми та накладають свої корективи, так можна сказати що водний контур з печі не може змішуватися з іншим водним контуром, зона контакту цих контурів повинна бути виконана з якісних матеріалів що не будуть впливати на якість води яка йде на піч.

Схема передачі тепла з води на воду серед існуючих технологічних найкращою є бойлерна схема що максимально відповідає нашим вимогам до технології передачі тепла, окрім того бойлерні установки вже найчастіше присутні у доменному виробництві як складова

частина охолодження води з контуру печі та є проміжною частиною до градирень.

У масштабі реконструкцій доменних цехів а саме реконструкцій бойлерних установок розширення бойлера шляхом додавання додаткового контуру який піде на опалення приміщень цеху найчастіше не може бути можливий. Так як загальна номінальна потужність оновленого бойлеру на 2 контури значно перевищувати минулі показники, так як другий контур у неопалювальний період не буде працювати, а контур охолодження печі встановлений раніше буде працювати з тією самою потужністю, так як влітку охолоджувати піч буде лише він. А отже єдиним правильним шляхом що не буде впливати на роботу цеху у негативному форматі та надасть можливість зняти теплову енергію та направити її на потреби цеху це будівництво додаткової бойлерної, номінальної потужності якої буде достатньо на опалення приміщень цеху.

А отже у побудові принципової схеми беремо до уваги наступне, вода з печі надходить на бойлерну опалення цеху повертається у систему очищеної води надходить у бойлерну охолодження де температура та тиск вирівнюються до необхідних для технологічного процесу печі значень.

## ВИСНОВКИ

Отже у даній роботі була розроблена принципова схема відбору тепла з контуру охолодження доменної печі для опалення приміщень господарсько-побутового призначення. Де раніше просто утилізуємо в атмосфері тепло буде використано з ціллю економії класичних енергоресурсів, що у сучасних екологічних та енергетичних тенденціях є основним шляхом розвитку, та надає більші гарантії енергетичної безпеки підприємства.

## ПОСИЛАННЯ

1. Гічов Ю. О. Вторинні енергоресурси промислових підприємств. Частина I : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2012. 56 с.
2. Н. В. Ливитан. Конспект лекцій по дисципліне «Теплоенергетика» : конспект лекцій. Днепропетровск : Национальная металлургическая академия Украины, 2005. 35 с.

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА ДЛЯ БІЛЬШ ЕФЕКТИВНОГО СПАЛЮВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ТВЕРДОГО ПАЛИВА**

*Альона Миколаївна Ялова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0926-542X>

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

*Богдан Сергійович Пастушок*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7666-7963>

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

### **Вступ**

У сучасній енергетичній ситуації в країні та світі, з постійною тенденцією до зростання ціни на опалення, усе більше домогосподарств переходять на персональні опалювані системи. Найбільшу популярність мають опалювальні системи на базі твердопаливних котлів, через цінову та технологічну доступність навіть у найменш розвинених регіонах країни та світу ці теплові системи мають найбільшу популярність серед інших видів опалення та гарячого водопостачання.

Серед найбільш перспективних шляхів модернізації твердопаливних котлів є шлях більш до ефективного спалювання твердого палива, та отримання максимальної кількості енергії з спаленої одиниці палива.

Шляхами модернізації для ефективного спалювання є удосконалення конструкції та встановлення додаткового обладнання.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Метою даної роботи є розробка конкретних рекомендацій до проектних та конструктивних складових твердопаливного котла серед конструкцій запропонованих ринком даних товарів.

Окрім конструктивних складових безпосередньо самого котла за мету роботи поставлено розробку рекомендацій до встановлення додаткового обладнання до самого котла серед приборів та обладнання представленого на ринку.

Основними задачами роботи було визначено такі питання:

- Аналітичний огляд котельного господарства в Україні і світі;
- Аналітичний огляд шляхів та методів модернізації твердопаливних котлів
- Аналітичний огляд конструктивних складових твердопаливного котла та додаткового до них обладнання.

– Порівняння якісних характеристик конструктивних формфакторів котлів та визначення позитивних та негативних якостей тих чи інших формфакторів.

– Аналіз якісного впливу на роботу котла додаткового обладнання та визначення позитивних та негативних якостей встановлення тих чи інших одиниць обладнання.

– Розробка рекомендацій до модернізацій конструктивної схеми твердопаливного водогрійного котла та порівняння ефективності до та після модернізації.

## **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ**

Основними методами при написанні роботи являються аналітичні методи дослідження наукових та інших матеріалів.

З метою підняття практичної цінності даної роботи було проаналізовано ринок пропозицій у сфері автономного опалювання у розділах твердопаливних котлів, проаналізовано найпоширеніші види котельного устаткування що користуються попитом в Україні.

Також у масштабі роботи для розробки конкретних рекомендацій для модернізації твердопаливних котлів проаналізовано типи та формфактори конструктивних елементів запропонованих на ринку котлів, задля формування схеми модернізації конструкції твердопаливного котла проаналізовано різні конструктивні складові та роботу цих конструкційних складових у різних зв'язках, як між складовими котла так і у зв'язці з додатковим котельним обладнанням.

Так як у відкритому доступі існує багато емпіричних досліджень властивостей та режимів роботи котельної продукції найбільшої уваги було приділено аналізу саме даних емпіричних статей.

## **РЕЗУЛЬТАТИ**

У ході роботи розглядалися різні типи котлів Газотрубні та Водотрубні, у ході роботи для використання у масштабі домогосподарств виділено як більш ефективні Газотрубні котли, вибір на цей формфактор було зупинено через наступні якісні фактори:

- Менша початкова ціна;
- Більш просте обслуговування;
- Наявність на ринку високої кількості пропозицій;
- Високі перспективи до модернізації.

При розгляданні газотрубного формфактору твердопаливного котла, були виділені наступні конструктивні складові що безпосередньо впливають на ефективність установки.

- Топка;
- Радіатор;
- Водяний контур або контури;
- Димохід.

У ході роботи виділено різні формфактори кожної х конструктивних складових установки для топки будо зупинено увагу на топці об'ємного горіння через наступні переваги:

- Найвищий КПД;
- Найбільші можливості контролю режимів роботи;
- Найменші потреби у часі поточного обслуговування;
- Найменші габарити.

Серед формфакторів радіаторів було обрано формфактор трубного радіатора, через наступні переваги:

- Можливість збільшити площину радіатору при низьких показниках загальних габаритів установки.

Водні контури не мають великої кількості формфакторів і розділяються лише по кількості водних контурів. У даній роботі не розглядається лише одно-контурна схема так як на ефективність спалювання палива загалом не впливає кількість водних контурів окрім випадків коли один з контурів не працює і площина радіатора що зайнята під другий контур не працює як належне. Такі випадки не розглядаються у даній роботі.

Типи димоходу впливають лише на установку котла та не впливає на напряму на ефективність тому цей вузол не розглядається з точки зору модернізації.

Серед наявних на ринку видів додаткового обладнання у зв'язці з топкою об'ємного горіння на якій було зупинено вибір та з трубним радіатором на збільшення ефективності котла позитивно вплинуть наступні типи обладнання:

- Водяний насос. Це обладнання збільшить швидкість та об'єм потоку води у котлі та отже краще буде охолоджувати радіатор який знаходиться в котлі а отже більше енергії забирає з установки.

- Спіральні завихрювачі. Спіральні прутки з листа металу що встановлюються в труби трубного радіатору це обладнання зменшує швидкість потоку гарячого повітря по трубах радіатору перетворюючи ламінарний потік на турбулентний і дає можливість якісніше відпрацювати радіатору та зняти з гарячого повітря більше енергії.

- Димохідний всмоктувач. Дане обладнання не має опосередкованого прямого впливу на роботу ефективність котла але при встановлених спіральних завихрювачах дуже сильно знизиться загальна тяга у димарі що тягне за собою небезпеку у експлуатації котла від зворотної тяги до детонації, а отже є необхідним для безпеки експлуатації.

## ВИСНОВКИ

Загалом у даній роботі розглянуто різні типи формфактори твердопаливних котлів, проаналізовано ринок твердопаливних котлів на предмет запропонованих конструкцій. Було виділено найпоширеніші конструкції та найефективніші конструктиви.

Проаналізовано напрями модернізації котлів, розроблено конкретні проектні схеми які дадуть найвищі показники ефективності установки на одиницю використаного палива.

Результати цієї роботи мають цільове практичне значення для використання твердопаливних котлів у енергетичній ситуації для зацікавлених у такому типі автономного опалення домогосподарств.

Що дозволить збільшити енергетичну безпеку даних об'єктів.

## Посилання

1. Модернізація котлів опалення: актуальність і переваги - EPG. EPG. URL: <https://epg-kolvi.com/statti/modernizacziya-kotliv-opalennya/> (дата звернення: 20.05.2023).

2. Обслуговування та чистка твердопаливного котла опалення. WWW.SVITTEPLA.COM.UA. URL: <https://www.svittepla.com.ua/ua/blog-kompanii/obsluzhivanie-tverdoplyvnogo-kotla> (дата звернення: 20.05.2023).

3. Основні вимоги з безпеки праці при експлуатації твердопаливних котлів - Охорона праці і пожежна безпека. Охорона праці і пожежна безпека. URL: <https://oppb.com.ua/news/osnovni-vymogy-z-bezpeky-praci-pry-ekspluataciyi-tverdopalyvnyh-kotliv> (дата звернення: 20.05.2023).

4. Твердопаливні котли України - перспективи ринку – Укрбіо. dom.ukr.bio. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/9784/> (дата звернення: 20.05.2023).



## **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕПЛОВИХ КОТЛІВ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

*Ігор Михайлович Токарський*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4677-2210>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Володимир Олексійович Габрінець*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6115-7162>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

В наш час, коли є можливість аварійні відключення систем електро-, газо- та теплопостачання в зимній час, є цілком доцільним встановлення резервних, децентралізованих систем опалення для житлових та медичних установ. Також такі рішення можуть бути корисними в довгостроковій перспективі за рахунок використання більш дешевих та доступних альтернатив традиційному паливу.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Аналіз існуючих котлів опалення для пошуку ефективних варіантів для децентралізованої системи опалення.

### **ТВЕРДОПАЛИВНІ КОТЛИ**

Тверді палива мають досить широкий асортимент[1] - різні види вугілля, дрова, пелети та відходи сільського господарства та ін. Через ситуацію в Україні вартість вугілля та дров є високою, тому насамперед розглядаються плети через їх невисоку ціну та велику пропозицію на ринку.

Головний недолік твердопаливних котлів полягає в неможливості повної їх автоматизації та досить низький ККД у порівнянні з іншими варіантами[1]. В випадку з дровами і вугіллям процес подачі палива та своєчасне видалення золи виконується вручну. Трішки кращою ситуація є з пелетами та дробленим вугіллям, їх подачу та спалювання можна автоматизувати, а залишок золи є мінімальним, проте вартість такої автоматизованої системи є досить високою.

Під час роботи твердопаливного котла усередині топки утворюється значна кількість диму. Для видалення продуктів горіння використовують теплоізольовані труби, що прокладені від котла за межі

споруди.

Обов'язковою умовою процесу горіння є подача повітря. Причому від інтенсивності цієї подачі залежить швидкість горіння, що використовується для регулювання потужності, за допомогою механічних заслінок та шиберів.

Принцип дії твердопаливних котлів дозволяє їм бути частиною різних сучасних схем[4]. Йдеться як про найпростіші одноконтурні варіанти, так і про найпотужніші багатофункціональні агрегати з високою продуктивністю.

По способу теплообміну котли бувають:

- Повітряними.
- Паровими.
- Водними (зустрічаються частіше всього).

За принципом роботи поділяються на:

• Традиційні. Працюють на дровах та вугіллі. Принцип дії такий самий, як у звичайної дров'яної печі.

• Тривалого горіння[2]. Твердопаливні котли тривалого горіння мають вигляд подовженої камери топки, оточеної з усіх боків водяною сорочкою. При горінні полум'я поширюється не знизу вгору, а зверху вниз, нагадуючи процес горіння свічки. Принцип роботи котла тривалого горіння дозволяє досягати повного згорання палива. При цьому збільшується проміжок горіння однієї закладки палива (до 7 діб). Безперебійне та безпечне функціонування таких моделей досягається за рахунок включення в конструкцію вентиляторів для екстреного гасіння, запобіжного клапана та циркуляційної помпи.

• Пелетні. Як паливо тут використовуються спеціальні пелети. Такі котли додатково оснащуються автоматичною системою подачі пелет та бункером для зберігання палива. Завдяки електронним датчикам здійснюється контроль наявності палива усередині топки. Для роботи такої системи потрібне стабільне електричне живлення через наявність механізмів подачі та контролю рівня палива.

• Піролізні[2]. Ефективність роботи піролізних (газогенераторних) котлів досягається за рахунок роздільного спалювання твердого палива і виділення в процесі горючих газів в окремих камерах згорання. Під впливом високої температури (200-800С) і при обмеженому доступі повітря в камеру згорання відбувається розкладання палива на твердий залишок і піролізний газ (суміш азоту, водню, чадного газу та вуглеводнів). Горючий газ за допомогою вентилятора подається по керамічній форсунці в другу камеру, де відбувається підмішування кисню і спалювання газу. В результаті досягається підвищення ККД котла та зниження кількості диму та кіптяви.

## ГАЗОВІ КОТЛИ

До газових палив відносять природній та скраплений газ. Газ є одним з самих дешевих видів палива, але в портативному варіанті можна використовувати лише скраплений газ в спеціальній ємності – газгольдері, що є значно дорожчим варіантом ніж природний газ з централізованої магістралі

Перевагою газових палив є відсутність важки елементів та сажі в продуктах згорання[1], це дає змогу повністю автоматизувати систему спалювання без необхідності ручної чистки. Автоматичні газові котли працюють безшумно, і не потребують участі людини.

Конструкція газового котла є дещо складнішою за твердопаливний, тому має сенс розглянути його основні компоненти:

- Газовий пальник. Ця конструкція включає форсунки, які і служать місцем проведення газу всередину камери згорання. Конструкція пальника може бути атмосферного або надувного типу. Перший варіант пальника працює з меншим шумом, проте, ефективність їх нижча в порівнянні з надувним обладнанням.

- Теплообмінник. Цей пристрій є коробом з металу, обладнаний вбудованою батареєю. Усередині цього короба проходять труби, якими циркулює теплоносій. Якщо в котлі одноконтурного типу теплообмінник може бути лише один, то у двоконтурних апаратах їх може бути два (первинний і вторинний).

- Циркуляційний насос. За допомогою цього пристрою регулюється тиск, що виникає у системі з циркуляцією, що працює за примусовим принципом. Не всі котли оснащені цією системою, в такому випадку, за необхідності, насос встановлюється окремо.

- Розширювальний бак. Основне призначення цього елементу – тимчасове відведення теплоносія, що необхідно у разі нагрівання та розширення води. Якщо планується використовувати опалювальне обладнання на великих ділянках, можна змонтувати додатковий розширювальний бак.

- Газовідведення. У котлах атмосферного типу цей елемент приєднується до окремої димової труби, що має вільну циркуляцію, а в турбованих механізмах є вже подвійна труба відведення коаксіального типу, виведення продуктів горіння в якій здійснюється за допомогою вмонтованого вентилятора.

- Автоматична система, яка є центром керування котлом. Основним його елементом є електронна або аналогова схема, що дозволяє встановити бажаний режим роботи котла.

## **ДИЗЕЛЬНІ КОТЛИ**

В якості рідких палив використовують дизельне паливо, мазут і відпрацьоване масло. В випадку обігрівачів для приміщень доцільним є використання лише дизельного палива, так як інші варіанти потребують складну систему спалювання[3], та утворюють багато небезпечних для здоров'я продуктів згорання.

Дизельне паливо не поступається газу у високому ККД при згорянні[3], його значно простіше транспортувати, але його ціна приблизно в 5 разів вище.

Котли на цьому паливі працюють автоматично без участі людини, мають високу потужність, легкі в обслуговуванні та регулюванні.

Недоліками є необхідність додатково встановлювати ємність для пального з врахуванням мір з пожежної безпеки. Саме ж паливо при температурах нижче  $-5^{\circ}$  по Цельсію стає занадто в'язким для перегонки через магістралі і фільтри котла. Також камера запалювання є досить шумною через конструктивні особливості пальника. Це в сумі створює необхідність виділяти окреме приміщення під котельню.

Сам котел по своєму внутрішньому обладнанню та зовнішньому вигляду не сильно відрізняється від газового, головною відмінністю є конструкція пальника. Пальник котла на дизельному паливі оснащений вентиляторами, а іноді й додатковими пальниками наддуву. У такому пальнику створюються тиск та пропорції для оптимального згорання палива.

## **КОМБІНОВАНІ КОТЛИ**

Комбіновані котли можуть функціонувати на різних видах палива, при цьому не доводиться розраховувати лише на один вид палива, оскільки завжди залишається альтернативний варіант.

Найпростішим варіантом є комбіновані котли, які містять два пальники – для газу та для солярки. Основним видом палива вважається газ, а дизельне паливо є додатковим варіантом. На додатковий вид палива переходять у тому випадку, якщо в системі низький тиск газу, який не може забезпечити безперебійну роботу котла. У такому разі необхідно вручну замінити пальник і почати опалювати будинок дизельним паливом.

Більш складним варіантом є універсальний комбінований котел який має конструкцію з двома камерами[5]. В одній використовується газоподібне або рідке паливо, в іншій – тверде. Частіше всього зустрічається комбінація пелети та газ.

Звичайно, прилад, що може використовувати у своїй роботі різні

види палива, характеризуються вищою ціною, ніж пристрій, що працюють на одному виді. Але слід зазначити, що застосування таких пристроїв є ефективним та економічним рішенням що з часом окупає вкладені кошти.

## ВИСНОВКИ

Після аналізу представлених котлів опалення, найбільш привабливим є комбінований котел що може працювати на газу та твердому паливі. Данна система є однією з самих дешевих серед універсальних котлів, має можливість використовувати газ з централізованої магістралі, а в випадку з перебоями або наявності великої кількості дешевого твердого палива переходити на нього. В якості твердого палива бажано використовувати пелети, так як це дозволить мінімізувати необхідність людської праці.

## ПОСИЛАННЯ

1. Сенчук М. П. Комбінована схема спалювання твердого палива в опалювальних котлах малої потужності. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2020. № 35.

2. Дослідження коефіцієнту корисної дії твердопаливних котлів різної конфігурації / Ю. Припотень та ін. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2022. № 32.

3. Куц Г. О., Станиціна В. В., Коберник В. С. Порівняльна оцінка вартості теплової енергії від діючих та прогнозованих теплогенеруючих джерел для систем теплопостачання країни. Проблеми загальної енергетики. 2016. № 3.

4. Твердопаливні котли – види, конструкція, принцип роботи, переваги – огляд. Raotherm - heating technologies. URL: <https://raotherm.ua/solidfuel-boilers-all-about/> (дата звернення: 23.05.2023).

5. Куликов О. Комбінований котел: види та їх особливості Джерело: <http://vidpoviday.com/kombinovanij-kotel-vidi-ta-yix-osoblivosti>. Vidpoviday.com. URL: <https://vidpoviday.com/kombinovanij-kotel-vidi-ta-yix-osoblivosti> (дата звернення: 23.05.2023).

## **АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СФЕРІ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

*Ярослав В'ячеславович Ігнатенко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2506-7055>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Миколайович Пономарьов*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олег Леонідович Марченко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5112-1396>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

З ростом популярності відновлюваної енергетики збільшується і необхідність у високоякісних інструментах для проектування, моделювання та оптимізації таких систем. Саме в цьому контексті прикладне програмне забезпечення відіграє важливу роль, надаючи інженерам та проектувальникам потужний інструментарій для розробки.

### **МЕТА І ЗАДАЧІ**

В цій роботі ми розглянемо різноманітні програмні рішення, доступні на ринку, проаналізуємо їх функціональність та основні можливості. Використовуючи відповідні критерії оцінки проведемо порівняння програмного забезпечення, виявимо його переваги та недоліки а також розглянемо потенційні способи використання для досягнення оптимальних результатів у проектуванні систем альтернативної енергетики.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

У сфері відновлюваної енергетики існує багато прикладного програмного забезпечення, яке використовується для розробки, управління та оптимізації енергосистем. На даному етапі розвитку їх можна узагальнити за наступними напрямками:

Системи моніторингу та управління: Це програмне забезпечення дозволяє відстежувати роботу відновлювальних енергетичних установок (сонячних панелей, вітрових турбін, гідроелектростанцій) і здійснювати їхнє управління. Воно надає інформацію про

потужність, вироблену енергію, стан обладнання, а також може виконувати функції автоматичного управління для оптимізації виробництва енергії.

Програмне забезпечення для проектування систем відновлювальної енергетики: Це програмне забезпечення дозволяє інженерам проектувати енергетичні системи на основі відновлювальних джерел енергії. Воно включає інструменти для розрахунку потужності, визначення оптимального розташування обладнання, прогнозування виробництва енергії та інші функції, що допомагають в проектуванні систем.

Енергетичні системи управління навантаженням: Це програмне забезпечення використовується для оптимізації споживання електроенергії в системах відновлювальної енергетики. Воно аналізує потреби в енергії, прогнозує піки споживання, встановлює пріоритети для різних джерел енергії та навантажень і автоматично керує розподілом електроенергії для забезпечення оптимальної ефективності та економії.

Аналітичне програмне забезпечення: Це тип програмного забезпечення дозволяє збирати та аналізувати дані про виробництво енергії з відновлювальних джерел. Воно використовує алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для виявлення паттернів, прогнозування та оптимізації виробництва енергії.

Важливо відзначити, що такий розподіл досить умовний, тому що розробники програмного забезпечення постійно вдосконалять і розширюють можливості власних продуктів

## РЕЗУЛЬТАТИ

Розглянемо деякі сучасні програмні комплекси, які призначені для вирішення різних завдань у галузі енергетики, зокрема для проведення розрахунків статичних, динамічних і перехідних процесів, оцінки стійкості та втрат активної потужності та автоматизованого проектування енергетичних об'єктів

PVSyst: Це програмне забезпечення для проектування, моделювання та аналізу сонячних фотоелектричних систем. PVSyst дозволяє визначати потенційне виробництво енергії сонячних систем, враховувати фактори, такі як тінь, нахил і орієнтація панелей, та здійснювати енергетичний аналіз. [1]

WindPRO: Це програмне забезпечення для проектування вітрових ферм і аналізу вітрового потенціалу. WindPRO надає інструменти для визначення оптимального розташування вітрових турбін, моделювання потенційного виробництва енергії та оцінки економічної

ефективності [2].

**HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables):** Це програмне забезпечення для проектування і аналізу гібридних систем відновлювальної енергії. HOMER дозволяє оптимізувати комбінацію різних джерел енергії (сонячна, вітрова, гідро) та зберігання енергії для досягнення максимальної ефективності та економії. [3]

**EnergyPLAN:** Це програмне забезпечення для моделювання та аналізу енергетичних систем на основі відновлювальних джерел енергії. EnergyPLAN дозволяє враховувати різні джерела енергії, споживачів, технології зберігання та виробництва енергії, а також прогнозувати вплив різних політик та стратегій на систему. [4]

**SolarPlus:** Це програмне забезпечення для управління сонячними енергетичними установками. SolarPlus дозволяє відстежувати та аналізувати виробництво енергії, контролювати роботу сонячних панелей та здійснювати моніторинг системи для оптимізації продуктивності. [5]

SolarEdge Technologies Inc. є провідним постачальником інтелектуальних рішень для сонячної енергетики. Одним із основних продуктів, який вони пропонують, є система SolarEdge. Ось деякі ключові аспекти і можливості:

**Оптимізатори максимальної потужності (Power Optimizers):** Система SolarEdge включає в себе оптимізатори максимальної потужності, які встановлюються на кожній сонячній панелі. Ці оптимізатори дозволяють використовувати кожну панель окремо, що знижує вплив тіні, забруднення або інших негативних факторів на виробництво енергії.

**Центральний інвертор (Centralized Inverter):** SolarEdge використовує центральний інвертор, який перетворює зібрану сонячною системою постійну енергію в змінну для використання в будинку або передачі до мережі.

**Моніторинг на рівні модуля:** Система SolarEdge надає детальний моніторинг продуктивності на рівні кожної сонячної панелі. Користувачі можуть спостерігати за виробництвом енергії кожної панелі окремо через веб-портал або мобільний додаток.

**Захист від пожеж та безпека:** SolarEdge має вбудовані функції безпеки, такі як система автоматичного відключення (Rapid Shutdown), яка знижує ризик пожежі та допомагає дотримуватись нормативних вимог щодо безпеки.

**Енергетичний зберігач (Energy Storage):** SolarEdge підтримує розширення системи на випадок використання енергетичних зберігачів. Це дозволяє зберігати надлишкову енергію, вироблену сонячною системою, і використовувати її в періоди зниженого виробництва або в



пік часу споживання.

SolarEdge є популярним вибором для резиденційних та комерційних сонячних систем, оскільки його технологія дозволяє максимізувати продуктивність системи, забезпечує моніторинг та контроль на рівні модуля, а також пропонує рішення для енергетичного зберігання. [6]

DIgSILENT PowerFactory. Це програмне забезпечення, розроблене компанією DIgSILENT GmbH, яке дозволяє створювати цифрові моделі систем електропостачання та проводити аналіз режимів роботи енергетичних об'єктів. Воно забезпечує можливість вивчення сучасних цифрових технологій у сфері електроенергетики. Компанія DIgSILENT GmbH є провідним розробником програмного забезпечення і консультантом у галузі систем електропостачання, пропонуючи спеціалізовані послуги у сфері передачі, розподілу, генерації електроенергії, а також в області електропостачання промислових установок та відновлюваної енергетики. [7]

PV Sol, T\* Sol ... Програма T\*Sol була розроблена доктором Валентайном у 1993 році в німецькій фірмі Energie-Software GmbH, розташованій в Берліні, Німеччина. Вона подібна до програми Polysun і постійно оновлюється. Для звичайного користувача більш прийнятною є версія Pro 4.5 з 185-ма сторінками керівництва. Ця програма дозволяє провести аналіз кількох варіантів сонячних установок та їх порівняння, має додаткові модулі для розрахунків сонячних установок для басейнів і великих сонячних установок. [8]

RETScreen Expert. Є поточною версією програмного забезпечення RETScreen, яка була випущена у 2016 році. Це комплексний програмний пакет, розроблений урядом Канади, який дозволяє ідентифікувати, оцінювати і оптимізувати технічну і фінансову життєздатність проектів з відновлюваної енергії та енергоефективності. RETScreen Expert також забезпечує можливість вимірювання і перевірки фактичної ефективності об'єктів, а також визначення можливостей зі збереження та виробництва енергії. Програмне забезпечення включає безкоштовний «Режим перегляду», який надає доступ до всіх функціональних можливостей програми. Однак, «Професійний режим» з опціями збереження і друку тепер доступний на основі річної підписки. RETScreen Suite, яка складається з RETScreen 4 та RETScreen Plus, є попередньою версією програмного забезпечення RETScreen. RETScreen Suite надає можливості аналізу когенерації та позамережевого аналізу. Ці дві версії програмного забезпечення RETScreen використовуються для сприяння та реалізації проектів з відновлюваної енергії та енергоефективності. Вони широко використовуються в різних контекстах, включаючи модернізацію будівель,

промисловість, вітроенергетику, моніторинг енергоспоживання в школах та університетах, біоенергетику та інші сфери. RETScreen також використовується як навчальний та дослідницький інструмент у багатьох університетах та коледжах. RETScreen Expert є інтегрованою програмною платформою, яка надає детальні та всеосяжні архетипи для оцінки проєктів. Вона включає можливості портфельного аналізу і об'єднує декілька баз даних для надання допомоги користувачеві. Наприклад, це включає глобальну базу даних про кліматичні умови, базу даних опорних позначок, базу даних вартості, базу даних проєкту, гідрологічну базу даних і базу даних про продукти. RETScreen Expert також містить великий інтегрований навчальний матеріал, включаючи електронний підручник. Програмний пакет RETScreen широко використовується для сприяння та реалізації проєктів з чистої енергетики. Він був використаний для модернізації Емпайр Стайт Білдінг в Нью-Йорку з метою впровадження заходів з енергоефективності. Крім того, компанією 3М Канада він був використаний на їхніх виробничих потужностях, і вітроенергетичною промисловістю Ірландії для аналізу потенційних нових проєктів. RETScreen також використовувався для моніторингу роботи шкіл в Онтаріо, керування споживанням енергії в кампусах університетів і коледжів, оцінки роботи фотоелектричних систем у Торонто, аналізу сонячного нагрівання повітря в установках ВПС США, а також для модернізації енергоефективності в різних муніципалітетах Онтаріо. RETScreen дійсно широко використовується як навчальний інструмент у багатьох університетах та коледжах по всьому світу. Він використовується в більш ніж 1100 навчальних закладах і часто цитується в академічній літературі. Приклади використання RETScreen у навчальних закладах можна знайти в розділах «Публікації та звіти» та «Університетські та коледжні курси» інформаційного бюлетеня RETScreen, доступного в самому програмному забезпеченні. RETScreen також отримав затвердження та рекомендації від програм сприяння чистій енергетиці на всіх рівнях державного управління по всьому світу. Його використання було рекомендовано програмами ЄС, ООН, Канади, Нової Зеландії, Великої Британії, численними штатами США та провінціями Канади, а також містами, муніципалітетами та комунальними підприємствами. Національні та регіональні навчальні семінари RETScreen також були проведені за офіційним запитом урядів різних країн, включаючи Чилі, Саудівську Аравію та країни Західної та Центральної Африки, а також Латиноамериканської енергетичної організації (OLADE). Ці факти свідчать про широкий прийом та визнання RETScreen як інструменту для навчання, досліджень та реалізації проєктів у сфері чистої енергетики. [9]

## ВИСНОВКИ

Варто зазначити, що кожне програмне забезпечення має свої переваги та обмеження. При виборі програмного рішення для конкретного проекту, важливо враховувати його функціональність, сумісність з іншими системами, легкість використання та підтримку. Крім того, постійний розвиток технологій вимагає від розробників програмного забезпечення постійного оновлення та вдосконалення своїх продуктів.

## ПОСИЛАННЯ

1. PVsyst – Logiciel Photovoltaïque. PVsyst – Logiciel Photovoltaïque. URL: <https://www.pvsyst.com> (date of access: 30.05.2023).

2. windPRO – The premier software package for design of wind farms and PV projects. EMD International. URL: <https://www.emd-international.com/windpro/> (date of access: 30.05.2023).

3. HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software. HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software. URL: <https://www.homerenergy.com/> (date of access: 30.05.2023).

4. EnergyPLAN. EnergyPLAN. URL: <https://www.energyplan.eu/> (date of access: 30.05.2023).

5. SolarPlus | Solar CRM | Design, Quoting, Compliance Solution. Solar Design Software | Solar CRM | SolarPlus Quoting Tool. URL: <https://www.solarplus.co/> (date of access: 30.05.2023).

6. SolarEdge | A World Leader in Smart Energy. SolarEdge. URL: <https://www.solaredge.com/us> (date of access: 30.05.2023).

7. PowerFactory - DIgSILENT. Power System Solutions - DIgSILENT. URL: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html> (date of access: 30.05.2023).

8. Design and simulation software for renewable energy | Valentin Software. Valentin Software | Planungs- und Simulationssoftware für erneuerbare Energien. URL: <https://valentin-software.com/en/> (date of access: 30.05.2023).

9. RETScreen. Language selection - Natural Resources Canada / Sélection de la langue - Ressources naturelles Canada. URL: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> (date of access: 30.05.2023).

## **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАЙМАННЯ І ГОРІННЯ РАКЕТНИХ ПАЛИВ**

*Ігор Олександрович Поцелуйко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3531-4920>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Миколайович Пономарьов*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Вивчення температурних змін фізичних властивостей та кінетичних механізмів горіння палива, особливо при його змішуванні з окислювачами, представляє собою складний та незавершений процес. Проблемами, які виникають у цій області, є складність, трудомісткість і неповнота експериментальних і теоретичних досліджень, а також високі витрати на натурні та модельні експерименти. Для досягнення прогресу в цій галузі необхідно моделювати хімічні процеси та розробляти методи розрахунку та аналізу. Зокрема, важливими завданнями є побудова як детальних, так і загальних кінетичних механізмів горіння, а також їх використання для вирішення широкого спектру задач. Це має значення для розвитку технологій, пов'язаних з паливними системами, енергетикою та іншими галузями [1, 2].

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Мета даної роботи – вивчення та розробка математичних моделей прогнозування змін фізичних властивостей та кінетичних механізмів горіння палива. Основними задачами є:

- Аналіз досліджень в галузі кінетичних механізмів горіння.
- Досліджувати взаємодію палива з окислювачами.
- Розробляти методи моделювання хімічних процесів горіння з метою побудови більш повної та точної моделі процесів.
- Побудувати універсальну модель горіння палива, включаючи реакції змішування, горіння та формування продуктів згоряння.
- Використовувати розроблені математичні моделі для розв'язання задач, пов'язаних з паливними системами, енергетикою та ін.
- Побудова алгоритму оптимізації процесів горіння палива з метою забезпечення ефективності, стабільності та безпеки.
- Визначати практичне значення вибору відповідної моделі.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для побудови математичних моделей механізмів горіння можливе використання наступного програмне забезпечення та інструментів:

- Інтерпретатор Python: Інтерпретатор Python є основною складовою для виконання коду та розробки математичних моделей.

- Середовище розробки PyCharm: Середовище розробки PyCharm є потужним інструментом для написання, налагодження та виконання Python-коду.

- Бібліотека NumPy: Бібліотека NumPy надає потужні інструменти для роботи з числовими даними у Python. Вона містить функції для виконання математичних операцій, роботи з масивами даних та векторизованого обчислення для моделювання процесів горіння.

- Бібліотека Matplotlib: Бібліотека Matplotlib дозволяє створювати візуалізації та графіки з даними. Вона надає функції для створення різних типів графіків, діаграм та інших візуальних елементів, для аналізу та відображення результатів моделювання горіння.

- Оператори квантової фізики: Для дослідження та моделювання кінетичних механізмів горіння палива можуть використовуватись оператори квантової фізики.

- Метод кінцевих об'ємів: Метод кінцевих об'ємів є чисельним методом для розв'язання диференціальних рівнянь, який часто використовується для моделювання процесів горіння.

У підручнику [3] розглядаються основні концепції та принципи квантової механіки. Підручник починається з вступу до квантової теорії, включаючи пояснення основних постулатів та математичних інструментів, необхідних для розуміння квантової механіки.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Результатами даної роботи є методика вивчення та розробки математичних моделей прогнозування змін фізичних властивостей та кінетичних механізмів горіння палива з метою покращення розуміння та оптимізації процесів горіння, розвитку технологій паливних систем, енергетики та інших відповідних галузей. Вирішення цих задач дасть змогу:

- Досліджувати взаємодію палива з окислювачами та виявляти особливості цього процесу. Це включає вивчення реакцій змішування, горіння та формування продуктів згорання.

- Розробляти методи моделювання хімічних процесів горіння з метою створення більш повної та точної математичної моделі цих процесів. Це дозволить покращити прогнозування та аналіз горіння

палива в складних високотемпературних паливних системах.

– Побудувати універсальну модель горіння палива, яка включатиме реакції змішування, горіння та формування продуктів згорання. Це дозволить створити комплексну та всебічну модель, яка враховуватиме різноманітні аспекти горіння палива.

– Використовувати розроблені математичні моделі для розв'язання широкого спектру задач, пов'язаних з паливними системами, енергетикою та іншими галузями. Це включає в себе оптимізацію процесів горіння палива з метою забезпечення ефективності, стабільності та безпеки.

– Визначати практичне значення вибору відповідної моделі горіння для розвитку нових технологій та удосконалення існуючих систем. Це допоможе впроваджувати отримані результати досліджень у практичну діяльність та покращувати паливні системи.

## ВИСНОВКИ

Вивчення та розробка математичних моделей прогнозування температурних змін фізичних властивостей та кінетичних механізмів горіння палива має велике значення для покращення розуміння процесів горіння і їх оптимізації. Аналіз складності, трудомісткості та неповноти наявних досліджень допомагає виявити прогалини в знаннях та обмеження, що впливають на розвиток цієї галузі, що дає змогу розвивати нові технології, покращувати паливні системи та енергетичні процеси. Дослідження взаємодії палива з окиснювачами та розробка математичних моделей горіння дозволяють отримати детальні уявлення про хімічні процеси, які відбуваються під час горіння. Будівництво універсальних моделей горіння, включаючи реакції змішування та формування продуктів згорання, допомагає створити комплексну та точну математичну модель горіння палива.

## ПОСИЛАННЯ

1. Тимошенко В. І. Комп'ютерне моделювання аеротермо-газодинамічних процесів у технічних об'єктах : монографія. Київ: Наукова думка, 2022. – 197 с.

2. Sutton G.P., Biblarz O. Rocket propulsion elements – 9-th edition. John Wiley & Sons, 2017. – 768 p.

3. Вакарчук І. О. Квантова механіка: підручник / І. О. Вакарчук. – 4-те вид., доп. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 872 с.

## **РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ ПОДАЧІ РОБОЧОГО ГАЗУ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ КОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*Віктор Олександрович Перерва*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Миколайович Петренко*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **1 Вступ**

Згідно з аналізом провідних експертів космічної галузі за останні 10 років кількість супутників, що функціонують на орбіті Землі, зростає на 252 % і з 958 (на початку 2010 року) досягла позначки в 3371 (у 2020 році) [1, 2]. Більшість сучасних космічних апаратів мають бортову двигунну установку, яка забезпечує не тільки підвищення терміну активного функціонування шляхом підтримання параметрів орбіти, але й значне розширення функціоналу роботи апарату шляхом зміни його орієнтації та маневрування. В якості бортових двигунних установок все частіше використовуються електричні ракетні двигунні установки (ЕРДУ). Електрична ракетна двигунна установка містить, як правило, електричний ракетний двигун, систему подачі робочої речовини, систему перетворення електричної енергії та управління. Розробка вузлів ЕРДУ вимагає широкого використання лабораторних досліджень, в яких імітуються космічні умови функціонування вузлів ЕРДУ.

Для проведення лабораторних досліджень та відпрацювання вузлів та підсистем ЕРДУ використовують стендову систему подачі робочої речовини, яка повинна забезпечити регулювання та вимірювання витрат робочого газу в анодний блок та порожнистий катод Холловського двигуна. У ході лабораторного тестування та відпрацювання режимів та параметрів електричних ракетних двигунів величини витрат робочої речовини необхідно змінювати в широких межах і мати можливість вимірювання та реєстрації їх поточних значень [3]. Тому дослідження, присвячені достовірному вимірюванню витрат робочого тіла на стенді незалежно від умов, за яких здійснюється вимір, мають наукову актуальність.

## **2 МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Метою цієї роботи є розробка стендової системи вимірювання, управління та індикації величини витрат робочої речовини, що подається в анодний блок і порожнистий катод Холловського двигуна під час лабораторних випробувань. Вимірювання повинні здійснюватися з мінімальними похибками, які обумовлені впливом зовнішніх факторів. Це дасть можливість під час проведення експериментальних досліджень Холловських двигунів визначити точні робочі параметри – витрати робочого газу в анодний блок двигуна і порожнистий катод, а також відповідні розрахункові параметри – питомий імпульс, ККД та ціну тяги.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих промислових витратомірів для вимірювання малих витрат робочого газу, визначити можливість їх застосування в лабораторних системах подачі на випробувальних стендах;
- визначити структурну та функціональну схеми пристрою.

## **3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Об'єктом досліджень є пристрій вимірювання, керування та індикації величини витрат робочого газу під час лабораторного тестування електрореактивних двигунів космічного призначення. Для його застосування у стендовій системі вимірювання висувалися такі основні вимоги:

- можливість роботи з різними робочими речовинами (ксенон, криптон, аргон та ін.);
- можливість дистанційного автоматизованого управління та реєстрація вимірювань;
- можливість плавного регулювання величини витрат робочої речовини в діапазоні 0,08 ... 5,0 мг/с (для ксенону).

Типова пневматична схема системи подачі робочої речовини в електричний ракетний двигун при стендових випробуваннях представлена на рис. 1. Регулювання витрат робочої речовини здійснюється за допомогою лабораторних регуляторів витрати газу.

Недоліком традиційної схеми системи подачі робочої речовини для стендових випробувань вузлів двигунної установки є відсутність можливості незалежного регулювання в широкому діапазоні та стабілізації заданого рівню величини витрат в анодний блок та порожнистий катод двигуна. Зазначений недолік може бути усунений шляхом включенням в зазначену схему регульованого регулятора витрат. Такі регулятори забезпечать незалежне постачання робочої речовини в



анодний блок і порожнистий катод Холлівського двигуна, плавне регулювання і стабілізацію його величини, як показано на рис. 2.

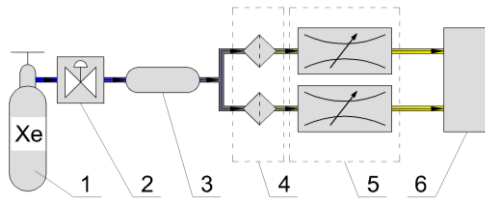


Рис. 1. Пневматична схема стенової системи подачі робочої речовини:

- 1 – балон із робочим газом; 2 – газовий знижувальний редуктор; 3 – бак-ресивер; 4 – фільтри; 5 – нерегульовані регулятори витрати, що забезпечують подачу газу в анодний блок і порожнистий катод двигуна; 6 – електричний ракетний двигун

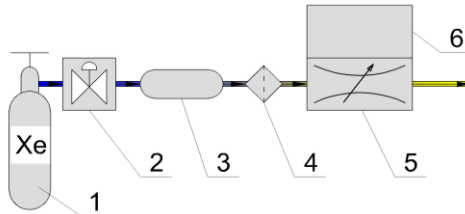


Рис. 2. Схема одноканального регулятора витрат робочого газу:

- 1 – балон із робочим газом; 2 – газовий знижувальний редуктор; 3 – бак-ресивер; 4 – фільтр; 5 – регульований регулятор витрати, що забезпечує подачу газу в анодний блок або порожнистий катод; 6 – пристрій індикації та управління подачею робочої речовини

При розробці стенового пристрою вимірювання, керування та індикації витрат газоподібної робочої речовини з необхідними технічними параметрами використовувався регулятор Bronkhorst F-201CV-100-AAD-22-V (рис. 3), параметри якого найбільш повно відповідали поставленим завданням. Основні характеристики цього регулятора представлені в табл. 1 [5].

У ході досліджень були використані методи, які включають натурне моделювання та експериментальні дослідження лабораторних зразків розробленого пристрою. При визначенні досягнутої в пристрої точності вимірювання витрат робочого газу використовувались статистичні методи обробки експериментальних даних.

Технічні характеристики регулятора  
Bronkhorst F-201CV-100-AAD-22-V

Параметри	Bronkhorst
	F-201CV-100-AAD-22-V
Час відгуку, мс	500
Мінімальна масова витрата, мг/с (для Хе )	0,078
Максимальна масова витрата, мг/с (для Хе )	9,8
Точність вимірів, %	±0,5
Робочий вхідний тиск, МПа	0,12±10 %
Зовнішнє живлення,	15
Інтерфейс підключення	RS232

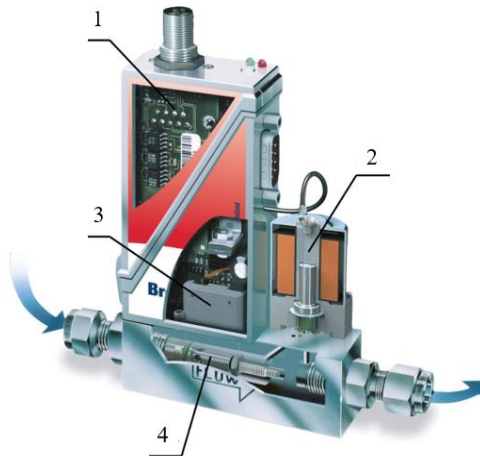


Рис. 3. Регулятор витрат Bronkhorst F-201CV-100-AAD-22-V:  
1 – електронний блок; 2 – регулюючий клапан; 3 – вимірювальний осередок;  
4 – ламінарний елемент

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОМИСЛОВИХ ВИТРАТОМІРІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ ВИТРАТ РОБОЧОГО ГАЗУ

Дослідження роботи Холловських двигунів включають тривалі (до 10 тис. годин) лабораторні випробування. Одним з найважливіших завдань таких досліджень є забезпечення надійного вимірювання

величини витрати газоподібного робочого тіла, для чого слід використовувати спеціальні засоби керування та вимірювання [6].

Для початку вирішення поставленої задачі з використанням промислових теплових витратомірів необхідно провести їх порівняльний аналіз. Основні параметри теплових витратомірів, які можуть бути використані при вирішенні поставленої задачі, наведено у табл. 2.

У витратомірах, що розглядалися, для вимірювання витрат газу використовується метод, заснований на тепловому принципі вимірювання. Теплові витратоміри компаній MKS Instruments, Alicat, Bronkhorst та Bürkert призначені для регулювання витрати газу в області малих масових витрат. У даних витратомірах фактичне значення витрат, отримане датчиком, порівнюється із заданим значенням, яке задається за допомогою опорного сигналу, і у разі виникнення неузгодженості формується керуючий сигнал, що подається на клапан пропорційного регулювання. Основними факторами, що найбільше впливають на точність вимірювання витрат, є такі: температура контрольного газового потоку; температура навколишнього середовища; термогравітаційний компонент природної конвекції за різної орієнтації у просторі напрямку течії потоку газу [7].

Таблиця 2  
 Основні параметри теплових витратомірів

Назва	Bürkert	Alicat	MKS Instruments	Bronkhorst
	8710	MC	GE50A	F-201CV
Робочий вхідний тиск, МПа	до 1,00	0,12±10 %	0,2	0,12±10 %
Мінімальні масові витрати (для Хе), мг/с	0,82	0,05	0,02	0,018
Час відгуку, мс	3000	100	750	500
Точність вимірів, %	± 1,5	±0,8	±1	±0,5
Мінімальне зовнішнє живлення	до 24	до 30	15	15
Інтерфейси підключення	RS232	RS232	RS 485	RS232

Регулятори масових витрат Bürkert, серії 8710 [8] орієнтовані на їх використання для регулювання масових витрат агресивних газів, у яких використовується відокремлений від середовища датчик. Термічний капілярний датчик забезпечує високу швидкість реакції. Пропорційний клапан прямої дії фірми Bürkert, як виконавчий орган, забезпечує високу чутливість при спрацьовуванні. Однак витратоміри компанії Bürkert забезпечують мінімальну величину витрат робочого газу

близько 0,82 мг/с для ксенону, що значно перевищує рівні витрат, необхідних для роботи Холловських двигунів середньої потужності. Крім того, ці витратоміри мають дуже низьку швидкодію в порівнянні з іншими.

У регуляторах витрат газу серії MC компанії Alicat [4] застосовується технологія вимірювання перепаду тиску ламінарного потоку, яка дозволяє обчислювати значення витрат газу, що лінійно залежать від перепаду тиску, який може змінюватися в широкому діапазоні. Витратомір відображає значення об'ємних та масових витрат газу, які скориговані з урахуванням змін тиску та температури газу, а також враховують задані користувачем температуру та тиск навколишнього середовища. Основним недоліком цих витратомірів є їх суттєва чутливість до електромагнітних перешкод.

Промислові регулятори MKS Instruments серії GE50A [9] є регуляторами масових витрат загального призначення, які добре підходять для широкого кола використання. Дані витратоміри включають цифрову систему управління потоком, а також запатентований термодатчик. Вбудоване цифрове калібрування витратоміра забезпечує похибку вимірювань витрат газу близько 1 % від заданого значення при використанні калібрувального газу. Ці витратоміри широко використовуються в різних науково дослідних інститутах та лабораторіях, які займаються дослідженнями в аерокосмічній галузі. Недоліком даного витратоміра є неможливість забезпечити незалежність результатів вимірювання від температури контрольованого газового потоку та зовнішнього середовища, оскільки він не має системи термокомпенсації.

Регулятори Bronkhorst серії F-201CV [5] складаються з теплового вимірювача масових витрат, прецизійного регулюючого клапана та ПД регулятора на основі мікропроцесора з перетворювачем сигналу та цифровою шиною. Вони обладнуються цифровими керуючими електронними блоками, що дозволяє отримувати високу точність, високу температурну стабільність та високу швидкодію. Значною перевагою даних витратомірів є визначення температури газового потоку та зовнішнього середовища до та під час вимірювань. Дані витратоміри забезпечують незалежність результатів вимірювань від змін температури потоку газу та навколишнього середовища, оскільки мають систему термокомпенсації.

На основі порівняльного аналізу розглянутих витратомірів, було прийняте рішення про використання регуляторів Bronkhorst серії F-201CV у стендовій системі вимірювання, керування та індикації витрат робочої речовини при випробуваннях вузлів електричних ракетних двигунних установок.

## 4.2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ, КЕРУВАННЯ ТА ІНДИКАЦІЇ ВИТРАТИ РОБОЧОЇ РЕЧОВИНИ

Структурна схема пристрою вимірювання, керування та індикації витрат газоподібної робочої речовини представлена на рис. 4. Згідно з представленою структурною схемою розроблений пристрій складається з регулятора Bronkhorst F-201CV з підключеним до нього пристроєм індикації та управління витратами газоподібної робочої речовини.

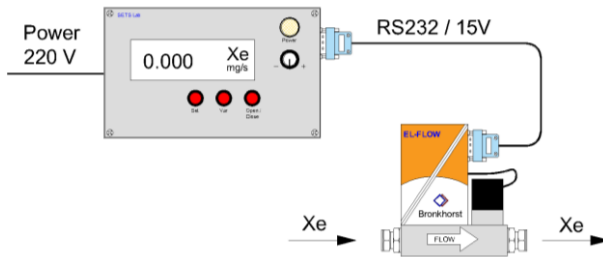


Рис. 4. Структурна схема розробленого пристрою вимірювання, керування та індикації витрати робочої речовини

На розробленій функціональній схемі (рис. 5), детально показано функціональні вузли пристрою вимірювання, керування та індикації витрати робочої речовини. Регулятор Bronkhorst F-201CV (блок A18) підключається до розробленої схеми за допомогою інтерфейсу RS232 (блок A5), за допомогою якого блок A18 отримує живлення, сигнали керування та повертає сигнал, що відповідає виміряним витратам.

Блоки A1, A2, A3 фільтрують і формують напруги живлення, необхідні для роботи регулятора. Пристрій побудований на мікроконтролері фірми ST Microelectronics архітектури ARM (блок A7), який має 32-розрядну архітектуру, що дозволяє здійснювати обчислення з комою, що плаває. Це забезпечує виконання швидких обчислень витрат робочого газу та їх індикацію.

Підвищена розрядність дозволяє зменшити втрати точності при обчисленнях рівня нижче точності вимірювача регулятора. Для завдання параметрів та керування роботою регулятора застосовані керуючі кнопки та декодер (блок A6). Для зручного зчитування інформації застосовано дисплей OLED-типу (блок A4). Він має високу яскравість і контрастність, які властиві даним типам дисплеїв. Шина для дистанційного керування та знімання інформації реалізована у вигляді інтерфейсу CAN (або RS-485) та USB. Блоки A10, A11, A12,

A13, A14 забезпечують перетворення логічних рівнів сигналів та гальванічну розв'язку між шиною CAN (або RS-485) і UART портом мікроконтролера. Блоки A8, A9, A15, A16, A17 забезпечують перетворення логічних рівнів сигналів і гальванічну розв'язку між шиною USB і UART портом мікроконтролера.

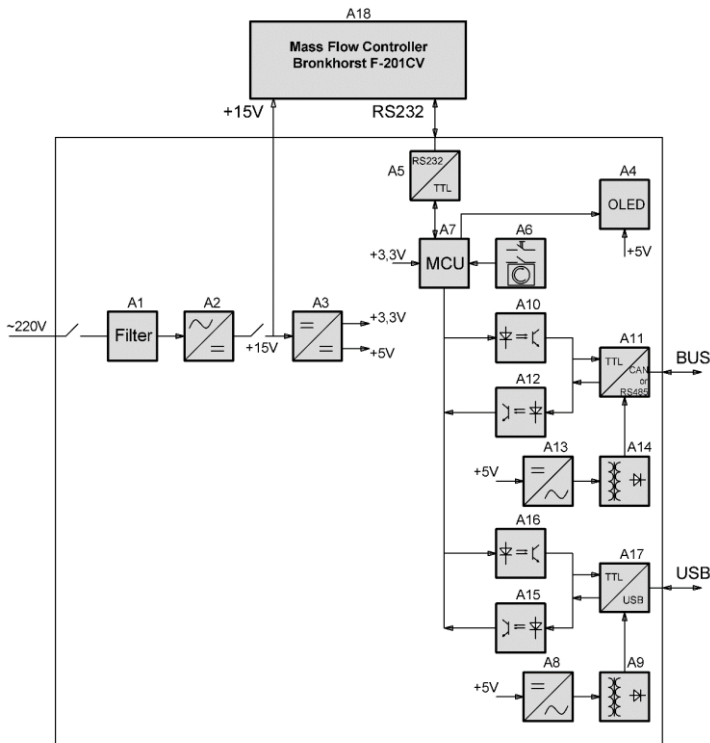


Рис. 5. Функціональна схема розробленого пристрою вимірювання, керування та індикації витрат робочого газу

Пристрій дозволяє легко переходити від вимірювань одного робочого газу до іншого шляхом програмної зміни констант, які визначені для кожного робочого газу.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих промислових витратомірів для малих витрат газоподібного робочого тіла. Були визначені їх можливості

та недоліки для застосування у лабораторних випробувальних стендах. Вибрано найбільш підходящий промислово-випускний регулятор Bronkhorst F-201CV-100-AAD-22-V, параметри якого найбільш повно відповідають поставленій меті.

2. Визначена структурна та розроблена функціональна схема пристрою. Розроблено лабораторні зразки пристрою вимірювання, керування та індикації витрат газоподібного робочого тіла, що базується на теоретично обґрунтованій доцільності застосування обраних схем фізичних принципів та конструкторських рішень.

## ПОСИЛАННЯ

1. State of the Satellite Industry Report: The 2021 State of the Satellite Industry Report: <https://www.sia.org/news-resources/state-of-the-satellite-industry-report>.

2. Sidorov, A., Pererva, V (2019). Determining the regions for efficient use of electro-jet low-thrust engines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 3/5(99) Харьков: Р. 43 – 50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168446>

3. Билинский, И. И., Стасюк, М. А., Гладышевский, М. В. (2015). Анализ методов и средств контроля расхода жидких и газообразных сред и их классификация. Автоматика и информационно-измерительная техника, №1. – С.1-11.

4. Operating manual Alicat Scientific Mass Flow Controller MC – Series <https://documents.alicat.com/manuals/DOC-MANUAL-9V-MC.pdf>.

5. Datasheet Bronkhorst F-201CV Mass Flow Controller for Gases. <http://www.bronkhorst.com/files/downloads/datasheets/el-flow/f-201cv.pdf>.

6. Приданников, С. Ю., Румянцев, А. (2001). Ресурсные характеристики стационарных плазменных двигателей. Проблемы математических и физических наук: Материалы постоянных научных семинаров, Калининград: Изд-во КГУ, с. 112-114.

7. Гуськов, К. В., Хартов, С. А. (2009). Система измерения расхода газообразного рабочего тела для испытаний электроракетных двигателей. Вестник МАИ. Т. 16, № 3. С. 41-48. М.: Изд-во МАИ.

8. Datasheet Burkert Type 8710 Mass Flow Controller for Gases <https://www.burkert.com/en/Media/plm/DTS/DS/DS8710-standard-EU-EN.pdf>.

9. Datasheet MKS Instruments Mass Flow Controller GE50A [https://www.mksinst.com/mam/celum/celum\\_assets/resources/GE50-DS.pdf](https://www.mksinst.com/mam/celum/celum_assets/resources/GE50-DS.pdf).

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА ПОДАВАННЯ АРМУЮЧОГО ВОЛОКНА ДЛЯ 3D-ДРУКУ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИМ АРМУВАННЯМ**

*Максим Костянтинівич Сіренко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0417-2661>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олена Володимирівна Карпович*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-5822>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Використання деталей, отриманих методами адитивного виробництва, включно з FDM/FFF 3D-друком, набуває все більшого поширення. В авіаційній та космічній галузі переваги адитивного виробництва полягають у можливості дешевої ітеративної розробки, використання COST-технологій та матеріалів, що дозволяє суттєво зменшити вартість виробів. Так само, FDM/FFF 3D-друк може використовуватися як для виробництва прототипів, для відпрацювання конструкції з наступним використанням інших способів виробництва у кінцевих виробках [1], так і для виробництва фінальних виробів безпосередньо [2].

Популярним і ефективним типом виробництва є 3D-друк з армуванням деталей довгими або неперервними композиційними волокнами. Серед багатьох способів армування, які наведені у [3] та [4], значущими є такі типи, як екструзія товпрегу та подвійна екструзія. Екструзія товпрегу полягає у 3D-друці вже сформованим прутком філаменту, що являє собою джгут армуючого волокна усередині прутка полімеру. Такий тип друку найбільш просто реалізувати, він не потребує окремого додаткового сопла для армуючого матеріалу та може використовувати звичайні сопла та екструдери для FDM/FFF 3D-друку. Але склад, відсоток армуючого волокна фіксований і армування відбувається у всьому об'ємі деталі. Подвійна екструзія дозволяє додавати армування окремо від основного друкувального матеріалу, але потребує додаткового сопла для армуючого матеріалу та механізму переміщення армуючого сопла відносно основного. Ці методи мають високу контрольованість процесу та кінцевих характеристик виробу та матеріалу, бо дозволяють окремо керувати властивостями та режимами 3D-друку як основного матеріалу, так і матеріалу армування. Основні матеріали армування – вуглецеве волокно, скляне волокно та органоволкно, таке як кевлар.



Але більш точний вибір матеріалів та контроль характеристик ускладнений домішками невідомого складу, що додаються до армуючого волокна в процесі його виробництва. Наявність таких домішок ускладнює дослідження впливу матеріалу армування на кінцеві властивості отриманих виробів. Ці домішки збільшують жорсткість армуючого волокна для зменшення його деформації перед викладанням, змінюють параметри його адгезії до основного матеріалу. Використання сирого, непідготовленого волокна може бути ускладнено через проблеми з його подаванням до армуючого пристрою, і у відкритих джерелах відсутні дослідження такої проблематики.

## МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Мета роботи – вдосконалення та пристосування існуючих типів і видів вузлів подавання волокна для використання з волокнами без домішок. Відповідно до цієї цілі, задачі роботи – розробка базової моделі (моделей) вузла подавання, виготовлення дослідних зразків та проведення досліджень для подальшого вдосконалення моделей та способу подавання. Також задачею є дослідження складності виготовлення деталей для вузлів подавання методами FDM/FFF 3D-друку.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У якості матеріалів дослідження використовувались джгути вуглецевого волокна та базальтового волокна з умовним діаметром джгута 0.2 мм та 0.5 мм. За зразки моделей подавальних вузлів були взяті:

– Bowden-екструдер Geeetech MK8 [5], з заміною опорного валику на гладкий валик з поліуретану, а у якості тяглового валику використовувались тяглове коліщатко з поперечними насічками, циліндричне зубчате коліщатко, суцільний ролик із поліуретану та кільце з поліуретанового ременю, наклеєне на втулку (рис. 1);

– вузол подавання, що базується на конструкції тяглового пристрою для установок пултрузії [6, 7], у якості тяглових елементів використовуються поліуретанові ремені, тяглове зусилля створюється захопленням джгута волокна між зворотними (гладкими) сторонами ременів, з наступним подаванням через втулку з напрямним отвором, оптимальна конфігурація якої теж є предметом цієї роботи. Модель вузла була виготовлена методами FDM/FFF 3D-друку.



Рисунок 1 – Тяглові валики

## РЕЗУЛЬТАТИ

Для першої моделі при проведенні випробувань у випадку використання циліндричного зубчатого коліщатка та коліщатка з поперечними насічками обидва зразка волокна намотувались на тягловий елемент, з'являлись тріщини на волокнах, при збільшенні сили стиснення притискувальної пружини спостерігалось вдавлення волокна у опорний ролик і намотування на нього. При встановлені оригінального металевого опорного ролику волокно починало подрібнюватися та розриватись без намотування на тягловий елемент. У випадку використання роликів із поліуретану чи втулки з поліуретановим покриттям намотування чи розривів волокна не спостерігалось, але джгут розплітався, втрачав форму. Збільшення чи зменшення сили притиску не мало суттєвого впливу на втрату форми джгута.

Для другої моделі було проведено два випробування протягування волокна – з приводом на нижній ремінь і без. У випадку без приводу спостерігались розриви волокна та утворення на ньому заломів. У випадку з приводом волокно задовільно проходило в втулку. Збільшення притиску ременів шляхом регулювання відстані призводило до вдавлення і «влипання» волокна в нижній ремінь у випадках з приводом на нього і без.

Також було встановлено, що діаметр напрямного отвору втулки у 1 мм – найбільш роботоздатний, тому що такий діаметр достатній, щоб джгут волокна не розпушувався в отворі не застрягав, а з іншої точки зору – отвір такого діаметру можливо доробити свердлінням у складі однієї деталі. Для отримання отворів меншого діаметру попередньо прийняте використання окремого блоку із тефлону з просвердленим чи прошитим отвором з наступним фрезеруванням для отримання необхідної кінцевої форми передньої частини втулки. Також була встановлена необхідність наявності системи регулювання натягу ремнів і можливість регулювання зазору між ремнями, для його відповідності умовному діаметру (розміру) джгута чи пучка армуючого волокна.

Загальний вид створеної дослідної моделі та розріз зображені на рис. 2.

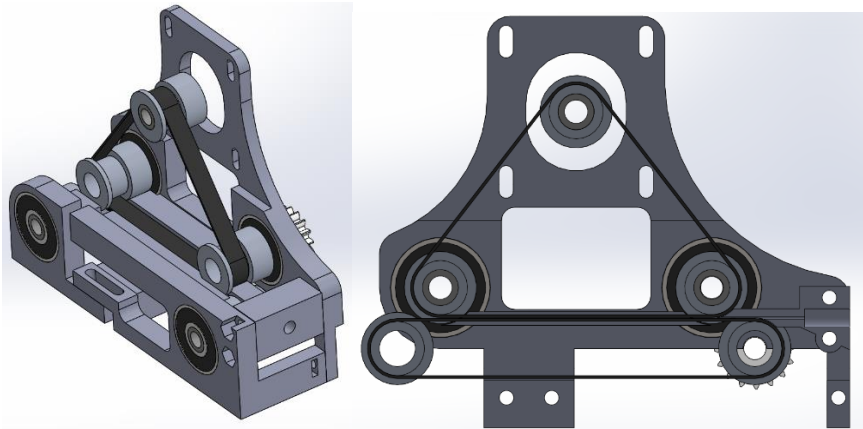


Рисунок 2 – Загальний вид моделі та розріз

## ВИСНОВКИ

За результатами досліджень встановлено:

- для подавання волокна не можна використовувати подавальні та тяглові елементи, що мають лише одну точку або лінію контакту – це призводить до втрати форми джгута, а іноді і його розриванню;
- не можна використовувати тяглові елементи, що захищують волокно гострими кромками через велику вірогідність подрібнення волокна;
- поліуретан має достатньо високу силу зчеплення з наведеними

типами волокна, не пошкоджуючи його;

- ремінна система тяглових елементів дозволяє подавати волокно без значного його ушкодження;
- для надійного спрямування волокна необхідні деталі типу втулка, що знаходяться на мінімальній відстані від тяглових поверхонь;
- FDM/FFF 3D-принтери аматорського (непрофесійного) рівня мають достатню точність для виготовлення деталей вузла подавання волокна.

## ПОСИЛАННЯ

1. Windform LX 3.0 composites contribute to OreSat0 CubeSat deployment. // CompositesWorld. URL: <https://www.compositesworld.com/news/windform-lx-30-composites-contribute-to-oresat0-cubesat-deployment> (дата звернення 20.05.2023)

2. Weber State applies composite-based 3D printing for aerospace support, research. // CompositesWorld. URL: <https://www.compositesworld.com/news/weber-state-applies-composite-based-3d-printing-for-aerospace-support-research> (дата звернення 20.05.2023)

3. 3D printing with continuous fiber: A landscape. // CompositesWorld. URL: <https://www.compositesworld.com/articles/3d-printing-with-continuous-fiber-a-landscape> (дата звернення 20.05.2023)

4. Fatemeh Mashayekhi, Julien Bardon, Vincent Berthé, Henri Perrin, Stephan Westermann, Frédéric Addiego Fused Filament Fabrication of Polymers and Continuous Fiber-Reinforced Polymer Composites: Advances in Structure Optimization and Health Monitoring. // MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/5/789> (дата звернення 20.05.2023)

5. MK8 ExtruderGeetech Wiki. Geetech Wiki. URL: [https://www.geetech.com/wiki/index.php/MK8\\_Extruder](https://www.geetech.com/wiki/index.php/MK8_Extruder) (дата звернення: 29.05.2023).

6. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 1, 2/під ред. Дж. Любіной; пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта; під ред. Б. С. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. –448 с.

7. Меттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М. : Техносфера, 2004. 408 с.

## **ОБҐРУНТУВАННЯ АНАЛІТИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ МАРОК СТАЛЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПРИКЛАДНІЙ МЕХАНІЦІ**

*Олег Павлович Юшкевич*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-8424>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Валерій Устинович Ігнаткін*

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ

### **Вступ**

Протягом кількох років були проведені роботи [1, 2, 3]: з виявлення на промислових підприємствах марок сталей, близьких за механічними властивостями, тобто двійників та взаємозамінників; об'єднанню в нетрадиційні групи та підвищенню спеціалізованості класів сталей; упорядкування марочного сортаменту металопрокату за різними критеріями.

При цьому було вивчено реальну номенклатуру сталей та виконано збір даних про механічні властивості металопрокату на 9 підприємствах України (Алчевський МК, «Запоріжсталь», МЗ ім. Петровського, Єнакіївський МЗ, Дніпровський МК ім. Дзержинського, Криворізький МК, Донецький МЗ, Макіївський МЗ, АТ «Дніпроспецсталь») за період з 1992 по 1994 р.р. [3].

Величезним марочним сортаментом у класі машинобудівних сталей виділявся ВАТ «Дніпроспецсталь» (м. Запоріжжя). На цьому підприємстві виплавляються сталі різного ступеня легуваності. Спосіб виплавки – електросталеплавильний. Продукція, що виробляється тут, піддається термічній обробці.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Зробити аналіз технічної інформації по марках сталей, що виплавляються, способам їх термічної обробки і одержуваним механічними властивостями.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

На перерахованих підприємствах в ході виконання НДР були зібрані фактичні показники, що описують металопродукцію.

Відібрані характеристики сталей для металовиробів узагальнюва-

ли у вигляді таблиць, які мають наступну структуру колонок: марка сталі; завод-виробник; профіль перерізу металопродукату; типорозміри; характерний розмір;  $\sigma_B$ ;  $\sigma_T$ ;  $\delta$ ;  $\psi$ ; КСУ;  $Z_{екв}$ ;  $\sigma_B/\sigma_T$ ;  $\delta/\sigma_B$ . Таким чином, було отримано генеральну сукупність показників сталей. Дані з таблиць вводили в ЕОМ та зберігали в текстових файлах, які конвертували в середовище обробки інформації. База даних містить відомості про 205 сталей [3].

Аналіз даних виконували в інтегрованому середовищі розробки експертних систем Інтер-Експерт (GURU), що поєднує системи електронних таблиць, СУБД, внутрішню алгоритмічну мову програмування високого рівня, мову запитів SQL та середовище створення інтелектуальних правил, що дає явні переваги перед традиційними системами обробки інформації [5].

Дослідження виконали для сталей: 1) вуглецевих звичайної якості (Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст5пс, Ст5сп та ін); 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 ін.).

## РЕЗУЛЬТАТИ

У роботі [2] було показано, що характеристики металопродукату з якісних вуглецевих сталей перевищують по абсолютним значенням вимоги стандартів на відміну що до вуглецевих сталей звичайної якості. Тож для обліку якісного впливу марки сталі на її характеристики було запроваджено індексация, згідно якої кожній марці ставився у відповідність умовний порядковий номер, який складається з індексу -  $m$  ( $m \in [1; M]$ , де  $M$  - загальна кількість марок сталей).

Хімічний склад сталей та кількісні співвідношення між його елементами є їхніми суттєвими відмінними рисами, без урахування яких неможливе проведення аналітичного опису та нетрадиційної класифікації, розглянутих марок [6].

Тому до сукупності класифікаційних ознак насамперед мають бути віднесені принципові та характерні особливості хімічних складів, у тому числі легуючих елементів сталей та сплавів. У прямій залежності від хімічного складу використовуваного матеріалу та способу отримання продукції знаходиться структурний стан, що формує комплекс здавальних характеристик, який також може розглядатися як один з факторів поділу марок на групи. Тому кожен фактичний хімічний склад сталі в межах марочного можна охарактеризувати спеціальною кількісною характеристикою – комплексним показником (у тому числі вуглецевим еквівалентом  $C_{екв}$ . [2, 4])

$$x = f(\chi_1, \dots, \chi_e, \dots, \chi_E), \quad (1)$$

де  $\chi_e$  - позначення хімічного елемента;

$e$  – індекс хімічного елемента ( $e \in [1; E]$ ), де  $E$  – загальна кількість хімічних елементів у складі сталі.

З цього випливає, що показник хімічного складу необхідно розглядати, як самостійний класифікаційний ознака -  $x$ , який комплексно відображає список значень хімічних елементів. Кожен хімічний склад сталі отриманий після виплавки відображається в облікових, звітних, сертифікаційних та інших документах підприємства під певним номером і маркуванням, які можна поставити у відповідність індексу. Таким чином, показник хімічного складу відповідає конкретній плавці. Позначимо індекс показника хімічного складу –  $s$  ( $s \in [1; \Psi]$ , де  $\Psi$  - загальна кількість плавочних хімічних складів сталі).

Аналіз дисперсії та максимальних значень механічних властивостей сталей з генеральної сукупності дав можливість виділити кращих виробників металовиробів, яким властиві більш стабільні (мінімум дисперсії) та раціональні (переважний розподіл механічних характеристик у галузі максимальних значень) показники якості виробництва металопродукції. При цьому було підтверджено, що механічні властивості [1] різнорідного і різносортного металопрокату, виготовленого з однієї марки сталі, мають значну дисперсію, яка пояснюється передісторією виготовлення профілів різного виду на різних підприємствах [2]. Таким чином, стан металу з якого виготовлений виріб значно впливає на механічні властивості елементу конструкції. Тому цю закономірність можна відобразити індексом стану металу –  $c$  ( $c \in [1; Y]$ , де  $Y$  – загальна кількість внутрішніх станів сталі). Позначимо стани матеріалу: литий – 1, холоднодеформований – 2, гарячедеформований – 3 і т.д.

Однак виконаний для всіх вищевказаних металургійних підприємств України, порівняльний аналіз механічних властивостей, металопрокату що випускається з певної марки сталі, із заданими видами профілів та характерними представницькими типорозмірами, показав близькі значення математичних очікувань міцності та пластичності, або незначні перепади їх мінімальних або максимальних значень [5].

Зміну показників міцності та плинності у вибірці для листа зі сталі 08пс в інтервалі товщин 10...12 мм різних підприємств аналізували для інтервалів розмаху між мінімальними і максимальними значеннями фактичних властивостей. Виявлена залежність від підприємства-виробника механічних характеристик металопрокату із сталі 08пс у вибірці для форми виробу із простим плоским профілем. Товщина профілю: 1 – 12 мм, 2 – 10 мм. Умовний індекс підприємства: 1

– «Запоріжсталь», 2 – завод ім. Петровського, 3 – Алчевський МК.З одержаної залежності випливає, що в межах однакових значень товщин профілю 10 або 12 мм для катаного листа, широкої смуги та смужки: 1) математичні очікування меж плинності  $M\sigma_T$  змінюються мало, інтервали розмаху значень перекриваються, їх ширина не перевищує 60 МПа; 2) математичні очікування межі міцності  $M\sigma_b$  також однорідні, інтервали їх змін перекриваються і за розмахом не перевищують 100 МПа. Це дає підставу поєднати сукупності наборів механічних властивостей однойменних сталей, вироблених на різних підприємствах у множену, яка є вибіркою з генеральної сукупності, всередині якої повинні існувати групи за видами форми профілів, далі поділені на підгрупи типорозмірів прокату. При цьому необхідно розглядати лише ті сталі, чий плавочний хімічний склад змінювався в межах марочного сортаменту згідно з нормативною документацією.

Отже, кожній марці сталі можна поставити у відповідність індекс (порядковий номер) підприємства -  $f$ , що характеризує вплив особливостей виробництва на комплекс механічних властивостей ( $f \in [1; F]$ , де  $F$  - загальна кількість підприємств).

Аналіз вітчизняного виробництва металопродукції дозволив виявити, що перелік конструкційних марок, які виплавляються значно коротший за нормативний ряд, що існує в СНіП [7]; обсяги випуску сталей для машинобудування та асортимент їх марок поступаються кількістю матеріалів, що використовуються у будівництві металевих конструкцій; марочний сортамент продукції із сталей включає значну кількість готових металевих виробів. Виходячи з цього, аналітичний опис сталей має проводитися з урахуванням призначення кожної марки, яке зафіксовано в нормативно-технічній документації. Для відображення цього кожній марці сталі може бути поставлений у відповідність індекс призначення (область експлуатації) -  $n$  ( $n \in [1; \Omega]$ , де  $\Omega$  – загальна кількість індексів призначення).

Виконаний для заданих сталей аналіз впливу форми профілю прокату при різних фіксованих значеннях характерних типорозмірів на механічні властивості показав наявність певної залежності. Так, показовими є (розраховані для сукупності 9 підприємств) зміни математичних очікувань  $M\sigma_b$  і  $M\sigma_T$  залежно від виду профілю перетину прокату зі сталі Ст5сп. Одержано залежності математичних очікувань  $M\sigma_b$  і  $M\sigma_T$  від зміни виду профілю прокату зі Сталі 5 з характерними товщинами: 1 – 12 мм, 2 – 10 мм, 3 – 8 мм. Індеси профілів: 1 – куточок, 2 – швелер, 3 – лист, широка смуга 100 × 10 і 155 × 12, 4 – коло, 5 – вузька смуга 36 × 10. Отриманий результат дозволяє стверджувати, що вид профілю перерізу прокату є одним із параметрів впливу на рівні зміцнення або розміцнення сталей.



Порівняльний аналіз зміни розмахів та математичних очікувань механічних властивостей металопрокату, у межах подібних форм перетинів, показав близькі значення цих характеристик. Наприклад, у листа, широкої смуги та смужки; кола та шестигранника; швелера, двотавра та рейки; квадрата і вузької смуги.

Тому групувати та зіставляти між собою значення механічних властивостей різних марок сталей, виготовлених на різних підприємствах, можна тільки для подібних видів профілів перетинів металовиробів при заданому типорозмірі. Це дає підставу класифікувати прокат за типом формоутворення у п'яти основних групах: 1 – коло, шестигранник; 2 – лист, широка смуга, смужка; 3 – куточок; 4 - швелер, двотавр, рейка; 5 - квадрат, вузька смуга . Номер такої групи позначатимемо –  $p$  і назвемо його індексом профілю ( $p \in [1; P]$ , де  $P$  – загальна кількість груп формоутворення) [5].

Проте, металовиробам із певної марки сталі, і заданими: геометричною формою, типорозміром, характерною товщиною або інтервалом товщин відповідають певні нормативні та розрахункові характеристики опору руйнуванню та деформації [7]. Відповідно до вимог стандартів, наприклад СНіП II 23-81 (частина II, глава 23, с. 63) [7], на сталеві конструкції та методи їх розрахунків, кожному виду прокату з певної марки сталі ставляться у відповідність, при заданій характерній товщині (за товщину фасонного прокату приймають товщину полиці), певні розрахункові (за межами плинності та міцності) та нормативні опори.

Тому представляло певний інтерес вивчити залежність нормативних, розрахункових та фактичних опорів від товщини прокату для сталевих конструкцій, які застосовуються при будівництві будівель та споруд. Як показовий вид профілю був обраний лист зі сталі 15ХСНД. Одержані залежності нормативних, розрахункових і фактичних характеристик міцності від товщини листа для інтервалу 4 ... 16 мм [5]. Вони показали, що зі зростанням товщини листа відбувається нерівномірна зміна дисперсії та ширини інтервалів між мінімальними та максимальними значеннями механічних властивостей прокату. Зниження величин математичних очікувань фактичних характеристик міцності сталей відбувається тільки в кінці інтервалу зміни товщин.

Отримана закономірність підтверджується фактично зв'язком характеристик міцності з характерною товщиною для листа зі сталей 10Г2С1 і 09Г2С. Проаналізована залежність розрахункових, нормативних та фактичних характеристик міцності зі зміною товщини листа від 4 до 160 мм. Показано, що зі зростанням товщини листа відбувається хвилеподібне зниження величин математичних очікувань

характеристик міцності сталей при нерівномірній зміні ширини фактичних меж розмахів мінімальних і максимальних значень механічних властивостей прокату. Таким чином, збільшення геометричних характеристик металопрокату істотно впливає на зміцнення сталей. Тому вони повинні взаємопов'язано сполучатися з оптимальними температурно-часовими параметрами зміцнення.

Вплив параметрів типорозмірів металопрокату на формування структури при його охолодженні на спокійному повітрі після гарячої прокатки оцінювали розрахунковим методом. При цьому використано рішення рівнянь теплопровідності методом сіток для циліндра та плити, реалізоване у вигляді програми "Розрахунок температурних полів" в операційному середовищі програмування QUICK BASIC.

Результати розрахунку отримані за наступних технологічних параметрів: температура кінця прокатки  $t_n = 1000$  °С; кінцева температура охолодження  $t_k = 150$  °С; температура навколишнього середовища  $t_c = 20$  °С; коефіцієнт тепловіддачі: для сталі 10Г2С1  $\alpha = 40$  Вт/(м<sup>2</sup>·К); для сталей 20Х і 15ХСНД  $\alpha = 66$  Вт/(м<sup>2</sup>·К); коефіцієнт теплопровідності: для сталі 10Г2С1  $\lambda = 36$  Вт/(м·К); для сталей 20Х і 15ХСНД  $\lambda = 34$  Вт/(м·К); питома теплоємність сталей  $C = 580$  Дж/(кг·К); щільність сталей: 10Г2С1  $\rho = 7830$  кг/м<sup>3</sup>, 20Х -  $\rho = 7815$  кг/м<sup>3</sup>, 15ХСНД -  $\rho = 7835$  кг/м<sup>3</sup> відповідно.

Розрахунки виконували для:

– кіл діаметрами (мм): 120, 140, 150, 160, 170 180, 200, 220, 250 зі сталей 20Х, Ст5сп;

– смуг товщинами (мм): 4, 8, 12, 14, зі сталі 15ХСНД; та 8, 11, 12, 14, 100 із сталі 10Г2С1.

Для приклада, було виконано аналіз фрагмента розрахункових кривих охолодження смуги зі сталі 15ХСНД, за даними термокінетичної діаграми (ТКД) [8], з якого випливає, що швидкість охолодження зі збільшенням товщини смуги знижується. Причому для кола характерна нелінійна залежність, смуги – лінійна. Проаналізовано розрахункові кривих охолодження смуги при товщині: 1 – 12 мм, 2 – 14 мм. Для поверхня і центру перерізу.

Одержані результати розрахунку впливу параметрів типорозмірів металопрокату на середню за перерізом швидкість охолодження спокійним повітрям після гарячої прокатки.

Аналіз впливу зміни товщини листа та діаметра кола на швидкість охолодження по перетину прокату показав, що збільшення параметрів типорозмірів веде до структурного розміцнення металу [5].

Причому, як в гарячекатаному стані металопрокату падіння характеристик опору деформації сталей відбувається інтенсивніше, ніж після нормалізації. Таким чином, термічна обробка (нормалізація)

частково компенсує розміщуючу дію геометричних параметрів. При цьому слід особливо відзначити, що зниження фактичної міцності має циклічний характер, що, мабуть, спричинене коливаннями хімічного складу щодо середніх значень у межах марочного та впливом стохастичної зміни параметрів прокатки при різних значеннях товщин у вибірках вихідних даних.

Аналіз кривих розподілу рівня механічних характеристик прокату за значеннями характерних типорозмірів показав, що збільшення товщини прокату веде до зростання величини резерву характеристик міцності сталі –  $R$ , що свідчить про підвищення рівня фактичного зміцнення металу.

З викладеного слід, що для характеристики якості сталей металовиробу можна використовувати величину абсолютного фактичного підвищення рівня механічних властивостей щодо нормативних чи розрахункових опорів з урахуванням, заданої марки сталі, заводу-виробника, стану постачання металу, форми профілю, призначення металовиробу та показника хімічного складу –  $R_{mfcpn}(x)$ . Резерв міцності підвищується за рахунок зниження рівня нормативних опорів, отже він залежить від величини площі поперечного перетину прокату  $s$  і визначається наступною функцією

$$R^i_{mfcpn}(x,s) = |\sigma^i_{mfcpn}(x,s) - \sigma^{in}_{mfcpn}(s)|, \quad (2)$$

де  $\sigma^i_{mfcpn}(x,s)$  – реальні значення різних механічних властивостей або їх математичні очікування з вибірки із заданим хімічним складом;

$i$  - індекс фізико-механічних властивостей ( $i \in [1; \rho]$ , де  $\rho$  - загальна кількість властивостей);

$\sigma^{in}_{mfcpn}(s)$  – нормативні чи розрахункові значення одиничних фізико-механічних властивостей.

При

$$\sigma_{mfcpn}(x,s) = \sigma_{\tau mfcpn}(x,s) \quad (3)$$

вираз (2) визначає фактичний резерв зміцнення металопрокату, оскільки згідно з принципом лінійної адитивності Орована [2] межа плинності може бути виражена сумою всіх факторів зміцнення

$$\sigma_{mfcpn}(x,s) = \sigma_{0mfcpn} + \Delta\sigma_{\tau, \text{p} mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{п} mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{з} mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{дн} mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{с} mfcpn} + \Delta\sigma_{\text{т} mfcpn} \quad (4)$$

де  $\sigma_{0 mfcpn}$  – опір тертя кристалічної решітки заліза;

$\Delta\sigma_{\tau, \text{p} mfcpn}$  – зміцнення твердого розчину – фериту;

$\Delta\sigma_{\text{п} mfcpn}$  – зміцнення за рахунок перлітної складової;

$\Delta\sigma_3$  *mfcprn* – зміцнення за рахунок подрібнення зерна;

$\Delta\sigma_d$  *mfcprn* – зміцнення підвищенням щільності дислокацій;

$\Delta\sigma_c$  *mfcprn* – зміцнення за рахунок утворення субзерен;

$\Delta\sigma_r$  *mfcprn* – дисперсійне зміцнення.

Введене співвідношення (2) показує залежність абсолютного фактичного рівня підвищення механічних властивостей сталі марки *m* від її геометричних ознак. Причому індекс *p* завжди фіксований приналежністю металовиробу певному типу форми.

Таким чином, ефект структурного розміцнення, викликаний зниженням швидкості охолодження металовиробу на спокійному повітрі зі збільшенням площі поперечного перерізу (або товщини), повністю нівелює, оскільки має місце відносне зміцнення за рахунок зниження рівня нормативних опорів. Виявлені закономірності дозволяють сформулювати загальний принцип геометричного зміцнення, відмінний від наведеного в роботі [9]: при незмінній конкретній формі виробів зростання рівня структурного зміцнення, що супроводжується збільшенням геометричних розмірів, компенсується більш інтенсивним зростанням рівня абсолютного фактичного зміцнення, тобто загальною міцністю. При цьому максимальне зміцнення можна досягти за рахунок вибору форми профілю металопрокату.

З викладеного слід, що високі експлуатаційні характеристики металопродукції можуть бути забезпечені раціональним поєднанням структурних та геометричних параметрів зміцнення.

Виконано розрахунок залежність швидкості охолодження від значення індексу типорозміру або площі поперечного перетину металопрокату ( $\alpha = 66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) для профілів: а – коло із сталі 20Х; б - лист зі сталі 15ХСНД.

Аналіз залежності швидкості охолодження від значення індексу типорозміру дозволяє вибрати нетрадиційну систему розбиття ряду типорозмірів на групи, що відповідають рівням міцності, які базуються на розділенні шкали швидкостей охолодження на ділянки зміни –  $\Delta V$ . Крок розбиття  $\Delta V$  можна вибирати в межах, у яких структура металу, у тому числі за даними ТКД, не має виражених якісних та значних кількісних змін. Так, наприклад, для кола, перший інтервал площ поперечного перерізу, включає індекси типорозмірів {1, 2, 3} і відповідає діапазону швидкостей охолодження  $\Delta V_1 = 0,2 \dots 0,15 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ , другий інтервал – {4, 5, 6, 7} при  $\Delta V_2 = 0,15 \dots 0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ , третій – {8, 9} –  $\Delta V_3 = 0,1 \dots 0,08 \text{ }^\circ\text{C} / \text{с}$ . З аналізу отриманих даних впливає закономірність: зростання швидкості охолодження веде до зменшення ширини інтервалу характерного розміру *h*, причому справедлива залежність

$$h^j = f^{-1} (V^j_{cp} \pm \Delta V/2), \quad (5)$$

де

$$\Delta h^j = h^j_{\max} - h^j_{\min} \quad (6)$$

– ширина інтервалу зміни характерного розміру або груп типорозмірів;

$j = 1, \dots, n$  – порядкові номери груп типорозмірів чи інтервалів зміни швидкостей охолодження;

$$V^j_{cp} = (V^j_{\max} - V^j_{\min}) / 2 \quad (7)$$

– середня швидкість охолодження на  $j$ -м інтервалі;

$$\Delta V = V^{j+1}_{\min} - V^j_{\min} \quad (8)$$

– крок зміни швидкостей охолодження на  $j$ -м інтервалі. За умови нерозривності

$$V^{j+1}_{\min} = V^j_{\max}. \quad (9)$$

Отриманий математичний зв'язок (4) підтверджується нормативно-технічною документацією, згідно з якою [7] аналіз міцнісних характеристик сталей виконується в інтервалах товщин – це спрощує розрахунки та підбір матеріалу для конструкцій.

Отже, геометричні параметри металопрокату істотно впливають на опори руйнування і граничні напруги пружної деформації сталей, і повинні взаємопов'язано поєднуватися з раціональними структурними характеристиками зміцнення.

Таким чином, типові розміри є додатковими класифікаційними ознаками сталей металовиробів.

Для відображення впливу розмірів металовиробів на механічні властивості можна кожній марці сталі поставити у відповідність індекс типорозмірів -  $t$  ( $t \in [1; T]$ ), де  $T$  – загальна кількість індексів типорозмірів).

Таким чином, з урахуванням викладеного та результатів роботи [5], можна ввести додаткове позначення ознак марок сталей послідовністю індексів

$$\{mfncpn\}. \quad (10)$$

При цьому фізико-механічні властивості також залежать від значення показника хімічного складу -  $x_s$ .

Очевидним стає те, що індекси, що визначають: вид обробки сталі (термічної, що зміцнює або розміцнює) –  $v$  ( $v \in [1; 2]$ ), стан металу (литий, холодно-деформований, гарячедеформований) –  $c$ , тип профілю перетину або форма металовиробу –  $p$ , вид типорозміру (товщина, діаметр або площа поперечного перетну) –  $t$ , підприємство-виробник –  $f$ , призначення марки сталі –  $n$ , показник хімічного складу –  $x$  і його плавковий номер –  $s$ , повинні виступати як самостійні класифікаційні ознаки марок сталей металовиробів. Їх слід розглядати в сукупності фізико-механічних властивостей зі своїми статистичними характеристиками [10], які також залежать від особливостей технології виробництва та значень кількості елементів в плавочному хімічному складі.

Для зручності представлення характеристик сталей і без втрати спільності можна опускати ті індекси, які у даному завданні вважатимуться постійними чи несуттєвими.

## ВИСНОВКИ

Виконані збір, аналіз характеристик, аналітичне дослідження та розроблено оригінальний підхід до подання сталей та їх марочного сортаменту для металовиробів, що виробляються на різних підприємствах, що дозволило сформувати структури даних та створити їх якісне та кількісне фізико-механічне подання у вигляді інформаційної індексації марок сталей [5, 11, 12].

## ПОСИЛАННЯ

1. Большаков В. И., Флоров В. К., Калиновский С. К. Оптимизация марочного сортамента конструкционных сталей – путь к снижению металлоемкости и повышению экономичности строительных конструкций. Днепропетровск: ДИСИ. – 1989.–77 с.

2. Большаков В. И., Рычагов В. Н., Флоров В. К. Термическая и термомеханическая обработка строительных сталей. - Днепропетровск: Січ, 1994.- 232 с.

3. Юшкевич О. П., Калиновский С. К. Учет эффекта геометрического упрочнения при упорядочении марочного сортамента металлопроката из конструкционных сталей // Теория и практика металлургии / Общегосударственный научно-технический журнал.- Днск, 2002, №4.-с.53-59.

4. Мазур В. Л., Деркач Д. А., Иванов А. П. Состояние и перспективы прокатного производства Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность // Научно-технический и

производственный журнал/ Спецвыпуск.- Днепропетровск, 2000. - № 8-9.-с.8-11.

5. Концептуальные основы классификации и унификации марочного сортамента металлопроката из конструкционных сталей / О. П. Юшкевич, В. К. Флоров, С. К. Калиновский, Е. Н. Власова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1999. – №8–9. – С. 412–414.

6. Калиновский С. К., Костыря В. Ю., Юшкевич О. П., Флоров В. К., Белогорцева И. Ю. Первичная классификация конструкционных материалов для машиностроения // *Строительство, материаловедение, машиностроение / Сб.научн.трудов. Вып.10.-Дн-ск: Gaudeamus*, 2000.- с.114-119.

7. СНиП II- 23-81. Стальные конструкции / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1982. - 96 с. - часть II, глава 23. - С. 63.

8. Попова Л. Е., Попов А. А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник термиста.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: *Металлургия*, 1991.- 503 с.

9. Гуль Ю. П., Чмелева В. С. Геометрически-структурное упрочнение // *Проблемы металлургического производства*. – Київ: *Техніка*, 1993.– Вып. 110. – С. 14–21.

10. Юшкевич О. П., Михалев А. И. Многоуровневое оценивание процесса термического упрочнения металлопроката// *Современные проблемы металлургии*. -Днепропетровск: ГМетАУ.- 1999.- Вып. 1 (посвящается 100-летию подготовки инженеров-металлургов).- С.257-266.

11. Юшкевич О. П., Михалёв А. И. Информационное моделирование предметной области представления марочного сортамента металлопроката // *Системні технології. Регіональний межвузівський збірник наукових праць*. Вип. 6. – Дніпропетровськ: *Системні технології*. – 1999. – С. 149–153.

12. Михалев А. И., Юшкевич О. П., Власова Е. Н., Николаев В. А. Модель системы автоматизированного проектирования процессов термического упрочнения металлоизделий для машиностроения // *Автоматизация вспомогательных процессов в машиностроении: Региональный межвузовский сборник научных трудов.-Вып.1.-Днепропетровск:Системные технологии.-1997.-С.51.*

## **ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ ПОЯВИ ПЕРШИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ У СВІТІ**

*Анастасія Олексіївна Каракай*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1570-9594>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Іван Іванович Карпович*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3633-8532>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Олександрович Вівтоненко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8751-5409>

Машинобудівний фаховий коледж Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Безперечно технологічні можливості металорізальних верстатів впливають на розвиток промисловості держави та її економічну потужність. За давніх часів людина прагнула вдосконалити та полегшити свою працю, використовуючи інженерні розробки, різні механізми, впливаючи на форму та властивості матеріалів. Результатом цього розвитку стали різноманітні машини, та машини, що безпосередньо приймають участь у створенні машин.

### **МЕТА РОБОТИ**

Дослідити причини, хронологію виникнення перших металорізальних верстатів, їх конструктивні особливості.

### **РЕЗУЛЬТАТИ**

Обробка матеріалів різанням є одним з найважливіших та найдавніших методів промислового виробництва, який мав великий вплив на розвиток людства. Вже в епоху неоліту перші інструменти були зроблені з каменю, такі як різці, сокири, наконечники, кинджали, молотки, долота, мотик та голки. У III-I тисячолітті до нашої ери крихкі кам'яні матеріали були замінені міддю, оловом та бронзою. Однак інструменти з цих металів, хоч і були міцними, але не мали достатньої твердості. Тому знадобився матеріал, який поєднував би міцність бронзи з твердістю каменю, і таким став залізо, а пізніше чавун, сталь та їхні сплави [1].



Основним фактором, що сприяв зростанню продуктивних сил суспільства, став перехід від ручної роботи до машинної індустрії. Ручна праця була замінена механізмами, а безпосередній вплив на процес виробництва перейшов до машин. Заміна ремісничого виробництва мануфактурою та поділ праці призвели до спеціалізації інструментів праці та їхнього використання у відповідних галузях промислового виробництва товарів і продуктів [1-3].

Розвиток металообробки в супроводі включав удосконалення методів обробки, металорізальних верстатів та ріжучих інструментів. У період з кінця ХІХ до початку ХХ століття відбулися зміни в системі приводів верстатів, з колективних трансмісійних приводів перейшли до індивідуальних. Також з'явилися нові типи верстатів та відповідні їм ріжучі інструменти. Серед них були різноманітні фрези, включаючи спіральні свердла, зенкери, розгортки, а також фасонні та шліфувальні фрези. У ХІХ-ХХ століттях почалося виробництво зубчастих коліс, а також з'явилися гвинтові фрези, зуборізні довбні та гребінки.

Під час експлуатації металорізальних верстатів виявляються недоліки та слабкі місця машини, що призводить до інженерного новаторського пошуку шляхом застосування методу спроб і помилок та застосуванням деяких евристичних прийомів (інверсія, аналогія, метод «мозкового штурму»), подальшого проектування та конструювання нової моделі верстата (рис. 1).



Рисунок 1 – Формування проектних гіпотез верстатобудування

Хронологія виникнення металорізальних верстатів має періоди активного розвитку та гальмування, що спричинено історичними подіями та станом економіки (табл. 1).

Функціональні можливості систем ЧПК класу NC започаткували конструювання верстатів та створення діляниць з високим рівнем автоматизації.

Впровадження комп'ютерного керування розширило можливості до створення багатоцільових верстатів з системами ЧПК класу CNC, що мають велике поширення сьогодні, забезпечують широкі технологічні можливості, легко переналагоджуються на різні види обробки,

це суттєво знижує основний та допоміжний час порівняно з універсальними верстатами. Дана подія також є результатом запиту суспільства, яке широко впровадило в свою діяльність та побут продукцію машинобудівного виробництва.

Наступний крок, який сьогодні можна не лише прогнозувати але й спостерігати - роботизація технологічних процесів.

Таблиця 1 - Хронологія виникнення та розвитку металорізальних верстатів

Дата	Подія	Країна	Функція, дослідники
650 р. до н. е.	Винайдено перший токарний верстат, ручне тримання різця, процес обертання забезпечено за рахунок праці людини	-	-
1500 р.	Токарний верстат має металеві центри та люнет, механічний привід невеликої потужності, подача і утримання різця рукою	-	-
Початок XVII ст.	Винайшов перший токарний верстат з самохідним супортом та механічним приводом	Росія	Андрій Нартов
1751 р.	Побудова першого верстата за конструкцією наближеного до універсального	Франція	Ж. Вокансон
1778 р.	Перший токарний верстат для нарізання різьби	Англія	Д. Рамедон
-	Створення ряду свердлильних та інших верстатів	Росія	Яков Батіщев
-	Створення спеціальних верстатів	Росія	Павло Захава, Лев Собакін, Олексій Сурнін
1794 р.	Перший токарний універсальний верстат, хрестовий супорт		Генрі Модслі, Д. Клемент
1795 р.	Перший спеціалізований верстат для нарізання гвинтів	Франція	Сено
1845 р.	Перший револьверний верстат	США	С. Фітч
1873 р.	Універсальний токарний автомат	США	Хр. Спенсер
1933 р.	Заснування експериментального науково-дослідницького інституту металорізальних верстатів	Росія	Проведення наукових досліджень в галузі верстагобудування розробка типів металорізальних верстатів

Виробництво робототехніки характеризується тривалими, трудомісткими та капіталомісткими етапами проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, а також створенням дослідних зразків розробленої продукції.

Провідне місце у розробці, виробництві та просуванні промислової робототехніки займають найбільші міжнародні корпорації, холдинги та компанії, такі як: АВВ (Швеція – Швейцарія), FANUC Robotics (Японія), КУКА (Німеччина), Kawasaki Robotics (Японія), Міцубіші (Японія), LG Electronics (Південна Корея), Kaman Corporation (США), Sony (Японія) [3, 4].

Основні виробники роботів – Японія і Німеччина.

## ВИСНОВКИ

Аналіз показав:

- основним фактором, що спричинив появу промислових машин був попит суспільства на їх продукцію, необхідність полегшення людської праці, збільшення її потужності;
- розвиток верстатобудування з XVI по XVIII сторіччя був направлений на розширення технологічних можливостей;
- після XVIII сторіччя актуальною стає автоматизація;
- автоматизація актуальна для підприємств масового та серійного виробництва з широкою номенклатурою.

## ПОСИЛАННЯ

1. История токарного станка - Ourboox. Ourboox. URL: <https://www.ourboox.com/books/история-токарного-станка-30/> (дата звернення: 30.05.2023).

2. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник/За ред. Сіліна Р.І. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008. – 448 с.

3. Мещерякова В. Б., Стародубов В. С. Металлорежущие станки с ЧПУ: Учеб. Пособие. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 336 с.

4. Локтева С. Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы: Учебник для машиностроительных техникумов. изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986, 320 с.

## **EXPERIMENTAL STUDY OF METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF A DIRECT-FLOW AIR-JET DETONATION ENGINE**

*Vitalii Stoliarchuk*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6082-7577>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro,  
Yuzhnoye State Design Office, Dnipro

*Olexandr Zolotko*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5600-500X>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

*Olexandr Aksonov*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7134-9192>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro,  
Yuzhnoye State Design Office, Dnipro

### **INTRODUCTION**

A fundamentally new direction in the development of rocket and space propulsion is the introduction of jet engines operating on the detonation principle of energy conversion of the working body. The use of detonation fuel combustion allows to increase the thermodynamic efficiency of the engine and the thermodynamic efficiency of fuel combustion. Detonation is a hydrodynamic wave process of propagation of an exothermic reaction zone in a substance at a supersonic speed. The detonation wave is the main shock wave, behind the front of which a chemical reaction is continuously initiated due to heating during adiabatic compression.

Engines in which the time of release of fuel energy in each volume is less than the time of the beginning of the decomposition of gasification products are called detonation engines. A feature of this process is a large pressure drop before the detonation wave and in the induction zone, where the reaction takes place. At such a rate of fuel energy release, the thermodynamic characteristics of the engine are improved, the prerequisites are created for simplifying the design of the combustion chamber, reducing the size, volume, and weight of the engine, improving thermodynamic efficiency, a significant gain in technical characteristics and a high degree of structural perfection of promising engine installations. The completeness of the combustion of fuel mixtures in the chambers during the detonation combustion mode can be significantly increased due to the occurrence of large pressure and velocity gradients. Along with this, the processes of mixing and evaporation change, the process of evaporation of drops of liquid fuel depends on the heat and mass exchange between the drops and hot

gas. Detonation and acoustic oscillations cause additional convective movement of gas and contribute to the acceleration of transfer processes. The subject of research in the article is the modeling and study of the processes occurring in a direct-flow air-jet engine operating on the detonation principle of energy conversion of the working body. The problem of increasing the efficiency of jet detonation engines should be solved in the complex of structural synthesis using the accumulated knowledge on jet engines with deflagration fuel combustion.

### **THE AIM AND TASKS OF THE STUDY**

The subject of the study is the modeling of processes occurring in a direct-current jet engine with detonation conversion of the chemical energy of the working body into the kinetic energy of the jet. The purpose of the work is to obtain the results of studies of the defining characteristics: the development of mathematical models of the kinetics of gas-dynamic and thermal processes in the detonation combustion chamber with an aerodynamic valve and taking into account the composition and properties of the gas in the working environment of the chamber; modeling of work processes that take place in the flow part of the engine; study of the mechanism of self-oscillations in the chamber based on kinematic patterns of gas movement; development of methods of experimental measurements of detonation flows for verification of calculation models; refinement of the engineering methodology for calculating detonation combustion chambers with an aerodynamic valve of a direct-flow air-jet engine for a given thermal power [1].

### **MATERIALS AND METHODS**

The subject of the study is the modeling of processes that occur in a direct-flow jet engine with detonation conversion of the chemical energy of the working body into the kinetic energy of the jet. The purpose of the work is to obtain the results of research of gas-dynamic and thermal processes in a direct-flow air-jet detonation chamber with an aerodynamic valve. One of the tools for solving such a problem is the method of a numerical experiment using mathematical modeling technologies. At an extremely high rate of energy release from the detonation combustion of fuel components, the traction and impulse characteristics of the engine are significantly increased, the prerequisites are created for simplifying its design, reducing dimensions and mass, which allows to achieve structural perfection of detonation engine installations. The purpose of the work is to obtain the results of studies of the defining characteristics: the

development of mathematical models of the kinetics of gas-dynamic and thermal processes in the detonation combustion chamber with an aerodynamic valve and taking into account the composition and properties of the gas in the working environment of the chamber [2, 3, 5], modeling of work processes that take place in the flow part of the engine; study of the mechanism of self-oscillations in the chamber based on kinematic patterns of gas movement, development of methods of experimental measurements of detonation flows for verification of calculation models [4, 6, 7], improvement of the engineering methodology for calculating detonation combustion chambers with an aerodynamic valve of a direct-flow air-jet engine for a given power.

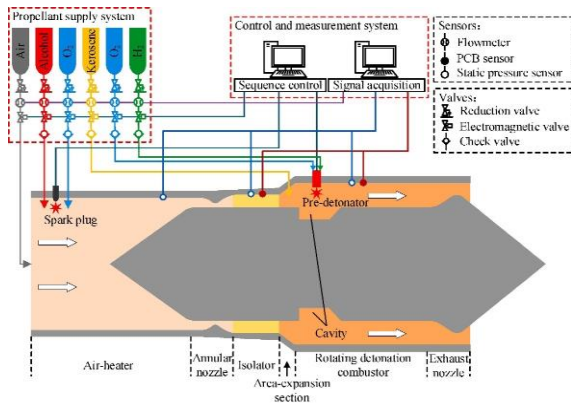


Figure 1- Schematic diagram of the experimental system [9]

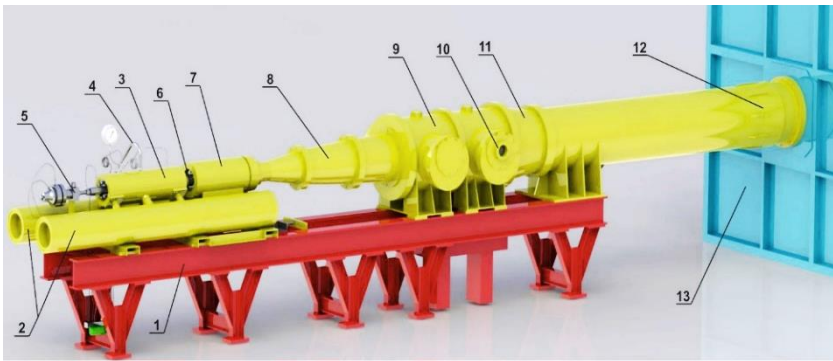


Figure 2- Experimental setup for determining the characteristics of a direct-flow air-jet detonation engine [1]

1 – frame; 2 – container for storing compressed air with heaters; 3 – the main fore-chamber; 4 – compressed air supply pipeline; 5 – remote quick-acting valve; 6 – connecting pipeline; 7 – auxiliary pre-chamber; 8 – replaceable part of the nozzle; 9 – the working part, where the direct-flow air-jet detonation engine is placed; 10 – the optical window for visualizing the process; 11 – confusor; 12 - exhaust diffuser; 13 - sound absorption chamber.

## RESULTS

Based on the results of theoretical and experimental studies, an engineering method of chamber calculation is proposed, mathematical models of gas-dynamic and thermal processes in a detonation combustion chamber with an aerodynamic valve are proposed, taking into account the ratio of air and fuel consumption, allowing to determine the properties and composition of combustion products [3, 4, 7].

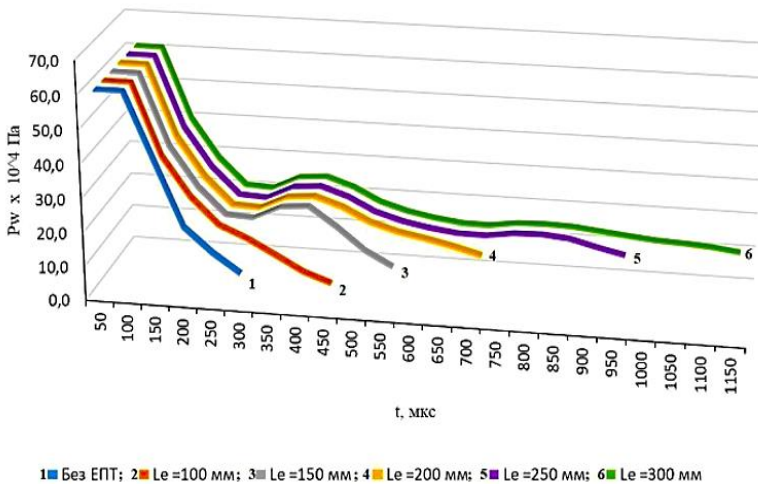


Figure 3 - Dependence of pressure change over time on the traction wall of the detonation chamber when using cylindrical ejector thrust amplifiers of different lengths:  $p_w$  – pressure on the traction wall of the DC;  $t$  – time;  $Le$  is the length of the ejector [7]

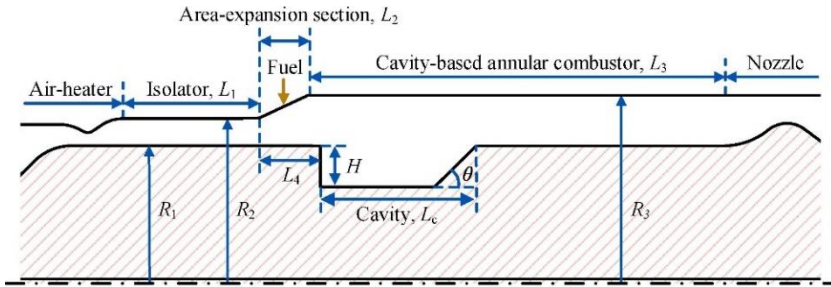


Figure 4 - Structural diagram of the designed ram-RDE model [10]

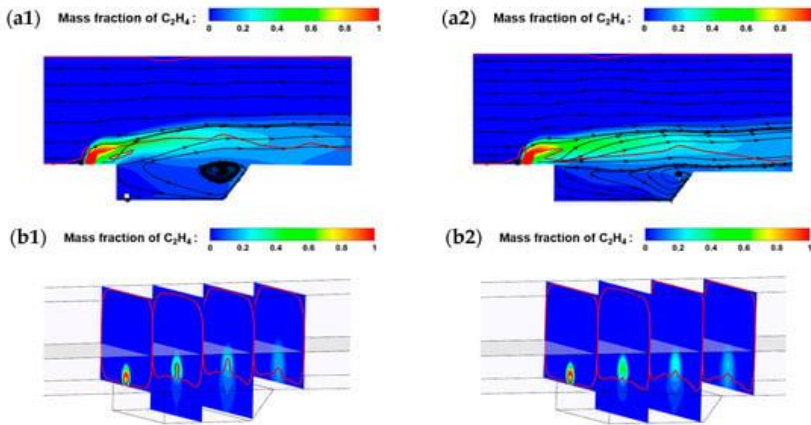


Figure 5 - Visualization of fuel distribution for the case of a conventional cavity chamber (a1, b1) and a cavity chamber with a rear wall (a2, b2), with an equivalence factor of 0.2 [4]

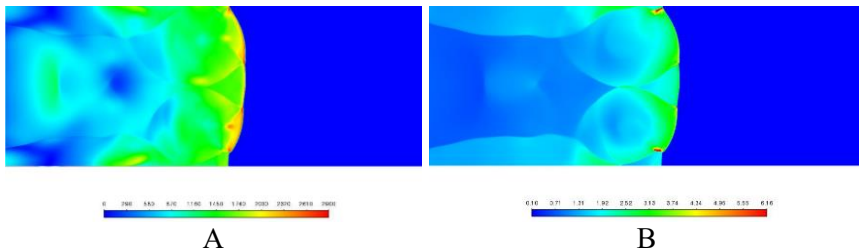


Figure 6 – A -Velocity distribution in the calculation area, m/s;  
 B - Pressure distribution in the calculation area, MPa [1]



## SUMMARY

Calculated equations were obtained for determining the frequency of oscillations in the detonation combustion chamber taking into account the aerodynamic valve, a method was developed for calculating the kinetics of gas dynamic and thermal processes in the detonation combustion chamber depending on the coefficient of excess air regulated by the aerodynamic valve. Experimental data are used to validate the two-dimensional model, which in turn provides a basis for evaluating the performance of the reduced one-dimensional model. It was determined that the higher the pressure in the controlled system, the greater the free volume, the faster the adjustment speed of the actuator, and the greater the adjustment of the gas flow. Comparing the changes in the position of the flame front under the conditions of different injection distances, it was determined that under the same injection scheme, but different cavity configurations, the position of the flame front has the same tendency as the change in the equivalence coefficients, where the limit of lean blowing in the chamber combustion, when the short-range injection condition reaches a near-purge state, this is because the ignition in the cavity is greater than the flame stabilization in the combustion chamber, which is related to the power of the igniter discharge and the flow field environment inside the cavity [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11]. The conducted experiments confirm the correctness of the important technical decisions made and confirm the increase in the efficiency of the thermodynamic cycle by 20-35% in comparison with existing analogues on deflagration combustion. Experimental studies of the characteristics of detonation engines are relevant and involve the creation of a specialized laboratory and fire test stands for the rapid introduction of the latest technologies in the rocket and space industry.

## REFERENCES

1. Aksonov O. S., Zolotko O. E., Stolyarchuk V. V. Complex approach to solving the problem of reliable cooling of the detonation engine chamber. *Journal of Rocket-Space Technology*. 2023. Vol. 30, no. 4. P. 23–29. URL: <https://doi.org/10.15421/452204> (date of access: 29.05.2023).
2. Characteristic of rotating detonation wave in the H<sub>2</sub>/Air hollow chamber with Laval nozzle / H. Zhang et al. *International journal of hydrogen energy*. 2021. Vol. 46, no. 24. P. 13389–13401. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.143> (date of access: 29.05.2023).
3. Chen Y., Wang S., Liu W. Data-Driven transition models for aeronautical flows with a high-order numerical method. *Aerospace*. 2022.

Vol. 9, no. 10. P. 578. URL: <https://doi.org/10.3390/aerospace9100578> (date of access: 29.05.2023).

4. Curran D., Wheatley V., Smart M. High mach number operation of accelerator scramjet engine. Published by the american institute of aeronautics and astronautics. 2023. No. 2. URL: <https://doi.org/10.2514/1.A35511>.

5. Effects of cavity length on operating characteristics of a ramjet rotating detonation engine fueled by liquid kerosene / W. Feng et al. Fuel. 2023. Vol. 332. P. 126129. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126129> (date of access: 29.05.2023).

6. Effects of chamber width on h<sub>2</sub>/air rotating detonations / H. Zhang et al. International journal of aerospace engineering. 2020. Vol. 2020. P. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/8819667> (date of access: 29.05.2023).

7. Ejector detonation engine on environmentally friendly fuel components / O. V. Sosnovska et al. Aerospace technic and technology. 2021. No. 4. P. 20–27. URL: <https://doi.org/10.32620/akt.2021.4.03> (date of access: 29.05.2023).

8. Numerical investigation of mass flow rate effects on multiplicity of detonation waves within a H<sub>2</sub>/Air rotating detonation combustor / M. Salvadori et al. International journal of hydrogen energy. 2022. Vol. 47, no. 6. P. 4155–4170. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.270> (date of access: 29.05.2023).

9. Schematic diagram of the experimental system. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126129>. URL: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0016236122029532-gr1.jpg> (date of access: 29.05.2023).

10. Structural diagram of the designed ram-RDE model. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126129>. URL: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0016236122029532-gr3.jpg> (date of access: 29.05.2023).

11. Tian S., Duan Y., Chen H. Numerical investigation on aerodynamic characteristics of an active jets-matrix serving as pitch control surface. Aerospace. 2022. Vol. 9, no. 10. P. 575. URL: <https://doi.org/10.3390/aerospace9100575> (date of access: 29.05.2023).

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ТОКАРНОГО ІНСТРУМЕНТА ТА РЕЖИМІВ ОБРОБКИ НА ПРОЦЕС СХОДЖЕННЯ СТРУЖКИ**

*Анастасія Олексіївна Каракай*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1570-9594>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Світлана Валеріївна Кицюк*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0294-1564>

Машинобудівний фаховий коледж Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро

*Андрій Олегович Кужиль*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8877-5019>

Машинобудівний фаховий коледж Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Геометричні параметри токарного різця впливають на швидкість сходження стружки, якість отриманої поверхні та інші техніко-економічні показники обробки. Фізична природа виникнення підвищення температури в зоні різання дає можливість шляхом впровадження чинників, що компенсують даний процес, регулювати його. Для цього необхідно впровадити низку заходів та умов обробки кожного конкретного матеріалу, що суттєво вплине на якість отриманої поверхні та стійкість інструменту.

### **МЕТА РОБОТИ**

Дослідити вплив геометрії токарного інструмента на процес формування та сходження стружки. Визначити основні параметри, від яких залежить фізична складова процесу. Дослідити причини та наслідки підвищення, способи регулювання температури в зоні обробки.

### **РЕЗУЛЬТАТИ**

Стружка є частиною металу, що знімається під час обробки з поверхні заготовки для отримання деталі, яка відповідає параметрам креслення.

Відповідно від параметрів зняття стружки безпосередньо залежить якість отриманої поверхні: від сил під впливом яких шар металу відділяється від поверхні, фізико-механічних властивостей матеріалу,

стану оточуючого середовища особливостей технологічного процесу виготовлення деталі [1-3].

Технологічний процес виготовлення деталі характеризується застосованим обладнанням, оснащенням, інструментом, режимами обробки.

Оточуюче середовище – температура та вологість повітря в цеху, рівень вібрації на дільниці, наявність пилових забруднень, культура виробництва та інше.

Для встановлення належних умов роботи, отримання якісної продукції машинобудування, розроблені норми, нормалі, стандарти, що регламентують параметри технологічного процесу.

Вразі застосування нестандартного обладнання вищевказані нормативні документи необхідно розробити в рамках підприємства на якому експлуатується обладнання із повним дотриманням вимог державних стандартів та правил техніки безпеки.

Негативний вплив на процес обробки має підвищення температури в зоні різання в результаті дії сил, що встановлюються режимами різання (рис. 1). Основна частина тепла відводиться зі стружкою, але нагрів ріжучих кромки та передньої площини негативно впливає на результат обробки, стійкість інструменту.

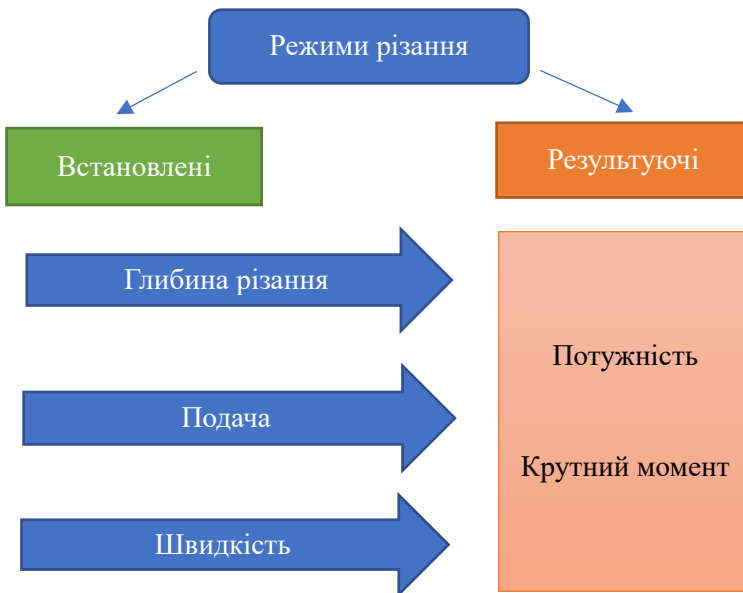


Рисунок 1 – Розподіл режимів обробки

Перший важливий чинник, що впливатиме на виділення тепла -- це швидкість різання. Чим більша швидкість різання, тим більше зростає робота різання і загальна кількість тепла, що виділяється. Але найкращий ефект цього збільшення спостерігається лише при швидкості різання до 400 м/хв, а вище цього параметру вплив швидкості на температуру поступово зменшується.

Другий чинник - глибина різання і подача. При збільшенні подачі температура в зоні обробки також підвищується, але не так як при збільшенні швидкості різання. А ще меншого ефекту дає глибина різання, бо чим глибше ріже інструмент, тим краще умови тепловіддачі для ріжучої кромки інструмента. Для найкращого ефекту потрібно "Більше глибини і менше подачі!"

І третій чинник - зміна кутів  $\gamma$  і  $\phi$ . При збільшенні переднього кута, знижується робота деформації, а отже, кількість тепла що виділяється, але одночасно с цим і погіршується умови відведення тепла. Тому спочатку температура зменшується, а при оптимальному  $\gamma$ , починає збільшуватися. А при збільшенні кута  $\phi$  тепловиділення знижується і погіршуються умови відведення тепла. В результаті чого температура різання підвищується у всьому діапазоні, де збільшили кут  $\phi$ .

Отже зрозуміло, що з одного боку, велике тепловиділення допомагає легше деформувати шар матеріалу, що оброблюється, унаслідок чого зменшується знос інструменту і підвищується якість обробленої поверхні, а з іншого боку висока температура в зоні головної ріжучої кромки, яка досягає 800-1000 °С, призводить до погіршення ріжучих здібностей інструменту і прискорює його зношування. Крім того, нагрів інструменту і заготовки призводить зміну їх розмірів, що сильно впливає на точність обробки. Отже, тепловими явищами при різанні необхідно керувати так, щоб теплота полегшувала різання і не знижувала стійкість інструменту і точність обробки.

Вплив на температуру в зоні обробки здійснюють шляхом впровадження заглиблень на передній поверхні різця, використання змащувально-охолоджуючих рідин.

Під час автоматизації виробництва операції встановлення та зняття деталі, інструменту, виконують промислові роботи, які є машинами, працюють за чітко заданою програмою, з встановленим зворотнім зв'язком - тобто похибка встановлення при відсутності пилово-мастильних забруднень на поверхні інструменту або деталі виключена. Отже вплив на процес сходження стружки, формування поверхні деталі мають вібраційні забруднення, стан ріжучих кромок та площин інструмента, температурний режим на дільниці.

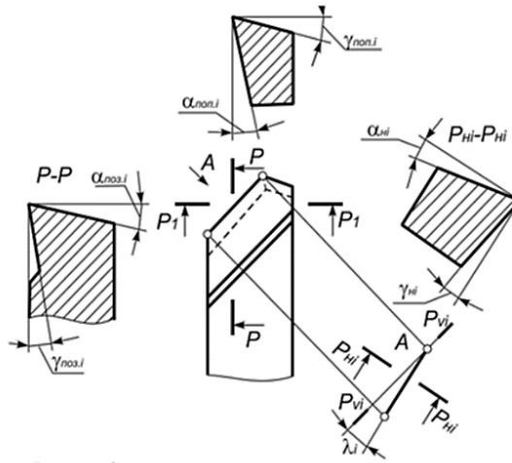


Рисунок 2 – Геометричні параметри ріжучої частини токарного різця [1]

Відведення стружки з зони обробки після відділення її ріжучою кромкою відбувається по передній площині (рис. 1). Геометричними параметрами, що формують цю площину є кути  $\gamma$  та  $\lambda$ , головний передній кут та кут нахилу передньої площини відповідно.

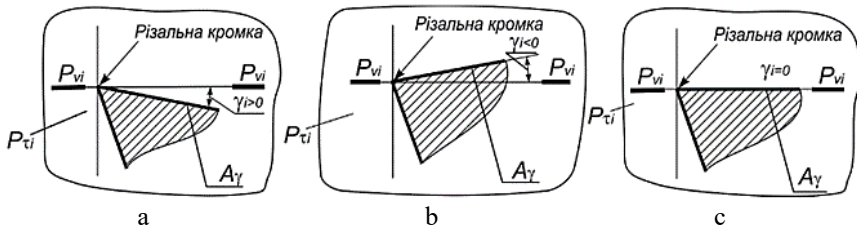


Рисунок 3 – Додатне (а), від’ємне (б), нульове значення кута  $\gamma_i$  [1]

Розрізняють позитивний кут  $\lambda$ , негативний та нульовий, що впливає на напрямок сходження стружки, на оброблену поверхню, на необроблену поверхню та перпендикулярно руху подачі.

$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} \gamma_{\text{поз.}i} &= \operatorname{tg} \gamma_i \cos \varphi_i - \operatorname{tg} \lambda_i \sin \varphi_i; \\
 \operatorname{tg} \gamma_{\text{ноп.}i} &= \operatorname{tg} \gamma_i \sin \varphi_i + \operatorname{tg} \lambda_i \cos \varphi_i.
 \end{aligned}$$

Встановлено, що основним фактором, що впливає на величину рекомендованого переднього кута, є міцність або твердість оброблюваного матеріалу [1-4].

Умови навантаження різального леза при будь-якому методі оброблення характеризуються товщиною та шириною зрізаного шару та довжиною активної частини різальної кромки [1-4].

## ВИСНОВКИ

Аналіз показав:

- геометричні параметри різального інструменту, їх умови, треба дотримуватись стандартам визначення;
- різці треба виготовляти так, щоб відповідали всім геометричним нормам та точності;
- технологічні бази можуть не відповідати геометричним вимогам;
- треба доцільно добирати технологічні бази для виготовлення інструмента для відповідних параметрів перетину;
- в процесі обробки рекомендовано використовувати інструмент з канавками на передній поверхні;
- обробку рекомендовано проводити з використанням змащувально-охолоджуючої рідини.

## ПОСИЛАННЯ

1. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Доброскок В. Л., Залога В.О., Новосолов Ю. К., Якубов Ф. Я. Основи теорії різання матеріалів: Підручник [для вищ. навч. закладів]/За ред. Мазура М. П. – 2-е вид. перероб. і доп. Львів: Новий світ-2000, 2011. 422 с.
2. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
3. Алексеев Г. А., Аршинов В. А. Конструирование инструмента. Москва: Машиностроение, 1979. 384 с.
4. Справочник инструментальщика под ред. Ординарцева И. А. Ленинград: Машиностроение, 1987. 845 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗПАДУ ПЕРЕСИЧЕНОГО ТВЕРДОГО РОЗЧИНУ АУСТЕНІТНОЇ СТАЛІ

*Сергій Анатолійович Божко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0736-4968>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Юрій Валентинович Ткачов*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1556-2463>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Останнім часом у машинобудуванні, зокрема ракето- та авіабудуванні, все більше поширюється використання аустенітних сталей типу «ферманал» системи  $Fe - Mn - Al$ , які не містять відносно дефіцитних компонентів — хрому й нікелю. Такі сплави стали темою, що також представляє значний інтерес для оборонної та автомобільної промисловості, тому що вони можуть зберігати високу міцність і пластичність, а також сприяють зменшенню ваги в конструкційних застосуваннях. До того ж ці матеріали придатні для виготовлення порошків, що використовують для виробництва деталей із застосуванням адитивних технологій [1]. Стабільність аустеніту в широкому діапазоні температур досягається введенням до 30% марганцю та до 10% алюмінію. Такі сталі характеризуються підвищеними показниками ударної в'язкості, міцності, а також здатністю до твердіння під час наклепу. Дослідження [2] констатують високу пластичність цих сплавів у поєднанні з підвищеною міцністю в разі збільшення вмісту марганцю, що свідчить про гарні технологічні властивості стосовно оброблюваності таких матеріалів. Необхідний високий рівень характеристик міцності досягається завдяки виділенню частинок другої фази під час термічної обробки [3]. Проте, процеси розпаду пересиченого твердого розчину в цих сталях вивчені недостатньо, а відомі режими термічної обробки не дозволяють повною мірою реалізувати високий потенціал, закладений розробниками цих матеріалів.

З огляду на вищезначене актуальним завданням є визначення залежності механічних властивостей таких аустенітних сталей, що не містять нікелю, від температури та тривалості ізотермічної витримки. Розробка рекомендацій за результатами вивчення механізмів зміцнення без сумніву матиме певне практичне значення стосовно призначення режимів термічної обробки.

Спочатку, для детального вивчення кінетики зміцнення, були визначені температурно-часові інтервали протікання процесів виділення вторинної фази за допомогою методів диференційного термічного



аналізу [4] та вимірювання питомого електроопору. Рентгенівський фазовий аналіз показав, що розпад пересиченого твердого розчину відбувається з виділенням  $R$ -фази, яка є складним карбідом типу  $(Fe, Mn)_3Al, C_x$ . Механічні властивості — твердість  $HRC$  і ударна в'язкість  $a_n$  (МДж/м<sup>2</sup>) визначались після ізотермічної витримки за різних температур (табл. 1, 2).

Таблиця 1 — Твердість  $HRC$  після старіння

		Температура, К						
		720	770	820	870	920	970	1020
Час витримки, с	360	16,0	19,0	22,0	22,0	18,0	17,5	18,0
	9000	16,0	21,0	26,0	25,0	21,0	20,0	20,0
	18000	16,0	23,0	29,0	27,5	22,0	19,5	19,0
	3600	16,0	25,5	33,5	26,0	21,0	18,5	18,0
	54000	17,0	28,0	36,0	25,0	21,0	17,0	17,0
	72000	17,5	30,0	34,0	24,0	20,0	15,0	16,0
	90000	19,0	32,0	30,0	23,0	13,5	14,0	15,0

Таблиця 2 — Ударна в'язкість  $a_n$  після старіння

		Температура, К						
		720	770	820	870	920	970	1020
Час витримки, с	360	2,20	1,75	1,70	1,80	1,85	1,85	2,20
	9000	2,20	1,80	1,71	1,66	1,90	1,91	2,00
	18000	2,10	1,70	1,52	1,42	1,45	1,43	1,75
	3600	2,00	1,65	1,17	0,91	1,05	1,00	1,45
	54000	2,00	1,60	0,92	0,70	0,75	0,70	1,20
	72000	2,00	1,50	1,29	0,60	0,50	0,50	1,05
	90000	2,00	1,40	1,31	0,55	0,40	0,35	1,00

Інформативність результатів досліджень залежить від способу та форми їх подання, тому візуалізація результатів має дуже важливе значення для повного розуміння природи перетворень, що відбуваються під час того чи іншого досліджуваного процесу. Традиційно результати досліджень процесів старіння подають у вигляді звичайних двокоординатних ізотермічних кривих. Такі залежності є функціями часу витримки  $\tau$  за певної постійної температури  $HRC_t = f(\tau)$ . Але для вибору потрібних режимів обробки більш зручним поданням буде відображення результатів у вигляді тривимірних графіків, як наведені на рис. 1 та 2.

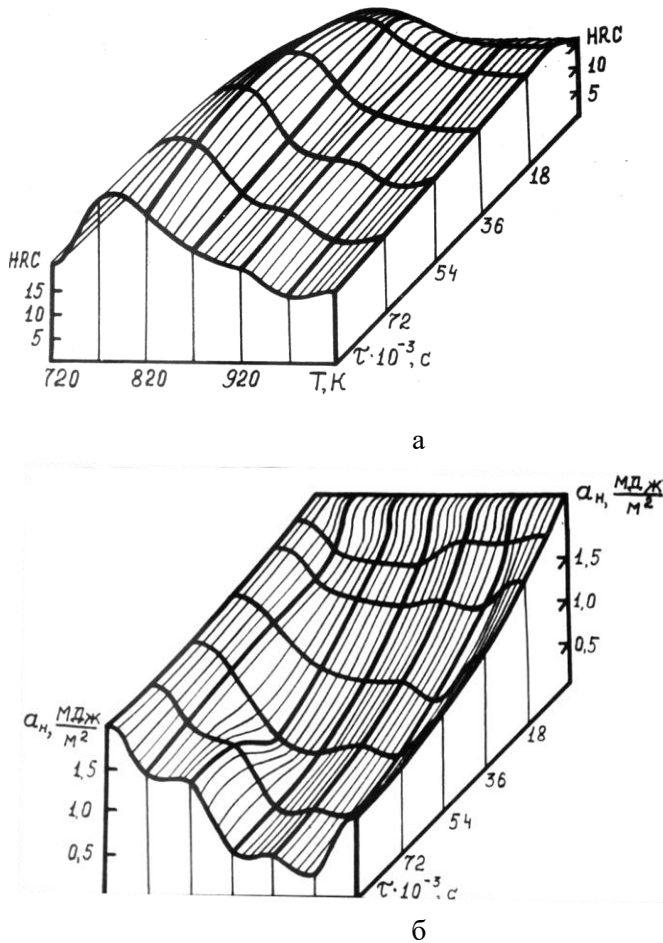


Рисунок 1 — Твердість HRC (а) та ударна в'язкість  $a_n$  (б)

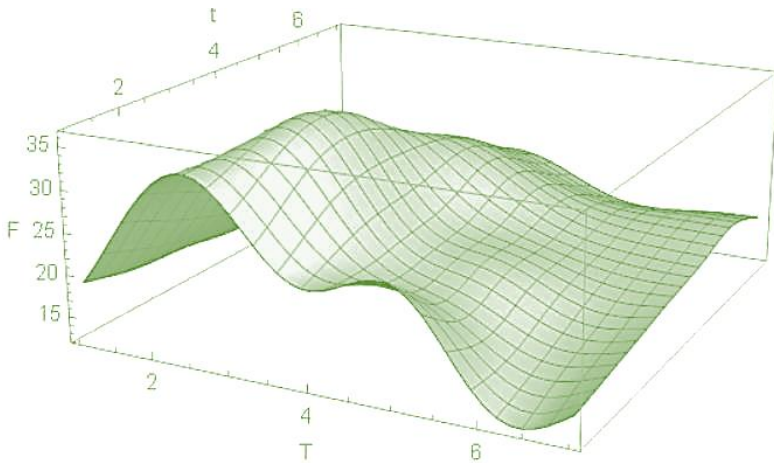
На основі існуючих уявлень, процеси розпаду твердого розчину протікають у декілька стадій.

На першій стадії виникають сегрегації елементів, які створюють зміцнювальну фазу. Ці утворення постійно змінюються, але залишаються когерентно пов'язаними з кристалічною решіткою матриці. Міцність підвищується, в'язкість майже не змінюється.

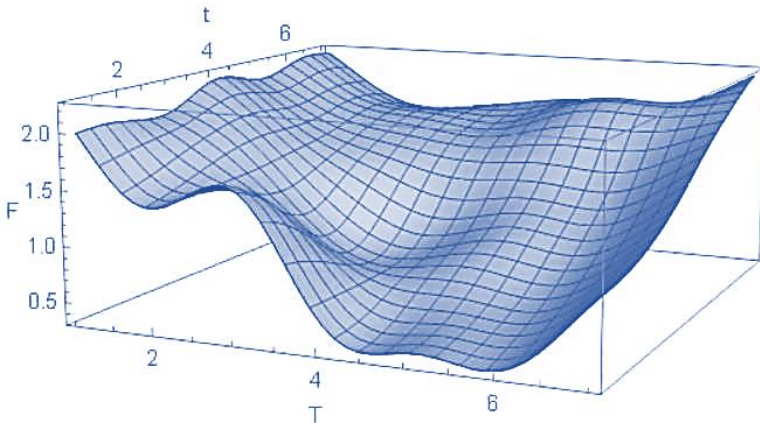
На другій стадії, з підвищенням температури і тривалості витримки, дифузійні процеси інтенсифікуються, з'являються частки другої фази, які мають власну кристалічну решітку, відбувається втрата когерентності, міцність підвищується, а ударна в'язкість падає.

На третій стадії, завдяки ще більшому розвитку дифузійного масопереносу, відбувається зростання часток другої фази, які виділяються, в основному, по границях зерен та субзерен. Механічні властивості знижуються, відбувається перестаріння.

Для обробки експериментальних даних був застосований математичний пакет функціонального програмування *Wolfram Mathematica* [5]. Цим продуктом можна скористатись для розв'язання широкого спектру задач, включаючи математичний аналіз, обробку даних, символні обчислення, візуалізацію даних, програмування та моделювання систем.



а



б

Рисунок 2 — Твердість  $HRC$  (а) та ударна в'язкість  $a_n$  (б)

Наведені графіки (рис. 2) були побудовані з використанням наявних у пакеті функцій із шостим ступенем інтерполяції (порядком поліному), вони були одержані шляхом обробки експериментальних результатів, поліномом третього ступеню.

На основі аналізу графічно відображених результатів можна підбирати режими термічної обробки з урахуванням висунутих вимог до матеріалу. До того ж, треба зауважити, що за підсумками аналізу результатів візуалізації даних можна рекомендувати комбіновані режими старіння, які складаються з двох етапів:

1) попереднього підстарювання за підвищеної температури з метою одержання максимальної кількості зародків зміцнювальної фази, когерентно пов'язаних із матрицею;

2) подальшого старіння за нижчих температур із метою одержання максимальної міцності.

Такий режим дозволяє значно скоротити загальний час старіння та зменшити енерговитрати.

Таким чином, дослідження залежності механічних властивостей сталей системи  $Fe - Mn - Al$  від температури та тривалості ізотермічної витримки дали практичні результати, на основі яких можна призначати режими термічної обробки.

## ПОСИЛАННЯ

1. A lightweight Fe–Mn–Al–C austenitic steel with ultra-high strength and ductility fabricated via laser powder bed fusion / Seede R. et al. *Materials Science and Engineering: A*. 2023. Vol. 874. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145007>.

2. The current state and the prospects for the development of high-plasticity ultrastrong Fe-Mn-Al-C steels / O. P. Verzilov et al. *Metal and Casting of Ukraine*. 2021. Vol. 29, no. 2. P. 113–121. URL: <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.101>.

3. Current state of Fe-Mn-Al-C low density steels /Chen S. et al. *Progress in Materials Science*. 2017. Vol. 89. P. 345–391. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.05.002>.

4. Contributors to Wikimedia projects. Thermal analysis - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_analysis).

5. Wolfram Mathematica: Modern Technical Computing. *Wolfram: Computation Meets Knowledge*. URL: <https://www.wolfram.com/mathematica/index.php.en>.

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ МЕТОДАМИ МОДИФІКУВАННЯ

*Наталія Іванівна Цокур*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8968-3543>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Наталія Євграфівна Калініна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3810-6778>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Після численних теоретичних та експериментальних робіт, присвячених алюмінієвим сплавам та розробці високоміцних сплавів системи Al-Zn-Mg тривалий час вважали, що подальше підвищення властивостей міцності алюмінієвих сплавів неможливе [1]. Проте в останні два десятиліття досягнуто успіхів завдяки легуванню сплавів скандієм [4]. У зв'язку з цим стало можливим подальше підвищення комплексу властивостей алюмінієвих сплавів та отримання дисперсних структур зі зміцнюючими фазами.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Таким чином, метою цієї роботи було теоретичне обґрунтування вибору скандію як мікролегуючого і модифікуючого елемента для підвищення властивостей міцності алюмінієвих сплавів.

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалом дослідження був деформований алюмінієвий сплав В95 системи Al-Zn-Mg-Cu хімічного складу, % мас.: 8,2 - Zn; 1,9 - Mg; 1,7 - Cu; 0,04 - Mn; 0,7 - Zr; 0,12 - Si; 0,01 - Ti; Інше. Скандій вводили у вигляді лігатури з розрахунку 0,2...0,3% мас. Після розплавлення шихти та охолодження виливків проводили їх деформацію та термоміцнівальну обробку. Вивчення мікроструктури та механічних властивостей сплаву проводили за стандартними методиками.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Найбільшою міцністю нині володіють сплави системи Al-Zn-Mg-Cu. Однак приховані резерви підвищення міцності алюмінієвих

сплавів закладені у мікролегуванні скандієм та перехідними металами [3]. Мікролегування скандієм дозволило як підвищити міцність і пластичність сплавів, а й поліпшити технологічні властивості: зварюваність і оброблюваність, і навіть корозійні властивості [2].

Промислові алюмінієві сплави є багатокомпонентними системами, тому легування скандієм має особливості, зумовлені взаємодією скандію з легуючими елементами, що входять до складу сплавів.

Скандій – хімічний елемент III групи періодичної системи, температура плавлення – 1540°C, щільність – 3020 кг/м<sup>3</sup>, поліморфний метал. Електронна конфігурація атома скандію відповідає 3d<sup>1</sup> 4s<sup>2</sup>. Розчинність скандію в алюмінії становить 0,3% мас., а в лігатурі присутній інтерметалід Al<sub>3</sub>Sc, розміри якого повинні бути не більше 20 нм, щоб розчинитися в розплаві.

Аналіз діаграми стану Al-Sc [3] дозволив встановити що, незначний температурний інтервал кристалізації (5°C); помітна гранична розчинність 0,4% ваг; пологий ліквідус заевтектичних сплавів. Все це дає підставу припустити можливість утворення пересичених твердих розчинів скандію в алюмінії за відносно невисоких швидкостей кристалізації, близьких до промислових умов отримання сувоїв [4]. Значна гранична розчинність при евтектичній температурі різко зменшується зі зниженням температури, що свідчить про можливість зміцнення сплавів за рахунок термічної обробки.

В результаті загартування сплавів системи Al-Sc, що містять 0,3% скандію, від температури 620°C різкого охолодження зі швидкістю 100°C/с і вище не відбувається розпаду твердого розчину з виділенням частинок інтерметаліду Al<sub>3</sub>Sc. У процесі старіння загартованих металів виділяються вторинні частки Al<sub>3</sub>Sc. Оптимальна температура старіння становить 300°C. Оскільки в складнолегованих сплавах алюмінію температура плавлення нижче 600°C, загартування передплавильних температур не призводить в цих сплавах до перекладу скандію в твердий розчин. Утворення вторинних виділень Al<sub>3</sub>Sc можливе шляхом старіння металу після швидкої кристалізації, також шляхом деформаційного старіння [2].

Особливість впливу скандію на метали алюмінію пояснюється електронною будовою скандію. Істотно більшу розчинність скандію у більшості елементів періодичної системи пов'язують зі значно меншим значенням атомного радіусу скандію, зумовленого його електронною будовою.

У роботі встановлено, що сплави системи AlSc мають високий ефект штучного старіння. Вивчення кінетики процесу розпаду показало пересичення твердого розчину, отриманого при кристалізації аналогічно старіння металу після загартування. Під час розпаду

твердого розчину скандію в алюмінії виділяються частинки стабільної фази  $Al_3Sc$ . Вони зароджуються гомогенно, виділяються у дисперсному вигляді та є повністю когерентними матрицями. Основна дія скандію полягає у підвищенні властивостей міцності за рахунок утворення дисперсних продуктів розпаду твердого розчину скандію в алюмінії і збереженні в термічно оброблених напівфабрикатах стабільної структури з дрібними субзернами. Для отримання максимального ефекту при легуванні алюмінієвих сплавів скандієм необхідно враховувати особливості взаємодії скандію з алюмінієм, легуючими елементами та домішками, а також кінетику фазових та структурних перетворень у алюмінієвих сплавах, що містять скандій.

Вміст скандію має бути таким, щоб при литті злитків основна його частина фіксувалася в пересиченому твердому розчині, який потім розпадається при подальших технологічних нагріваннях злитків і напівфабрикатів з утворенням дисперсних фаз, що забезпечують при термічній обробці формування дрібної субзерненої структури з високою стійкістю проти рекристалізації матриці з допомогою дисперсійного твердіння. При великій швидкості охолодження твердий розчин скандію в алюмінії схильний до аномального пересичення з концентрацією скандію в алюмінії близько 0,6% [5,6]. Тому максимальний зміцнюючий ефект в деформованих напівфабрикатах досягається при вмісті в алюмінії та його сплавах 0,6% Sc. Однак це справедливо тільки для напівфабрикатів в лабораторних умовах, коли вдається обмежити розпад і коагуляцію продуктів розпаду пересиченого твердого розчину скандію в алюмінії. У виробничих умовах зливки та напівфабрикати піддаються тривалим високотемпературним нагріванням, при цьому розпад пересиченого твердого розчину проходить повністю, а продукти розпаду сильно коагулюють. В результаті, ефект від введення 0,6% Sc втрачається. Це пов'язано з тим, що твердий розчин скандію в алюмінії нестійкий, і швидкість розпаду його на кілька порядків перевищує швидкість розпаду твердих розчинів інших перехідних металів в алюмінії. Для зменшення ступеня розпаду твердого розчину та обмеження коагуляції продуктів розпаду вміст скандію доцільно обмежити до 0,25-0,5% [7].

Після кристалізації проводили гомогенізацію злитків при 470°C протягом 8 год, що значно впливало на формування однорідної структури і стабілізацію властивостей. У процесі гомогенізації сплаву В96, модифікованого скандієм, крім розчинення надлишкових фаз та вирівнювання концентрації твердого розчину основних компонентів в алюмінії, з великою швидкістю відбувається розпад твердого розчину Sc в алюмінії. Температурно-часові умови гомогенізації вибирали виходячи з даних диференціального термічного аналізу та

статистичної обробки результатів механічних випробувань.

Вивчення мікро- та макроструктури серійних та модифікованих зливок сплаву В95 показало більш однорідну структуру модифікованих злитків та подрібнення зерна з 140 мкм до 50...60 мкм. Модифіковані зливки мали практично нульову пористість у вигляді дрібних блискучих ділянок ( $<0,02 \text{ мм}^2$ ) у зламах технологічних проб. Підвищення якості литого модифікованого металу далось взнаки підвищенням механічних властивостей деформованих заготовок (табл. 1).

Механічні властивості зразків сплаву визначали у стані гарту та штучного старіння ( $110^\circ\text{C}$ , 4ч +  $160^\circ\text{C}$ , 8ч). Мікроструктура негомогенізованих злитків сплаву В95 мала грубу дендритну будову - твердого розчину з великими виділеннями інтерметалідних фаз по межах дендритних осередків. Після гомогенізації збільшилася дисперсність дендритів, розмір дендритного осередку порівняти з розміром зерна, тобто 40...50 мкм. Інтерметалідні фази ( $\text{Al}_3\text{Sc}$ ,  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{Al}_3\text{CuMg}$ ,  $\text{MgZn}_2$ ) дисперсно та рівномірно розподілені в обсязі зерен. Деформація призвела до волокнистої структури; причому неоднорідні великі фази вихідного металу утворили рядки підвищеної травимості, а зерна твердого розчину алюмінію мали знижену травність. Ця неоднорідність призвела до анізотропії властивостей міцності вихідного сплаву. В результаті модифікування скандієм смуг різнотравності не спостерігали і анітропія за характеристиками міцності зменшилася.

Таблиця 1 — Механічні властивості сплаву В95

Стан	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
Вихідний зливок	280	240	12,5
Модифікований зливок	340	290	11,0
Вихідний профіль	560	490	8,0
Модифікований профіль	620	570	7,5

## ВИСНОВКИ

На основі вітчизняних та зарубіжних досліджень, аналізу фізико-хімічних властивостей елементів обґрунтовано вибір скандію як мікролегуючого та модифікуючого елемента високоміцних алюмінієвих сплавів. Наведено основні критерії модифікуючої здатності скандію та його переваги перед перехідними металами. Розроблено технологію введення Al-Sc-лігатури в алюмінієвий розплав. Оптимізовано кількість скандію 0,2...0,3% (мас.). Для ефективного модифікування запропоновано температурні параметри термозміцнювальної обробки сплаву В95. Досягнуто однорідну дисперсну структуру заготовок з



високим комплексом механічних властивостей.

Як мікролегуєчий та модифікуючий елемент високоміцного алюмінієвого сплаву В95 запропоновано скандій. Проведено аналіз природи та фізико-механічних властивостей Sc. Визначено критерії властивостей Sc як модифікатора Al-сплавів. Проведено аналіз фазової діаграми Al-Sc, на підставі чого скориговані температури загартування та старіння металу. Проведені дослідні плавки сплаву В95 у вихідному стані та з добавками Sc-лігатури. У модифікованих зразках отримана дисперсна структура та підвищений рівень властивостей міцності.

## ПОСИЛАННЯ

1. Вплив дресування на структуру і властивості гарячекатаної листової сталі для холодної штамповки / В. Куцова та ін. System technologies. 2021. Т. 5, № 136. С. 46–57. URL: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-136-2021-05> (дата звернення: 17.05.2023).

2. Мильман Ю. В. Исследование физической природы низкотемпературной хрупкости металлов группы хрома : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Киев, 1965. 17 с.

3. Saunders N. CALPHAD (calculation of phase diagrams): A comprehensive guide. Oxford : Pergamon, 1998. 479 p.

4. Technology improvement of the titanic alloy term strengthening treatment / М. Грекова et al. Information systems, mechanics and control. 2017. No. 17. P. 61–67. URL: <https://doi.org/10.20535/2219-3804152016108140> (date of access: 17.05.2023).

5. Патент України на корисну модель № 82163, МПК С22С 19/03. Комплексний модифікатор нікелевих сплавів / Н. С. Калініна, А. С. Калиновська, В. Т. Калінін, З. В. Віліщук, Т. В. Носова. – № 201300612 Заявл. 17.01.2013; Опубл. 25.07.2013 // Бюл. №14.

6. Special features of the phase composition and structure of aluminum alloys modified by refractory nanocompositions Kalinina, N., D. Glushkova, A. Voronkov, A. Sanin, A. Kalinin, T. Nosova, O. Bondarenko Functional materials, 27, №3, 2020. – P. 508-512.

7. Hardening the input edges of the turbine blades by electric spark alloying Калініна Н. С., Глушкова Д. Б., Гринченко О. П., Воронков А. И., Носова Т. В. Питання атомної науки и техніки. – Харків: ННЦ ХФТ, 2019, №2. - С.145-154.

## **РОЛЬ НАТУРАЛЬНИХ ВОЛОКОН У СТВОРЕННІ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ЗВУКОПОГЛИНАЮЧИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Анна Василівна Скрипинець*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2340-023X>

Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова, Харків

*Наталія Вячеславівна Саєнко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4873-5316>

Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова, Харків

*Артем Ігоревич Карєв*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7726-0359>

Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова, Харків

На даний час проблема переробки промислових відходів та використання вторинної сировини знаходить актуальне значення не лише з позицій охорони навколишнього середовища, а й пов'язана з тим, що в умовах дефіциту сировини, відходи стають потужним сировинним і енергетичним ресурсом. У той же час актуальними є й наукові дослідження з переробки та раціонального використання вторинних термопластичних полімерних матеріалів (поліолефінів) та відходів рослинного походження, які можуть бути використані при отриманні ефективних композиційних матеріалів з необхідним комплексом властивостей (покращеними звукопоглинаючими властивостями) та зниженою собівартістю [1, 2]. Тому питання розробки технологій створення полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на основі відходів виробництв є не тільки екологічно, а й економічно обґрунтованим.

Раніше на основі досліджень хімічної природи та поверхневих властивостей дисперсних наповнювачів рослинного походження, а також властивостей вторинних поліолефінів (поліетилену та поліпропілену) встановлені закономірності технологічних процесів створення ПКМ на їх основі. Розроблено целюлозовмісний композиційний матеріал будівельного призначення на основі вторинного поліпропілену та технологічних відходів агропромислового комплексу на основі гречаного лушпиння [1].

В даній роботі будуть проведені дослідження щодо доцільності використання натуральних волокон при створенні звукопоглинаючих полімерних матеріалів на основі промислових відходів та вторинної сировини, використання яких спрямоване на ефективне вирішення

проблем експлуатації будівельних конструкцій, виробів та споруд, пов'язаних з дотриманням вимог промислової, техногенної та екологічної безпеки.

В якості об'єктів досліджень обрані натуральні волокна, які у великих кількостях є на території. Україна (конопляна костриця, рисове та кукурудзяне лушпиння, вовняна шерсть та натуральні волокна) та на території Бразилії, Індії, Малайзії, Філіппинів, Китаю (цукрова тростина, кокосове волокно, волокно кенафу, волокна сизалю, бамбуку, клітковина листя ананасу).

В якості зв'язуючих компонентів використані вторинні термопластичні полімерні матеріали (поліетилен). В якості порівняльної характеристики використані матеріали хімічної промисловості, такі як поліуретан, полівінілацетатна дисперсія, епоксидні смоли. Загальна товщина створених композитів становила від 10 до 30 мм.

Звукопоглинаючу ефективність матеріалів (коефіцієнт звукопоглинання) у діапазоні частот від 63 до 6300 Гц визначали методом імпедансної труби. Прилад включає в себе трубу з джерелом звуку, встановленим з одного боку, а також досліджуваний матеріал, встановлений у трубі. Для вимірювання звукоізоляції встановлюють мікрофони, після чого генерують плоску хвилю як джерело шуму, і в трубі утворюється стояча хвиля. Відомо [3], що найчутливіший частотний діапазон слухової системи людини знаходиться в межах від 500 до 4000 Гц. Тим часом, найважливіші частоти для слуху і розуміння спілкування лежать між 500 і 2048 Гц. Піковий звук деяких матеріалів поглинання дуже близькі до 1, але піки не розташовані в діапазоні 500-2048 Гц, як для кокосового волокна [4, 5], грубої шерсті [6]. В той же час, волокно кенафу, цукрова тростина (30 мм), конопляне волокно (30 мм) та лист ананаса (30 мм) показують високі показники звукопоглинання (0,5-1) в діапазоні частот 500-2048 Гц [7].

В результаті аналізу встановлено, що звукопоглинальні властивості натуральних матеріалів таких як волокна кенафу (30 мм), цукрова тростина (30 мм), конопляне волокно (30 мм) і лист ананасу (30 мм) мають максимальні значення коефіцієнту звукопоглинання (0,5-1) в чутливому діапазоні частот слухової системи людини (500-2048 Гц).

Встановлено, що рисове та кукурудзяне лушпиння, а також груба шерсть мають досить високі показники коефіцієнту звукопоглинання (до 0,8), але в діапазонах більш високих частот (2000-4000 Гц). Тому перспективним є проведення досліджень з цими волокнами, підбираючи полімерне зв'язуюче для переведення максимальних значень звукопоглинаючої здатності в область низьких частот.

Однак, також слід відмітити недоліки натуральних волокон, такі як низькі показники вологостійкості, протигрибкової здатності,

вогнестійкості, низької адгезія волокна до полімерної матриці, що може обмежити їх застосування в композитах. Однак ці недоліки можна усунути шляхом належної попередньої обробки волокон.

Використання натуральних волокон при створенні звукопоглинаючих полімерних матеріалів має великий потенціал для досягнення екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на довкілля. Ця технологія може сприяти поліпшенню якості оточуючого середовища, зниженню рівня шуму та використанню більш сталого й екологічно безпечного матеріалу. Подальші дослідження та розвиток цієї області можуть призвести до створення нових інноваційних матеріалів, які будуть відповідати вимогам екологічної безпеки та сприяти сталому розвитку.

### ПОСИЛАННЯ

1. Карев А. І., Скрипинець А. В., Барабаш О. С. Модернізація технології отримання рослинно-полімерних композитів. Моделювання та оптимізація будівельних композитів: мат-ли міжнарод. сем. Одеса: ОДАБА. 2020. С. 72-75.

2. Saienko N., Bikov R., Skripinets A., Demidov D. Research of the Influence of Silicate Fillers on Water Absorption and Microstructure of Styrene-Acrylic Dispersion Coatings. Materials Science Forum 2021. Vol. 1038. pp 61-67. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.

3. Скрипинець А. В., Саєнко Н. В., Биков Р. О., Коврига А. В., Маладика І.Г. Дослідження в'язкопружних властивостей епоксиуретанових складів для віброзахисту металевих виробів. Матеріали 9-а Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ. 2021. С. 258-260.

4. Gokulkumar S., Thyla P.R., Prabhu L. Measuring methods of acoustic properties and influence of physical parameters on natural fibers: a review. J Nat Fibers 2020. №17. pp. 1719-1738.

5. Mueller D. H., Krobjilowski A. New discovery in the properties of composites reinforced with natural fibers. J Ind Text 2003. № 33. pp. 111-130.

6. Prabhu L., Krishnaraj V., Gokulkumar S. Mechanical, chemical and sound absorption properties of glass/kenaf/waste tea leaf fiber-reinforced hybrid epoxy composites. J Ind Text 2022. № 51. pp. 1674-1700.

7. Jayamani E., Hamdan S., Ezhumalai P. Investigation on dielectric and sound absorption properties of banana fibers reinforced epoxy composites. J Teknol 2016. № 78(6-10). pp. 97-103.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ З ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ РАДІАЦІЙНО-ЗАХИСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

*Сергій Анатолійович Божко*

ORCID <https://orcid.org/0009-0006-0736-4968>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Анатолій Федорович Санін*

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5614-3882>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Віктор Васильович Хуторний*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6013-5167>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Космічні технології стали частиною суспільства, яке все більше залежить від ефективної роботи різних космічних систем: прогнозування погоди, розвідки корисних копалин, моніторингу навколишнього середовища, розвитку телекомунікацій і телебачення, і, звичайно ж, забезпечення обороноздатності.

На функціонування бортового електронного обладнання (БЕА) при його експлуатації впливають численні фактори. Особливе значення має вплив полів іонізуючого випромінювання космічного простору. Використання виробів напівпровідникової мікроелектроніки в якості компонентної бази космічних систем зробило актуальною задачу оцінки і прогнозування стійкості вузлів і агрегатів до радіаційних впливів космічного простору.

Широке застосування функціонально складних виробів в радіоелектронній апаратурі космічних апаратів, для яких досить складно виконати весь комплекс робіт для задоволення вимог до радіаційної стійкості, викликає ряд проблем при виробництві відносно повного спектру радіаційно-стійких інтегральних схем (ІС).

Це пов'язано з тим, що багато виробників мікросхем перестали випускати радіаційно-стійку продукцію, в той час як інструменти для розробки і налагодження ІС комерційного рівня якості широко представлені на ринку електронних компонентів.

Таким чином, в даний час намітилася тенденція використання виробів комерційної мікроелектроніки в радіоелектронному обладнанні космічних апаратів. Це забезпечує ряд переваг перед радіаційно-стійкими мікросхемами, оскільки комерційні мікросхеми мають більшу інформаційну стійкість і дешевше.

Однак використання комерційних ІС в електронному обладнанні космічного апарату тягне за собою певний ризик. Це пов'язано з тим, що деякі комерційні ІС непридатні для умов експлуатації в космосі, більшість мають функціональний відсоток відмов близько 10 крад на загальну накопичену дозу (тобто досить низьку), довговічність не контролюється від партії до партії, а надійність в екстремальних умовах експлуатації не визначається.

Ці ефекти проявляються через:

- параметричні відмови бортової радіоелектронної апаратури внаслідок погіршення характеристик ІС з накопиченням дози іонізуючого випромінювання (ІВ);

- відмови ІС від впливу окремих високоенергетичних ядерних частинок.

На функціонування електронного обладнання космічного апарату впливає безліч різних факторів, кожен з яких може викликати збій або вихід з ладу всієї системи. В цілому необхідно враховувати всі діючі фактори. При цьому роль тих чи інших факторів багато в чому залежить від орбіти космічного апарату. Також, ймовірність ефектів під впливом окремих елементарних частинок і атомних ядер значно зростає при знаходженні космічного апарату в зоні Південноатлантичної аномалії та/або при виникненні потужних сонячних спалахів.

Тому дослідження зі створення та вдосконалення засобів захисту радіоелектронної апаратури космічних апаратів особливо актуальні в даний час.

Найбільш ефективним способом підвищення живучості космічного апарату за рахунок зменшення накопиченої дози опромінення є використання захисних матеріалів, які ефективно захищають БЕА від потоку випромінювання.

Захисними матеріалами можуть служити функціональні компоненти космічного апарату (корпус, стінки приладів, сонячні батареї), а також захисні пластини або екрани, спеціально встановлені у космічному апараті. В якості захисного матеріалу найчастіше використовується алюміній, який широко застосовується для виготовлення виробів ракетно-космічної техніки завдяки високій захисній здатності, а також низькій щільності, високій питомої жорсткості і міцності, добрій технологічності і низькій вартості.

Збільшення терміну служби космічного апарату вимагає потовщення алюмінієвого захисту і призводить до збільшення ваги космічного апарату, що в свою чергу небажано з точки зору забезпечення оптимальних техніко-економічних показників навігаційних супутників.

У зв'язку з цим виникла необхідність розробки більш ефективних матеріалів за характеристиками масового захисту в порівнянні з

алюмінієм. Основні труднощі, пов'язані з виробництвом захисних матеріалів, обумовлені як специфікою фізичних процесів взаємодії випромінювання з захисною речовиною, так і самим типом випромінювання, якісні та кількісні параметри якого змінюються в залежності від даної орбіти космічного апарату. Окремим випадком є геостаціонарна орбіта (ГСО), на якій найбільшу небезпеку для БЕА представляє потік електронів з енергетичним спектром від 40 кеВ до 5 МеВ.

Легкі елементи з низьким атомним номером мають найбільшу гальмівну силу загасання електронів, пов'язану з одиначною масою захисту (тобто втрату енергії в МеВ на одиницю масової товщини захисту в г/см<sup>2</sup>). При цьому у важких елементів перетин пружної взаємодії з електронами вище, ніж у легких, що призводить до збільшення шляху електрона в захисті за рахунок розсіювання і, відповідно, до збільшення втрат енергії електронів на одиницю товщини захисту. Саме тому більшість розробників захисту стають на шлях насичення матеріалів важкими елементами (наприклад, PolyRad від Longhill Technologies або RAD-PAK від Maxwell Technologies). Однак загальна гальмівна ефективність захисту важких елементів істотно не збільшується через збільшення частки гальмівного електромагнітного випромінювання, що виникає, яке характеризується більш високою проникаючою здатністю в порівнянні з первинними електронами. Крім того, важкий захист збільшує масу космічного апарату і саме тому перераховані вище матеріали використовуються для локального екранування найбільш радіаційно-чутливих елементів БЕА.

Аналіз вищесказаного, а також інших особливостей конструкції захисту дозволив встановити, що найбільш ефективного захисту можна досягти шляхом оптимального поєднання вмісту легких і важких елементів в композиційному матеріалі (КМ).

Згідно з теоретичними розрахунками, були розроблені зразки КМ, які мають більш високу гальмівну здатність електронів, ніж алюміній або його сплави, що використовуються в даний час в космічних апаратах практично у всьому діапазоні спектра, характерного для ГСО. Дослідження з використанням лінійного прискорювача електронів ELIAS показали, що отримані зразки КМ більш ніж в 1,3 рази ефективніше за захисними властивостями в порівнянні з алюмінієм при енергіях електронів порядку 2-3 МеВ. Є передумови для отримання ще більш ефективного загасання електронного потоку в порівнянні з «еталонним» алюмінієм за рахунок варіації як якісного складу КМ, так і його структури.

Об'єктом розробки і дослідження були процеси взаємодії матеріалів з корпускулярним випромінюванням в широкому діапазоні енергій, а предметом дослідження - екранування електронних і протонних

потоків з енергіями до 100 МеВ дисперснозаповненими композиційними матеріалами з полімерною матрицею.

Сучасні дослідження спрямовані на отримання композиційних матеріалів, які мають здатність послаблювати і розсіювати як легкі, так і важкі частинки. Сьогодні провідні космічні країни - США, Росія, Франція - йдуть по шляху використання захисних екранів і конструкцій з композитних матеріалів з полімерною матрицею.

Вченими України відкрито «Явище аномального послаблення рентгенівського випромінювання ультрадисперсними середовищами» (№ А-006 від 29.05.93), на основі якого створено теоретичні та експериментальні основи отримання нових матеріалів для радіаційного захисту. Дослідження українських вчених дозволяють повністю імплементувати результати фундаментальних досліджень на практиці та суттєво скоротити час на досягнення мети.

На фізико-технічному факультеті ДНУ ім. О. Гончара розроблені принципово нові композитні матеріали, які перевершують за ефективністю захисту ті, що використовуються сьогодні – металеві, і не поступаються кращим світовим аналогам [1]. Попередні результати теоретичних і експериментальних досліджень, в тому числі з використанням комп'ютерного моделювання та імітаційних експериментів на прискорювачах електронів і протонів, дозволили зробити висновки про можливість підвищення комплексу захисних властивостей і перспективи створюваних матеріалів. Потік високоенергетичних електронів зменшується в 1, 4 рази, а протонів - в 1, 6 рази в порівнянні з алюмінієвими сплавами. Підприємства космічної галузі України проявили великий інтерес до використання нових захисних матеріалів. Аналіз наявної інформації показує, що створені матеріали, перевершують за експлуатаційними параметрами ті, що використовуються сьогодні в Китаї, Росії, Україні та інших космічних країнах.

Але розроблені композити, отримані за розробленими технологіями, мають такий суттєвий недолік як нестабільність захисних властивостей по різних напрямкам, або анізотропія. Вона формується в процесі твердіння композита, так як матеріал отримують змішуванням епоксидної смоли, що є полімерною матрицею, та дрібнодисперсних частинок важкого наповнювача з порядковим номером не менше 60. Матриця полімеризується протягом певного часу за який важкі частинки встигають опуститися на дно форми під дією сили тяжіння. Щоб запобігти цьому явищу була запропонована наступна технологічна схема [2].

На першому етапі виготовляли заготовки з максимальним вмістом важкого наповнювача – 92%, коли частки мають щільну упаковку по всьому перетину заготовки. Потім, на другому етапі, отримані



заготовки подрібнювали спочатку в щокеровому подрібнювачі до середнього розміру часток від 0,5 до 1 мм, а потім в шаровому млині. При цьому, завдяки м'якій полієфірній матриці, частки мали майже сферичну форму. На третьому етапі отримані гранули розподіляли за розмірами за допомогою вібросита. В результаті отримували новий наповнювач у вигляді сферичних гранул із вмістом важкого елемента 92% і однорідною ізотропною структурою.

На останньому, заключному етапі, отримували радіаційно-захисний матеріал шляхом введення в полієфірну полімерну матрицю визначеної кількості виготовлених гранул. При цьому, вміст важкого елемента знаходили шляхом нескладних розрахунків за умови щільного упакування сферичних гранул визначеного діаметру, або конкретної вузької фракції. Різниця показників радіаційного захисту в різних точках, отриманого таким чином матеріалу, не перевищує 1%. Результати досліджень мікроструктури виготовлених зразків довели, що дисперсні частки важкого наповнювача (вольфраму і карбиду вольфраму) розподілені по об'єму рівномірно як у поперечному розрізі, так і по висоті зразка. Така технологія доволі гнучка і дозволяє отримувати вироби з радіаційно-захисного матеріалу потрібної форми і геометрії, що значно розширює межі його використання.

**Висновки.** Таким чином, розроблені технології виробництва радіаційно-захисних матеріалів з високими і стабільними властивостями, а також захисних конструкцій для електронного обладнання різних форм і розмірів.

## Посилання

1. Патент на винахід №108672 Матеріал для захисту від космічного випромінювання. Державний реєстр патентів України на винаходи 25.05.2015.
2. Патент на винахід №108673 Спосіб отримання захисного матеріалу від космічного випромінювання. Державний реєстр патентів України на винаходи 25.05.2015.

## **ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕРМОКАТОДНИХ ПРИСТРОЇВ**

*Тетяна Валеріївна Носова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0855-568X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Стелла Ігорівна Мамчур*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8146-8849>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Термін служби термокатодів визначається характером взаємодії гексабориду лантану з металом підкладки. Отже, практичний інтерес становлять дослідження впливу бар'єрних шарів для запобігання взаємодії гексабориду лантану з металом струмопідводу [1].

Щільність струму емісії під час роботи в стаціонарному режимі становить 2...5 А/см<sup>2</sup>, в імпульсному режимі - 10...15 А/см<sup>2</sup> і ресурс роботи становить для таких катодів 150...1000 год.

Таким чином, можна сказати, що підвищення надійності катодного пристрою з гексаборідом лантану може бути забезпечено розробкою стійкого бар'єрного шару, причому в цьому разі необхідне детальне дослідження взаємодії всіх компонентів бар'єрних композицій з гексаборідом лантану та металевою основою в період виготовлення та в процесі експлуатації катода.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Труднощі застосування гексабориду лантану як катодного матеріалу пов'язані з недостатньо добре розробленою технологією. До застосовуваних методів належать напилення на металеву підкладку. Ця технологія дає змогу отримувати катоди великих розмірів, але під час експлуатації плазмових покриттів відбувається швидке спрацьовування катода у зв'язку з низькою міцністю зчеплення [2]. Безпосереднє нанесення гексабориду лантану на підкладку, що задає форму поверхні, яка емітує, призводить до взаємодії матеріалів при робочій температурі та утворення бориду металу. У результаті покриття відшаровується.

Метою цієї роботи є запобігання процесу руйнування шляхом вибору матеріалу проміжної прокладки, який унеможливить або сповільнить процес взаємодії шарів, що контактують.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалами дослідження є гексаборид лантану, який має високу температуру плавлення, хімічну інертність, низьку роботу виходу та високу щільність емісійного струму (табл. 1).

Таблиця 1 - Основні властивості гексабориду лантану

Властивості гексаборида лантану	Значення
Молекулярна маса	203,76
Вміст бору, %	31,83
Структура	кубічна
Густина рентгенівська, кг/м <sup>3</sup>	4710
Густина піктрометрична, кг/м <sup>3</sup>	4630
Теплоємність, кДж/град	0,574
Теплопровідність, кДж/м · сек · град	0,477...0,042
Температура плавлення, °С	2097- 2720
Робота виходу, В	2,55
Мікротвердість, МПа	27700...32500
Межа міцності при вигині, МПа	129

Як матеріал струмопідводу для з'єднання з гексаборидом лантану обрано ніобій. За температури вище 1200 °С у ніобію та його сплавів збільшується пластичність. Під час зварювання еміттера може статися втрата форми металевого елемента. Втрата форми гексабориду лантану не виникає. Як матеріал проміжного шару обрано титан, який утворює тугоплавкий борид (табл. 2).

Таблиця 2 - Параметри дифузії бору в титан

Фізичні властивості	Значення
Система	B→Ti
Температура, °С	800-1000
Образуюча фаза	TiB <sub>2</sub>
Температурна залежність коефіцієнта дифузії	4,8 · 10 <sup>7</sup>
Енергія активації, Дж/моль	46928

Для дослідження мікроструктури та фазового складу застосовували: мікроструктурний метод дослідження, вимірювання мікротвердості, рентгенофазовий аналіз, мікрорентгеноспектральний аналіз.

Одним із перспективних способів з'єднання в катодному вузлі гексабориду лантану з металевим струмопідводом є спосіб дифузійного зварювання матеріалів у вакуумі. Перевага цього методу полягає в

тому, що всі параметри, які визначають утворення нероз'ємного з'єднання, можна регулювати окремо, що дає змогу керувати ступенем дифузійної взаємодії компонентів, а можливість введення проміжних композицій у вигляді прокладок і композиційних сполучень дає змогу створювати регульовані бар'єрні шари [3].

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Встановлено, що найстійкішим бар'єрним шаром за високих температур є дибориди титану, було проведено дослідження з отримання зварних з'єднань гексабориду лантану з ніобієвим струмопідводом через прошарок із титану. Зразки гексабориду лантану і ніобію діаметром 10 мм і заввишки 10 мм зачищали по поверхні зварювання, між ними встановлювали прокладку з титанової фольги завтовшки 0,1 мм, і збірку поміщали в камеру установки для дифузійного зварювання. Режим зварювання  $T=1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P=1,5\text{ МПа}$ ,  $\tau=2400\text{ с}$ .

Мікрофотографія структури зварного з'єднання гексабориду лантану з ніобієм (рис. 1), отриманого через прокладку з чистого титану, свідчить, що після зварювання в дифузійній зоні утворюється кілька дифузійних шарів, які мають чітку межу розділу.



Рисунок 1 - Дифузійна зона з'єднання  $\text{LaB}_6$  -  $\text{Ti-Nb}$

З боку гексабориду лантану виникає:  
- тонкий шар із мікротвердістю, що дорівнює твердості бориду титану;

- у другому шарі мікротвердість знижується, і за її значеннями видно, що фазовий склад шару, містить також деяку кількість твердого розчину. Далі розташовується шар значної ширини, в якому, ймовірно, відсутні бориди. Відзначається й відмінність мікроструктури в приконтактній зоні гексабориду лантану. Вона полягає у більш високій щільності цього шару і відсутності великих включень. Таким чином, на підставі мікроструктурних даних можна встановити наявність чотирьох дифузійних шарів, що утворилися під час зварювання.

Якісний мікрорентгеноспектральний аналіз, проведений скануванням електронним зондом на приладі МС-46 "Самеса" за маршрутом зміни мікротвердості, дав змогу визначити розподіл компонентів у титановій проміжній прокладці в процесі зварювання (рис. 2).

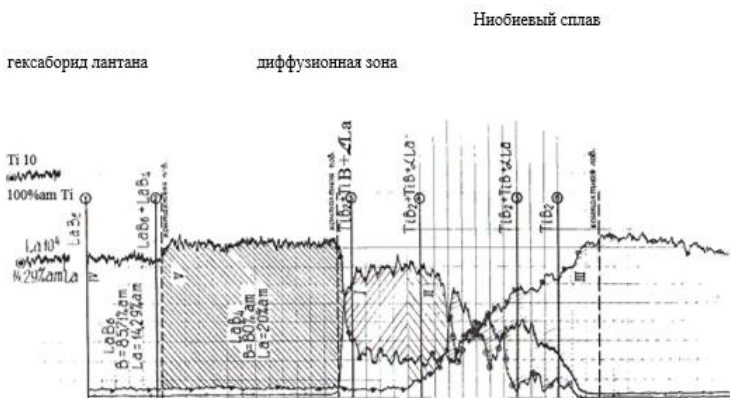


Рисунок 2 - Концентраційні криві сканування сполуки LaB<sub>6</sub>-Ti-Nb з пошаровим нанесенням поверхонь рентгенофазового аналізу

У титанову прошарку товщиною 0,1 мм у процесі зварювання дифундують одразу кілька компонентів - лантан, бор і ніобій. Концентраційні криві за ніобієм і лантаном змінюють кривизну від фону, що відповідає вихідному стану на всій ширині титанової прокладки. З цього випливає, що в процесі дифузійного зварювання згідно з обраним зварювальним режимом по всій товщині проміжної прокладки має місце дифузія з контактних компонентів. Аналізуючи характер концентраційних кривих за лантаном і ніобієм з урахуванням концентрації титану в дифузійній зоні, можна констатувати, що тут утворюються кілька сполук. У титані міститься підшар біля контактної поверхні гексабориду лантану завширшки 35 мкм, де формування фазового складу пов'язане з наявністю титану, лантану і ніобію. Ширина

цього шару становить 30 мкм, де утворення фазового складу пов'язане з наявністю титану, лантану і ніобію. У прошарку III, розташованому безпосередньо біля контактної поверхні ніобію, можна розрізнити ділянки з різкими рефlekсами по титану і лантану з плавною зміною концентрації ніобію. Ширина цього шару становить 30 мкм. Концентраційні криві за лантаном, титаном і ніобієм, що характеризують розподіл цих компонентів у зоні дифузійної взаємодії, не дають повної інформації про можливий її фазовий склад, оскільки тут невідомий розподіл бору.

Як зазначалося вище [3], дослідження твердофазних реакцій гексабориду лантану з тугоплавкими металами дало змогу встановити утворення боридів, зокрема й боридів титану. У зварних з'єднаннях гексабориду лантану з ніобієм через титан, отриманих дифузійним зварюванням у вакуумі, на кривих сканування електронним зондом також є ознаки, що свідчать про дифузію бору в титан.

Аналіз стану діаграми La-B дає змогу встановити, що в разі зменшення вмісту бору в гексабориді за межі області гомогенності в цій системі утворюється тетраборид лантану  $LaB_4$ . Згідно з даними роботи [4] вміст лантану і бору в гексабориді і тетрабориді 14,29 % ат, 85,7 % ат і 20 % ат, 80 % ат відповідно. Тому можна вважати, що приповерхневий шар гексабориду лантану після зварювання, що має вищий, ніж в основі, вміст лантану, є шаром тетрабориду, а зменшення вмісту бору пов'язане з його дифузією в титан. Ширина цього шару - 65 мкм. Як видно з порівняння концентрацій за бором в гексабориді та тетрабориді, вона перебуває біля нижньої межі зони гомогенності, і утворення в приповерхневому шарі тетрабориду є цілком вірогідним [5].

Схема можливого фазового складу дифузійних зон після зварювання складатиметься з діаграм стану La-B, B-Ti-Nb, орієнтованих відповідно до розташування матеріалів у зварному з'єднанні. Поверхні зварювання  $LaB_6$ -Ti і Ti-Nb на схемі збігатимуться з всіма температур, тому як при температурі зварювання, так і за подальшого охолодження можна охарактеризувати фазовий склад дифузійних зон [6]. Оскільки встановлено, що компонентом, який дифундує в титан, є бор, то в дифузійній приконтатній зоні титанової прокладки може утворитися шар суміші фаз  $TiB+TiB_2$ , а з боку поверхні зварювання ніобію з титаном - суміші твердих розчинів.

Ідентифікація фаз, що утворилися в дифузійній зоні під час зварювання за зазначеною схемою, вельми приблизна, оскільки на ній можна вказати лише фази дифузійної взаємодії двох компонентів [7]. Аналіз концентраційних кривих у дифузійній зоні показує, що на всій товщині проміжної прокладки титану має місце дифузійна взаємодія

принаймні трьох компонентів. З боку гексабориду лантану - бору і лантану в титан, а з боку ніобію - ніобію в титан. Орієнтуючись на реперні мітки, нанесені на поверхню мікрошліфа відбитками мікротвердості, був проведений рентгенофазовий аналіз з послідовним зішліфовуванням з боку ніобію. Розташування ліній, що показують рівень рентгенофазового аналізу в дифузійній зоні на концентраційних кривих, дає змогу з'ясувати характер концентраційних рефлексів, що знаходяться в дифузійній зоні [8, 9]. Із результатів рентгенофазового аналізу в об'ємах дифузійної зони з рефlekсами концентраційних кривих видно, що найактивнішим дифузійним елементом є бор. Про це свідчить той факт, що бориди титану виявлено на рівні дифузійної зони III. Розподіл бору, що дифундує з гексабориду лантану в титан, відбувається дуже інтенсивно, бо утворення боридів титану  $TiB$  і  $TiB_2$  вимагає значних концентрацій. Відповідно до цієї дифузії в приконтakтному шарі гексабориду лантану утворюється тетраборид  $LaB_4$  (зона У). Ознакою фазового переходу  $LaB_6 \rightarrow LaB_4$  на концентраційній кривій сканування є підвищений та сталий вміст лантану, що відповідає стехіометрії тетрабориду. Оцінка порушення приконтakтної зони гексабориду за її протяжністю на концентраційній кривій лантану залежно від параметрів зварювання дає можливість оцінити ефективність застосування бар'єрних композицій У титановій проміжній прокладці на всю її товщину під час зварювання дифундує також і лантан.

## ВИСНОВКИ

1. Показано, що при дифузійному зварюванні у вакуумі гексабориду лантану з ніобієм через проміжну прокладку з титану дифузійна зона локалізується в проміжній прокладці за рахунок дифузії до неї бору, лантану і ніобію.

2. Для вивчення зв'язку мікроструктури дифузійної зони сполуки  $LaB_6 - Ti-Nb$  з термостійкістю складено схему фізичних методів дослідження.

3. На концентраційних кривих сканування встановлено графічні рефлекси фаз, що утворюються.

4. Встановлено, що зварювання з'єднання відбувається за рахунок дифузії бору, лантану і ніобію в проміжну прокладку титану з утворенням боридів і твердих розчинів.

5. Запропоновано оптимальні режими дифузійного зварювання, які дозволяють отримати мікроструктуру перехідної зони, що забезпечує тривалу термостійкість термодатоду.

## ПОСИЛАННЯ

1. Дифузійне зварювання у вакуумі жароміцного сплаву на нікелевій основі / Л. В. Петрушинець та ін. // Технічні науки та технології. - 2017. - № 3 (9). - С. 63–71. <https://ir.stu.cn.ua/123456789/15789>
2. Дифузійне зварювання з керованим напружено-деформованим станом і модифікування поверхонь з'єднання / Квасницький В. В. автореферат дис. ... канд. техн. наук. 2010. 15 с. <https://ela.kpi.ua/handl/123456789/1297>
3. Особливості дифузійного зварювання у вакуумі інтерметалідного сплаву на основі  $\gamma$ -TiAl / Харченко Г.К., Фальченко Ю.В. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету, серія Технічні науки, вип.3. – 2013. С. 141-145.
4. Вплив параметрів зварювання на робочі характеристики термокатодів / Санін А. Ф., Джур Є. О., Мамчур С. І., Носова Т. В. // Вісник ДНУ. Дніпро. Ліра. №1. 2020. С.51-55. DOI: 10.15421/452012
5. Дослідження фазоутворення після дифузійного зварювання у вакуумі з'єднання нікель-ніобій / Санін А. Ф., Мамчур І. О. // XXVII Міжнародний Конгрес двигунобудівників, ХАІ. – Херсон, 2022.- С.113-116. Doi: 10.32620/akt.2022.4sup1.15
6. Дифузійне зварювання у вакуумі - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://poznayka.org/s88177t1.html>
7. Шляхи підвищення продуктивності процесу дифузійного зварювання у вакуумі - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-pr>
8. Дослідження фазового складу та протяжності дифузійних слоїв з'єднання LaB6-Zr-Nb / Санін А.Ф., Мамчур І.О. // IV Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід». - м. Гельсінкі, Фінляндія, 2021. – С. 164-167.
9. Фазоутворення в дифузійній зоні титан-платина / Санін А. Ф., Джур Є. О., Мамчур С. І., Мамчур І. О., Носова Т. В. // Металознавство та термічна обробка металів №1 (96), ПДАБА. - Дніпро, 2022. - С. 40-43. <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/258274>



## UTILIZATION OF ELASTOMERIC MATERIALS IN THE CONDITIONS OF EXPERIMENTAL PRODUCTION

*Oleksandr Dobrodomov*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9926-6638>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

*Yurii Tkachov*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1556-2463>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

### INTRODUCTION

Efficient cost reduction in experimental production requires a comprehensive approach and consideration of specific conditions and possibilities of the enterprise. Automation, robotization, the use of universal numerically controlled machines, and the implementation of other advanced technologies in the context of the mentioned production can result in significant initial investments and a substantial increase in product costs in the early stages. However, in the long-term perspective, such an approach undoubtedly leads to a decrease in overall expenses. Despite its advantages, at the early stages of innovative projects, particularly in the field of mechanical engineering, costs associated with increased fixed assets are practically unacceptable due to the lack of financial resources. Experimental production exhibits all the characteristics of a single-unit production. If we open any textbook on mechanical engineering technology, we can read something like this: the main features of single-unit production include a low probability of product repetition, the use of versatile equipment, and highly skilled workers. It is clear that the higher the level of automation, the greater the initial capital investments, but the lower the labor costs due to a reduction in the number of production personnel.

However, there is one significant difference. Single-unit production is aimed at the manufacturing and commercialization of finished products. Experimental production, on the other hand, serves a different purpose - essentially the development and refinement of new designs based on various criteria, such as testing structural parameters, refining assembly processes, and so on. In the end, after obtaining the necessary results, such products are usually discarded regardless of the achieved outcomes.

Therefore, what are the possible directions for enhancing the economic efficiency of experimental production in terms of cost minimization?

1. Analysis and optimization of production processes to reduce overall

labor intensity and decrease expenditures on wages, overhead costs, material expenses, and energy resources.

2. Outsourcing, which involves establishing partnerships with suppliers, industrial enterprises, and other institutions, can help gain access to necessary resources, distribute costs, and reduce overall expenditures on research and development.

3. The utilization of more efficient materials can decrease costs associated with initial raw materials and their processing and machining or reduce production time.

If we focus on the latter direction, the materials used for design experimentation during the development and experimental production stages do not necessarily need to possess the full range of properties found in the materials used for the actual construction elements in the future. For example, in investigating the mechanical properties of a particular component, the substitute material should only meet those specific requirements, while other properties of the substitute material, such as sealing properties or chemical resistance, may not be crucial for such investigations. It is evident that there should be a significant cost difference between the real material and the substitute, taking production expenses into account.

## **AIM AND OBJECTIVES**

The aim of this study is to explore the potential use of elastomeric materials specifically for addressing the aforementioned production challenges. Elastomers are synthetic materials with predictable and controllable properties. They are a combination of polymer materials, mineral components, various rubbers, plasticizers, solvents, catalysts, antioxidants, stabilizers, lubricants, dyes, and others.

Such a diversity of components results in a wide range of properties of various types, including special ones such as resistance to explosive decompression, water and steam resistance at high temperatures, resistance to benzene at elevated temperatures, hermeticity and impermeability for operation in aggressive environments, wear resistance, high physic and mechanical characteristics at elevated temperatures, thermal stability, vibration isolation, noise absorption, adhesive and anti-friction properties, and so on. Importantly, such materials can combine a specific set of properties suitable for the development of structures in the conditions of experimental production.

Therefore, elastomers can be used as substitutes for real materials, provided they meet the defined economic criteria. Equally important in material selection is its processability. For the development of experimental structures, various manufacturing processes can be employed, such as 3D

printing, cold-curing compound casting, including 3D-printed mold production, laser cutting, and mechanical machining.

### **3D-PRINTING WITH ELASTOMERIC MATERIALS**

For 3D printing, any thermoreactive elastomers can be used, with polyurethane-based materials being the most widely used [1]. The method offers several advantages: the manufacturing time is almost independent of the complexity of the part, parts of nearly any complexity can be produced, high flexibility, the ability to create anisotropic materials by modeling different mechanical characteristics in different directions through the formation of structural heterogeneity in the material.

However, there are some limitations to this method: it is challenging to achieve material integrity, resulting in reduced strength compared to casting with the same material, the emission of carcinogenic and toxic substances during operation, low productivity, which depends on the weight of the finished product [2].

### **COLD CURE COMPOUND CASTING USING 3D-PRINTED MOLDS**

This method involves casting cold-curing resins and rubbers into molds, but it has several disadvantages compared to mass production using high-temperature press molds: limited material selection, inability to achieve a fully homogeneous material due to the possibility of bubble formation within the compound, reduced production flexibility compared to the previous method, requirement for specialized equipment, emission of carcinogenic and toxic substances during operation. However, this method offers several advantages over the previous approach: higher productivity when using reusable molds, improved material integrity.

### **LASER CUTTING**

The method of laser cutting involves the destruction of materials using a laser. Sufficient absorption of the laser beam leads to heating, melting, and vaporization of the material. The choice of laser cutting parameters, such as power, focal distance, and beam speed, depends on the material being cut, the thickness, and the desired cut quality.

Advantages of this method include high productivity, ability to cut any elastomeric material, high precision in processing and manufacturing of parts.

However, there are several disadvantages to consider: requirement for specialized equipment, emission of a significant amount of carcinogenic

and toxic substances during the process, alteration of the surface structure of the cut due to thermal material destruction.

## **MECHANICAL MACHINING**

Mechanical machining is one of the least common methods for obtaining parts from polymer materials due to the following drawbacks: reduction in dimensional accuracy of the finished part due to decreased material hardness and stiffness, difficulty in achieving a defect-free surface layer of the product, distortion of the spatial form of the part after removal from the holding device.

However, there are several specific advantages to consider: possibility of obtaining a highly homogeneous material, ability to use any elastomeric material, utilization of universal machine tools.

As previously mentioned, this method is not widely adopted, leading to research efforts aimed at improving the quality of parts manufactured using this technology.

Based on the research findings, a list of recommendations has been developed to enhance the quality of parts produced through mechanical machining.

1. Recommended to perform mechanical machining at maximum spindle speeds, where there is no softening or melting observed for thermoplastics and no thermal degradation for thermosetting plastics, while ensuring the absence of smoke.

2. Also recommended to use a cutting tool with a large rake angle  $\gamma = 45^\circ \dots 60^\circ$  [4].

3. The use of cutting fluids is not recommended due to the porous structure found in most polymer materials. The infiltration and retention of fluids in the pores can lead to swelling and alterations in the physical and mechanical properties of the machined part [5].

4. Despite selecting appropriate machining parameters, it is advisable to utilize personal respiratory protective equipment due to the potential emission of carcinogenic and toxic substances.

## **CONCLUSIONS**

Elastomeric materials exhibit a wide range of properties and their combinations, making them suitable substitutes for conventional materials in the development of structures during research and experimental production, provided that such substitution yields clear economic benefits.

All the methods discussed have their own advantages and disadvantages, necessitating consideration not only of material properties but

also the available methods of forming parts, considering the technological level of production. Furthermore, it is crucial to consider the variations in material properties during processing and post-processing stages.

## REFERENCES

1. Bekas, D. G., et al. (2019). 3D printing to enable multifunctionality in polymer-based composites: A review. *Composites Part B: Engineering*, 179, 107540. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107540>
2. Balletti, C., Ballarin, M., & Guerra, F. (2017). 3D printing: State of the art and future perspectives. *Journal of Cultural Heritage*, 26, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010>
3. Tolstopyatov, E. M. (2016). Laser ablation of polymers (review). *Polymer materials and technologies*, 2(1), 6-20.
4. Ткачов, Ю. В., & Стасюк, Ю. М. (2008). Проектування технологічних процесів обробки матеріалів та їх техніко-економічне обґрунтування [Designing technological processes of material processing and their techno-economic substantiation]. Д.: ПВВ ДНУ.
5. Нгуен Ван Кыонг, Чинь Тхань Нга, & Дао Тиен Той (2016). Влияние технологических параметров на шероховатость изделий при обработке пластмасс [Influence of technological parameters on surface roughness of plastic products]. *Известия ТулГУ. Технические науки.*, (2), 356-357.
6. Система організаційно-розпорядчої документації ГОСТ 6.38-90 [System of organizational and administrative documentation. GOST 6.38-90]. (1991, січня 1).
7. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность. ГОСТ 8-82 [Metal-cutting machines. General requirements for accuracy tests. GOST 8-82]. (1983, липня 1).
8. Резцы токарные проходные отогнутые с пластинами из быстрорежущей стали. Конструкция и размеры ГОСТ 18868-73 [Turning tools with bent-through inserts made of high-speed steel. Design and dimensions. GOST 18868-73]. (1981, червня 1).
9. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Средняя серия. Основные размеры ГОСТ 10902-77 [Spiral drills with cylindrical shank. Average series. Basic dimensions. GOST 10902-77]. (1977, жовтня 14).
10. Кременчукгумотехніка, Україна – Еластомери спеціального призначення [Kremenchukgumotechnika, Ukraine - Special purpose elastomers]. Кременчукгрезинотехника - Главная страница. Retrieved from <https://xn--80affab0accndielu2blc4b3a42a.xn--j1amh/in-dex.php/ua/produktsiya/materiali/elastomeri-spetsialnogo-priznachennya>

## **РОЗВИТОК З ТЕХНОЛОГІЙ І НАУКОВИХ ЗАДАЧ УКРАЇНСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТРУБ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗО- І НАФТОПРОВІДІВ**

*Віталій Вікторович Овсяников*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8458-176X>

Приазовський державний технічний Університет, Дніпро

*Володимир Устинович Григоренко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1809-2842>

Приазовський державний технічний Університет, Дніпро

У 2014 році викликом для виробників та споживачів в Україні електрозварних прямошовних труб великого діаметра для магістральних нафто- і газопроводів стала, в зв'язку з окупацією, зупинка Харцизького трубного заводу, що виробляв більш ніж 600 тис. тон таких труб на рік. А з 01.07.2023 на території України припинив свою дію міждержавний стандарт ГОСТ 20295-85.

Відповіддю на цей виклик стало встановлення і введення в експлуатацію у 2019-2021 рр. на підприємстві з іноземними інвестиціями ТОВ НВП «УКРТРУБОІЗОЛ»(сmt Меліоративне, Дніпропетровська область) нової сучасної лінії з виробництва сталевих зварних прямошовних труб діаметром від 406,4 мм до 1422 мм включно. Особливістю якої є наявність гідромеханічного експандера і забезпечення експандування труб [1,2].

Звернули увагу на наукові питання, пов'язані з визначенням рівня залишкових напружень в трубах на всіх стадіях технології їх виробництва.

Метою роботи є висвітлення розвитку робіт з технології та наукових задач виробництва прямошовних труб великого діаметра для магістральних газо- та нафтопроводів.

Для стабільної роботи газо-нафтотранспортної системи України стоїть задача мати національні стандарти та ТУ, що пристосовані для умов України.

Для розвитку знань і отримання кількісних показників з напружено-деформованого стану метала електрозварних труб великого діаметра на стадіях технології їх виробництва необхідними є також дослідження з рівня залишкових напружень.

Вихідною інформацією є матеріали з публікацій з розвитку технологій та досліджень з питань залишкових напружень у металі електрозварних труб великого діаметра на стадіях технології їх виробництва і методів досліджень таких напружень.

Результатом роботи є наступне. Нова сучасна імпортна лінія з

виробництва, що встановлена на підприємстві «УКРТРУБОІЗОЛ» має повний сучасний технологічний цикл виробництва труб великого діаметру для магістральних газо- та нафтопроводів включно з гідромеханічним експандером [2]. На сьогодні це єдина в Україні технологія, яка забезпечує вимоги стандартів та норм на труби великого діаметру для магістральних газо і нафтопроводів.

Вид формування трубної заготовки на цій лінії – покровоке на пресі формування (JCOE-процес) [2,3].

Для забезпечення вимог з надійності зварних нафтогазопровідних труб великого діаметра, сучасна нормативна документація (ДСТУ ISO 3183:2017 (ISO 3183:2012, IDT), API Spec 5L, СТО Газпром 2-4.1-713-2013, ГОСТ 20295-85, СНиП 2.05.06-85) [4-9] регламентує проведення технологічної операції збільшення в холодному стані діаметра труби із швом – експандування.

Ця сучасна лінія з виробництва зварних прямошовних труб великого діаметра включає:

- Пресове покровоке J-формування на першій та другій половині листа;
- Доформовка плоских ділянок поздовжніх кромки на доформовочній машині;
- Складання трубної заготовки з застосуванням суцільного технологічного зварного шва по всій довжині труби;
- Зварювання кромки з зовнішньої та внутрішньої поверхні уздовж суцільного технологічного шва під шаром флюсу;
- Калібрування діаметра з одночасним експандуванням з відносним збільшення діаметра труби в межах від 0,003 до 0,015 (рисунк 1) [3,4].



Рисунок 1 – Загальний вигляд ТВД в експандері

У зв'язку з необхідністю мати національні Українські стандарти та технічні умови (ТУ) розроблено у 2022- 2023рр. та введено в дію за участю В.В. Овсяникова, який є індивідуальним членом Технічного комітету стандартизації ТК 8 «Труби сталеві і балони», наступні нормативні документи:

– ДСТУ 9219:2023 Труби сталеві зварні для магістральних газонафтопроводів. Технічні умови (зі скасуванням в Україні ГОСТ 20295-85). [9]. Цей стандарт поширюється на труби сталеві зварні прямошовні та спіральшовні класів міцності К34, К38, К42, К48, К50, К52, К54, К55, К56, К60, призначені для будівництва нових та ремонту і реконструкції діючих магістральних газопроводів, нафтопроводів, нафтопродуктопроводів, технологічних і промислових трубопроводів. Стандарт регламентує проведення експандування для труб типу 3 – зварні прямошовні великого діаметру;

– ТУ У 24.2–05757883–095:2022 Труби сталеві зварні прямошовні для магістральних газонафтопроводів. [10]. Ці ТУ відповідають вимогам ГОСТ 20295-85 для труб типу 1 і 3, “Технічному регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском”, та включають вимоги СНиП 2.05.06-85, сучасної нормативної документації і саме головне - вимоги споживачів трубної продукції.

Одним з питань з забезпечення належної безпеки експлуатації магістральних газо- та нафтопроводів є рівень залишкових напружень у металі труб, що маю бути вироблені і поставлені до монтажу на трубопроводі.

В роботі [3] показано, що на основі розрахунків залишкові напруження в середині товщини стінки труби після зняття сили гнбки пуансоном на двох опорах можуть досягати 79 - 81% від межі плинності, а експериментальні данні залишкових напружень виконані за дифрактометричним методом дорівнювали близько 0,1 межі плинності. Це показує ефективність процесу експандування.

Можливо виділити основні етапи появи і зміни залишкових напружень в тілі метала труби по етапах її виробництва. Це стосується:

– Величин залишкових напружень по об'єму метала листа після гарячої прокатки й охолодження;

– величин залишкових тангенціальних напружень в металі після розвантаження при знятті зусилля формування (гнбки);

– величин залишкових тангенціальних напружень, після з'єднанні кромки і зварюванням кромки;

– величин залишкових тангенціальних напружень в металі труб після зняття навантаження експандування.

Найбільш простим для визначення залишкових макропружень є метод розрізання кілець труб.



Цей спосіб дає в основному якісні показники, а не кількісні. Але потрібні визначення чисельних значень залишкових тангенційних напружень.

Для визначення кількісних значень залишкових напружень, що з'явилися по причині стиснення на 100-80 мм торців кромки сформованої труби перед зваркою застосували метод розрізки кільця труби впродовж довжин труби.

Для отримання чисельних значень остаточних напружень в місці шва розрізали кільце труби в місці зварного шва. Діаметр труби 530 мм. Стінка 10мм. Довжина кільця становила 80мм. Матеріал труби - Сталь 20.

При розрізі торці труби у місці розрізу розійшлися на 100 мм.

Бокові дуги кільця стиснули до стикування кромки.

Вимірили силу в місці стику на момент торкання кромки. Сила склала дорівнювала 1250 Н.

Далі визначили напруження в місці зварного шва поділивши силу 1250 Н на площу перерізу в місці зварного шва кільця.

Таким чином залишкові напруження розтягнення у перерізі кільця по зварному шву склали  $1,47 \text{ Н/мм}^2$ . Це значення напруження орієнтовно склало 0,36 % від межі текучості метала.

Це на перший погляд невеликі напруження, але вони присутні в трубі. Сила, що направлена на розрив зварного шва на одній трубі довжиною 10 метрів складе 147000Н.

У висновках слід зазначити наступне.

Отримані результати привели до того, що виклики для виробників і споживачів України стосовно виробництва електрозварних труб великих діаметрів для магістральних газо- та нафтопроводів у зв'язку з зупинкою Харцизького трубного заводу були куповані вводом в експлуатацію у 2021 році сучасної імпортової лінії з виробництва таких труб включно з гідромеханічним експандером.

У зв'язку з тим, що 01.07.2023 на території України припинено дію міждержавного стандарту ГОСТ 20295-85. Були розроблені:

- новий національний стандарт України ДСТУ 9219:2023 Труби сталеві зварні для магістральних газонафтопроводів. Технічні умови;
- ТУ У 24.2–05757883–095:2022 Труби сталеві зварні прямошовні для магістральних газонафтопроводів.

Для визначення залишкових макронапружень у трубах, що з'являються при стисненні перед зваркою на 100-80 мм торців кромки зформованої труби розвинули метод розрізання кілець. Відмінність є в тому, що значення величин залишкових напружень визначається у кількісному виді.

## ПОСИЛАННЯ

1. Виробництво труб – НВП Укртрубоізол. URL: <https://uti.ua/virobnitstvo-trub/>
2. Лоскутов О.Ю., Овсяников В.В., Проців В.В., Григоренко В.У. Процес експандування в технологіях виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто- і газопроводів та металознавчі аспекти його використання. Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. № 65. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.099>
3. В.В. Проців, В.У. Григоренко. Особливості процесу експандування в технологіях виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто та газопроводів. *Метал та лиття України*, 2021, №3(326) с. 64-69. <https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.064>
4. ДСТУ ISO 3183:2017 (ISO 3183:2012, IDT) Нафтова та газова промисловість. Труби сталеві для трубопровідних транспортних систем. Прийнятий методом підтвердження. Чинний від 2017-03-01. Київ : УкрНДНЦ, Наказ від 28.02.2017 № 35. 182 с.
5. API Specification 5L, 46th Edition. Line Pipe. URL: <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard-5l> (date of access: 29.05.2023).
6. СТО Газпром 2-4.1-713-2013 Технические требования к трубам и соединительным деталям. URL: <https://elima.ru/docs/?id=9647> (дата звернення: 29.05.2023).
7. ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия. URL: <http://katalog.uas.org.ua/poznach2.php?poznach=%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2+20295> (дата звернення: 29.05.2023).
8. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. — М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 60 с.
9. ДСТУ 9219:2023. Труби сталеві зварні для магістральних газонафтопроводів. Технічні умови. На заміну ГОСТ 20295-85; чинний від 2023-07-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2023. 20 с.
10. ТУ У 24.2–05757883–095:2022 Труби сталеві зварні прямошовні для магістральних газонафтопроводів. Технічні умови. Чинний від 2023-02-23. Дніпро: ДП «НДТІ», 2023. 24 с.

## СИНТЕЗ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ ДЛЯ КОРПУСІВ ВИСОКОТИСКОВИХ НАСОСІВ

*Олег Євгенійович Бондаренко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3364-8560>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олег Петрович Бадун*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8749-5875>

FlightControl Propulsion, Дніпро

*Юрій Валентинович Ткачов*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1556-2463>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Розвиток сучасної ракетно-космічної техніки складно уявити без розвитку і впровадження нових технологій виробництва. Одним із таких нововведень є 3D-друкування. Розвиток адитивних технологій дав змогу отримати практично необмежені за складністю геометричні форми деталей і агрегатів, що було неможливим під час використання класичних методів виготовлення та обробки. Використання нових форм і дизайну з впровадженням топологічної оптимізації допомагає більш ефективно і раціонально використовувати матеріал, а також створювати полегшені та вдосконалені конструкції, які відповідають нормам міцності, стійкості і так далі.

Топологічна оптимізація конструкцій є математичним підходом, здатним вирішити низку поставлених завдань для інженерів. Ітеративно вирішується проблема раціонального розподілу матеріалу в конструкції в обмеженому просторі, з урахуванням граничних умов і діючих навантажень. Метод топологічної оптимізації використовується на початковій стадії розроблення конструкцій або модернізації наявних. Отримане оптимальне рішення модернізується виходячи з вимог технологічності та функціоналу. Цей підхід дає змогу істотно заощадити час на початковому етапі проектування конструкції.

У цій роботі представлено результати впровадження технології SLM (Selective Laser Melting) [4] і топологічної оптимізації, проведеної в компанії FlightControl Propulsion [5], на прикладі реалізації конструкції патрубку насоса окиснювача турбонасосного агрегату (ТНА) рідинного ракетного двигуна (РРД) (рис. 1).

Схема навантаження корпусу насоса окиснювача імітує реальний тиск, який діє на конструкцію (рис. 2).

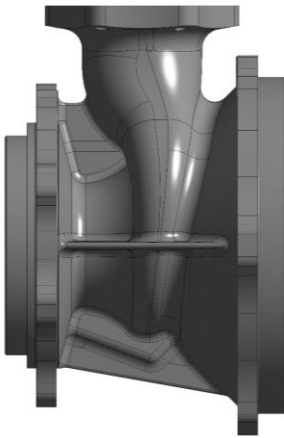


Рисунок 1 – Конструкція патрубків насоса окиснювача до оптимізації

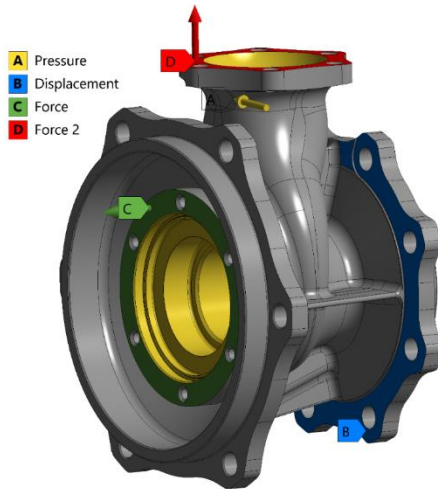


Рисунок 2 – Схема навантаження конструкції

Складність упровадження цієї технології зумовлена відсутністю статистичних даних щодо застосування SLM-технології під час виготовлення елементів конструкції РРД, зокрема, немає стандартів, що регулюють систему якості. Так само складність являє собою і те, що характеристики і якість одержуваних виробів безпосередньо залежить від безлічі чинників (самого принтера, якості порошку тощо).

## МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Існує дві схеми подачі палива з паливних баків у двигун. Турбонасосна система подачі палива рідких компонентів ракетного палива або робочого тіла (подача окиснювача і пального здійснюється насосами, які приводяться в дію газовою турбіною). Вимоги до турбонасосних агрегатів не стоять на місці, постійно динамічно змінюючись, починаючи від матеріалів, з яких виготовлятимуть ТНА до освоєння нових компонентів палива.

Турбонасосний агрегат є одним зі складних агрегатів у ракетному двигуні. [3] За статистикою понад 54% виходу двигунів з ладу є відмова турбонасосного агрегату. Тому до такого агрегату виставлено

більш жорсткі вимоги щодо надійності та міцності. Оскільки тиск у насосах може досягати сотень атмосфер, то і запас міцності має бути високим. Так само існує проблема в тому, що елементи турбонасосного агрегату мають занадто велику масу, що в умовах ракетної техніки має бути зведене до мінімуму, оскільки головним критерієм у ракетній техніці є мінімум маси.

Метою даної роботи є показати цикл отримання оптимальної конструкції за допомогою топологічної оптимізації на прикладі такого елемента конструкції РРД. Матеріал для виготовлення даної конструкції – алюмінієвий сплав для 3Д-друку. Ця проблема існує тривалий час, оскільки проектування ТНА завдання складне з погляду раціонального використання матеріалу в конструкції та підвищеної вимоги щодо міцності до цього агрегату.

Турбонасосний агрегат є важливою частиною конструкції РРД. Його сумарна маса в конструкції РН може бути досить великою, тому мінімізація маси турбонасоса в конструкції РН і зокрема РРД є важливим завданням.

Провести топологічну оптимізацію конструкції (рис. 1) і досягти таких результатів:

- мінімізувати масу патрубку насоса окиснювача ТНА;
- забезпечити достатню міцність патрубка насоса окиснювача.

Схема навантаження конструкції імітує реальний тиск у патрубку насоса окиснювача (рис. 2).

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для опису конструкції та її подальшої зміни використовується система рівнянь механіки суцільних середовищ (рівняння руху, геометричного співвідношення і закон Гука), вони мають такий вигляд:

$$\rho \ddot{u} = \nabla \cdot \sigma + F$$

де,  $\nabla$  – оператор набла,  $\sigma$  – тензор напружень Коші,  $F$  – вектор зовнішніх сил на одиницю об'єму.

$$\varepsilon = \frac{1}{2} (\nabla u + u \nabla),$$

$$\sigma = C \cdot \varepsilon,$$

де  $C$  – тензор пружних модулів.

На рис. 2 прийнято такі позначення:

- Синім кольором позначено торець кріплення, фіксація деталі по осі  $X$  – межа  $S1$ ;
- Жовтим кольором позначені поверхні, на яких діє тиск  $p$  – межа  $S2$ ;
- Зеленим кольором позначено торець, на який діє розтягувальне

зусилля  $T_1$  від тиску  $p$  – межа  $S_3$ ;

– Червоним кольором позначено торець, на який діє розтягувальне зусилля  $T_2$  від тиску  $p$  – межа  $S_4$ .

Математичні граничні умови будуть записані таким чином:

$$\begin{aligned}u_x|S_1 &= 0 \\t_y|S_1 &= 0 \\t_z|S_1 &= 0 \\\sigma|S_2 &= -pI \\t|S_3 &= T_1 \cdot n \\t|S_4 &= T_2 \cdot n\end{aligned}$$

Ці граничні умови визначають напружено-деформований стан (НДС) конструкції. Так само було виставлено обмеження за масою, яке мало такий вигляд:

$$m_1 \leq \iiint_V \rho dV \leq m_2$$

Аналітичне розв'язання системи рівнянь не є можливим через геометричну складність. Тому для розв'язання задачі використовують чисельні методи, а саме кінцево-елементні методи. Де область інтегрування поділяється на кінцеві елементи, усередині яких шукані змінні апроксимуються безперервними функціями. Даний метод гарний тим, що йде безперервна апроксимація по всьому простору, на відміну, наприклад, від методу кінцевих різниць. Суть методу полягає в його назві. Область, у якій шукається розв'язок диференціальних рівнянь, розбивається на певну кількість подібностей (елементів). У кожному з елементів довільно вибирають вид апроксимуючої функції [1].

У найпростішому випадку це поліном першого ступеня. Поза своїм елементом апроксимувальна функція дорівнює нулю. Значення функцій на межах елементів (у вузлах) є розв'язанням задачі і заздалегідь невідомі. Коефіцієнти апроксимувальних функцій зазвичай шукають з умови рівності значень сусідніх функцій на межах між елементами (у вузлах). Потім ці коефіцієнти виражаються через значення функцій у вузлах елементів. Складається система лінійних алгебраїчних рівнянь. Кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих значень у вузлах, на яких шукають розв'язання вихідної системи, прямо пропорційна кількості елементів і обмежується тільки розрахунковими можливостями. Оскільки кожен з елементів пов'язаний з обмеженою кількістю сусідніх, система лінійних алгебраїчних рівнянь має розріджений вигляд, що істотно спрощує її розв'язання.

Якщо говорити в матричних термінах, то збираються так звані матриці жорсткості  $K$  і мас  $M$ . Далі на ці матриці накладаються граничні

умови [2] (наприклад, за умов Неймана в матрицях не змінюється нічого, а за умов Діріхле з матриць викреслюються рядки та стовпчики, відповідні граничним вузлам, тому що через крайові умови значення відповідних компонентів розв'язку відоме). Потім збирається система лінійних рівнянь і розв'язується одним із відомих методів.

На рис. 3 представлено схему процедури конструкції за допомогою топологічної оптимізації. А також описано алгоритм дій під час оптимізації конструкції.

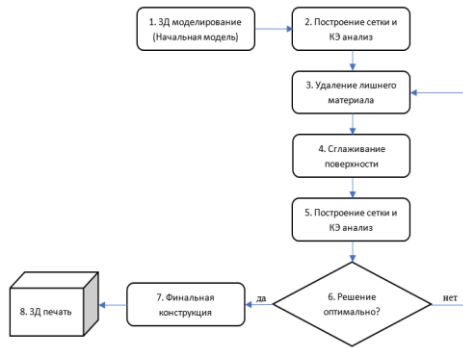


Рисунок 3 – Схема процедури конструкції за допомогою топологічної оптимізації

Початковим етапом є побудова початкової конструкції (пункт 1). Потім проводиться її кінцево-елементний аналіз, відповідно до схеми навантаження і граничних умов (пункт 2). Потім проводиться топологічна оптимізація конструкції (пункти 3 – 6). Початкова конструкція представляється у вигляді набору вокселів.

На цьому етапі використовують SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization) метод, або метод пеналізації для твердого ізотропного тіла, – метод топологічної оптимізації, ідея якого полягає у створенні віртуальної густини, що представляє аналог деякої реальної характеристики об'єкта. Тобто суть методу полягає в тому, що досягається зменшення густини конструкції в результаті перерозподілу матеріалу в розглянутій ділянці простору за відомих і заданих граничних умов. Результатом використання є отримання рівномірного об'єкта в рамках розглянутої задачі.

На сьогодні SIMP-метод широко застосовується в усьому світі, а широкого застосування набув цей метод саме в адитивних технологіях (3D-друк), здатних створювати конструкції необхідної геометрії. В якості розрахункової змінної розглядається щільність матеріалу.

Основоположна частина SIMP – область проектування  $\Omega$ , яка визначається за допомогою кінцевих елементів. Властивості матеріалу постійні в кожному з цих елементів і залежать від відносної щільності  $x_i$ . Відносна щільність має дорівнювати 1 або 0 у розрахунковій області  $\Omega$  після оптимізації. Для обмеження проміжної відносної густини використовується фактор відбракування  $p$ . Відношення між модулем пружності та відносною густиною записується як:

$$E(x_i) = E_{min} + (x_i)^p (E_0 - E_{min}),$$

де  $E_0$  – модуль пружності матеріалу. Для чисельної стійкості  $E_{min}$  приймається за  $E_0/1000$ ,  $x_i$  – відносна щільність  $i$ -го елемента;  $p$  – фактор відбракування.

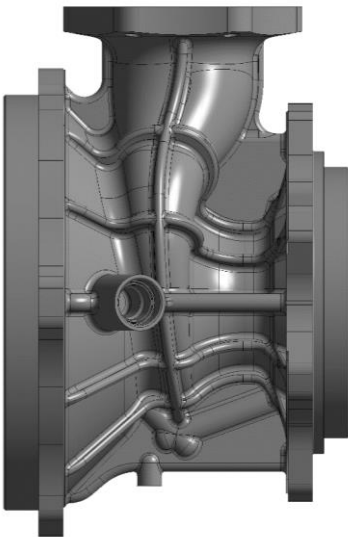


Рисунок 4 – Конструкція патрубка насоса окиснювача після оптимізації

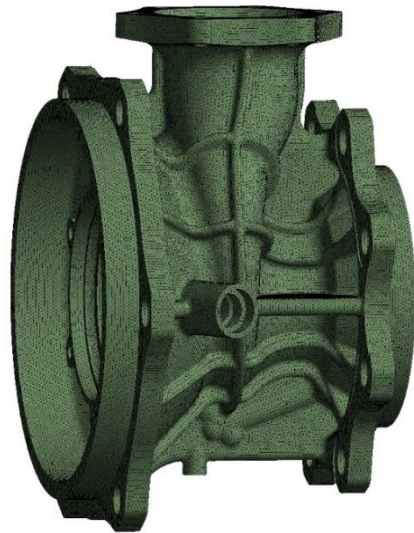


Рисунок 5 – Розрахункова кінцево-елементна сітка

Видалення вокселів відбувається відповідно до умови найменш залученого в роботу матеріалу. Після видалення зайвого матеріалу відбувається згладжування отриманої конструкції та проводиться її KE аналіз (пункти 4, 5). Надалі йде оцінка оптимальності конструкції. Якщо умови мінімуму задовольняються, то отриману конструкцію розглядають як фінальну, готову до 3Д-друку і вона не потребує додаткових операцій. В іншому разі процес оптимізації повторюється (пункт 3).



Наразі топологічну оптимізацію конструкції реалізовано в таких CAD-CAE пакетах як ANSYS Discovery, Autodesk Inventor, Abaqus, TopOpt і так далі.

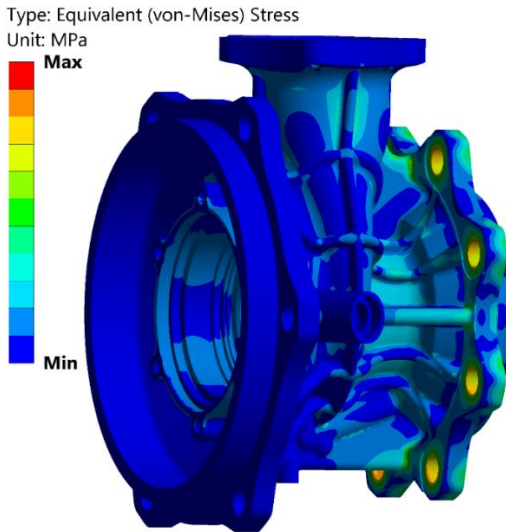


Рисунок 6 – Розрахункові напруження в конструкції

У результаті оптимізації вдалося знизити масу конструкції на **23%** і при цьому коефіцієнт запасу міцності склав **більше 3**, що відповідає нормам міцності. Наведено порівняльну характеристику патрубків насоса окиснювача до і після оптимізації (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння характеристик конструкцій

Параметр	Початкова конструкція	Оптимізована конструкція
Маса конструкції	823 грами	635 грами
Коефіцієнт запасу міцності	5.54	3

## ВИСНОВКИ

У роботі вперше представлено результати топологічної оптимізації дослідних зразків елементів ТНА, виготовлених методом селективного лазерного сплавлення (SLM). Виявлено особливості

застосування технології SLM для виготовлення силових елементів ТНА, а саме:

- досліджено можливість виготовлення складних геометричних форм, які складно або неможливо виготовити класичними способами;
- досліджено можливість багатосерійного виготовлення деталей.

Далі наведено фінальну конструкцію патрубків (рис. 4) після топологічної оптимізації. Так само виконано аналіз міцності вихідної конструкції та отриманої після оптимізації (рис. 5, 6).

У статті розглянуто процедуру топологічної оптимізації конструкцій РН на прикладі патрубків насоса окиснювача ТНА ЖРД. Представлено конструкцію патрубків окиснювача до і після оптимізації, розрахунок на міцність, оцінку його працездатності та аналіз маси конструкції. Особливу увагу приділено навантаженню внутрішнім тиском. У результаті оптимізації вдалося знизити масу конструкції на 23% і при цьому коефіцієнт запасу міцності склав більше 3, що відповідає нормам міцності. Так само важливо, що конструкція готова до використання і не потребує додаткових робіт.

Застосування топологічної оптимізації безсумнівно має великий потенціал щодо елементів ТНА та інших силових конструкцій РРД. Однак цей метод потребує ретельнішого вивчення і нарощування експериментальної бази.

## ПОСИЛАННЯ

1. Bendsøe M. P. Optimal shape design as a material distribution problem. *Structural Optimization*. 1989. Vol. 1, no. 4. P. 193–202. URL: <https://doi.org/10.1007/bf01650949>.

2. Liu J., Ma Y. A survey of manufacturing oriented topology optimization methods. *Advances in Engineering Software*. 2016. Vol. 100. P. 161–175. URL: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.07.017>.

3. Bendsøe M. P., Sigmund O. *Topology Optimization*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05086-6>.

4. Direct Metal Laser Sintering или прямое лазерное спекание. URL: <http://cantouch.ru/blog/dmls/>

5. Flight Control Propulsion. *Flight Control Propulsion*. URL: <http://flightcontrolpropulsion.com>.

6. Bondarenko, O., Vekilov, S., Tkachov, Y., & Marchan, R. (2021). Topology optimization features of liquid-propellant rocket engine power elements manufactured by additive technologies. *Journal of Rocket-Space Technology*, 29(4), 106–111. <https://doi.org/10.15421/452111>

## **ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ФАЗОВИЙ СКЛАД ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМ Fe-Cr-Cu-Ni-Mn-Si ТА Fe-Co-Cu-Ni-Mn-Si**

*Олександр Ігорович Кушнерьов*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9683-2041>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Валерій Федорович Башев*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3177-0935>

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

*Сергій Іванович Рябцев*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2889-5278>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Традиційно вважалося, що для створення сплавів потрібно обрати один елемент як основу (наприклад, сплави на основі Fe, Cu, Al, Ni, Mg тощо). Але ця думка була спростована після винайдення нового типу сплавів - високоентропійних сплавів (ВЕС), які складаються з п'яти або більше елементів у рівних еквімолярних пропорціях. Ці сплави можуть мати високі значення міцності, пластичності, зносостійкості, корозійної тривкості та інших характеристик, залежно від комбінації елементів. Особливістю ВЕС порівняно з звичайними сплавами є те, що вони мають велику ентропію змішування, яка визначає їх структуру і властивості [1,2].

Виявилося, що структури ВЕС можуть бути дуже різноманітними. Існують ВЕС із структурою на базі простих твердих розчинів, сумішей інтерметаллідних фаз, аморфних фаз або складних багатофазних систем [1-7]. ВЕС мають великий потенціал для застосування у різних сферах технології завдяки їх високим показникам твердості та зносостійкості, стабільності до радіації, антибактеріальним властивостям та стійкості до корозії [1-5].

Зазвичай ВЕС отримують методами лиття. Проте, цей процес може бути ускладнений тим, що зливочок може мати неоднорідний хімічний склад, а також значні внутрішні напруження. Тому необхідно збільшувати кількість плавок для досягнення однорідності складу і контролювати швидкості охолодження при кристалізації.

Ще одним поширеним методом покращення різних властивостей металів і сплавів є гартування з рідкого стану (ГРС). Цей метод дозволяє отримувати матеріали з термодинамічно нерівноважними структурами шляхом швидкого охолодження розплаву зі швидкістю понад

$10^4$  К/с. Таким чином, у сплавах можуть утворюватися метастабільні структури, такі як нанокристалічні і аморфні, які мають унікальні комплекси властивостей. Тому ГРС є перспективним методом для синтезу високоентропійних сплавів із покращеними характеристиками.

Метою цієї роботи є дослідження впливу швидкості охолодження при гартуванні з рідкого стану на структуру та фазовий склад ВЕС. Для дослідження були обрані ВЕС на основі заліза з таким складом: 50 ат.% Fe, 10 ат.% Co, 10 ат.% Cu, 10 ат.% Ni, 10 ат.% Mn, 10 ат.% Si ( $\text{Fe}_5\text{CoCuNiMnSi}$ ) та 50 ат.% Fe, 10 ат.% Cr, 10 ат.% Cu, 10 ат.% Ni, 10 ат.% Mn, 10 ат.% Si ( $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$ ). Литі зразки були отримані за допомогою печі Таммана із використанням мідної виливниці (швидкість охолодження  $\sim 10^2$  К/с), а загартовані з рідкого стану (ЗРС) – за методом splat-охолодження (splat-quenching), який полягає в тому, що крапля розплаву, яку видували інертним газом під високим тиском, розтікалася по внутрішній поверхні мідного циліндра з високою теплопровідністю, що швидко обертався (8000 об/хв) [3,5]. Швидкість охолодження, розрахована за товщиною плівок, дорівнювала приблизно  $10^6$  К/с. Рентгенофазовий аналіз (РФА) здійснювався на дифрактометрі ДРОН-2.0 у монохроматизованому Cu  $K\alpha$ -випромінюванні.

Підбір компонентів досліджених ВЕС здійснювався на основі параметрів, які визначені в літературі як основні характеристики ВЕС [1,2]. До таких величин відносять: ентропію змішування компонентів  $\Delta S_{\text{mix}}$ , ентальпію змішування  $\Delta H_{\text{mix}}$ , термодинамічний параметр  $\Omega$ , топологічний параметр  $\delta$ , що характеризує різницю у атомних радіусах компонентів сплаву та концентрацію валентних (s+d) електронів у розрахунку на один атом (VEC). Їх аналіз дозволяє зробити припущення, що в сплаві  $\text{Fe}_5\text{CoCuNiMnSi}$  повинно відбутися формування твердого розчину типу ГЦК, а в  $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$  – ОЦК +ГЦК. За даними РФА в структурі литих ВЕС переважають неупорядковані тверді розчини із ГЦК ґратками, але фазовий склад сплаву  $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$  складніший ніж у сплаву  $\text{Fe}_5\text{CoCuNiMnSi}$ . У ньому є дві ГЦК-фази і одна ОЦК-фаза (таб.1). Таким чином результати РФА підтверджують висновки теоретичного прогнозування фазового складу досліджених ВЕС.

Зважаючи на те, що ЗРС зразки мали той самий хімічний склад, що і литі, то прогнозований фазовий склад мав би бути таким самим. Але дифрактограми ЗРС сплавів показали наявність тільки неупорядкованих твердих розчинів із ГЦК ґратками (таб. 1). Причиною цього є те, що у термодинамічно нерівноважній структурі швидкозагартованої плівки формуються та зростають лише кристалічні зародки основної ГЦК фази. Друга ГЦК та ОЦК фази, яким потрібна більш низька температура кристалізації, не встигають сформуватися. Це

підтверджує той факт, що навіть у литому сплаві  $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$ , який охолоджувався повільніше ( $10^2$  К/с), їх вміст є малим, що впливає з низької інтенсивності відповідних дифракційних максимумів.

Таблиця 1 – Фазовий склад та параметри кристалічних ґраток високоентропійних сплавів  $\text{Fe}_5\text{CoCuNiMnSi}$  та  $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$

Сплав	Фазовий склад
$\text{Fe}_5\text{CoCuNiMnSi}$	ГЦК ( $a = 0.361$ нм)
$\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$	ГЦК1 ( $a = 0.3656$ нм) + ГЦК2 ( $a = 0.3607$ нм) + ОЦК ( $a = 0.281$ нм)
ЗРС $\text{Fe}_5\text{CoCuNiMnSi}$	ГЦК ( $a = 0.3601$ нм)
ЗРС $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$	ГЦК ( $a = 0.3615$ нм)

Оскільки ОЦК-фази зазвичай мають більшу твердість та меншу пластичність у порівнянні із більш м'якими та пластичними ГЦК-фазами, середня мікротвердість сплаву  $\text{Fe}_5\text{CoCuNiMnSi}$  повинна бути меншою, ніж у сплаву  $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$ .

Треба зазначити, що досліджені високоентропійні сплави на основі Fe у порівнянні із звичайними ВЕС мають відносно низький вміст Co и Cr. Ці елементи покращують експлуатаційні властивості ВЕС, але при цьому суттєво збільшують їх вартість. Таким чином, враховуючи очікувані високі фізико-механічні характеристики сплаву  $\text{Fe}_5\text{CrCuNiMnSi}$ , характерні для ВЕС, практичне використання цього сплаву має бути економічно доцільним.

## ПОСИЛАННЯ

1. High entropy alloys. Innovations, advances, and applications / T. S. Srivatsan, M. Gupta. – Boca Raton : CRC Press, 2020.–758 p.
2. Xiang H. High- entropy materials. From basics to applications / H. Xiang, F.-Z. Dai, Y. Zhou. – Weinheim: WILEY- VCH, 2023. – 272 p.
3. Kushnerov, O. I. Structure and properties of nanostructured metallic glass of the Fe–B–Co–Nb–Ni–Si high-entropy alloy system / O. I. Kushnerov, V. F. Bashev, S. I. Ryabtsev // Springer Proceedings in Physics. – 2021. –Vol. 246. – P. 557–567.
4. Polonskyy, V. A. Structure and corrosion-electrochemical properties of Fe-based cast high-entropy alloys/ V.A. Polonskyy, V.F. Bashev, O.I. Kushnerov //Journal of Chemistry and Technologies. -2020.-Vol.28, No. 2. – P. 177-185.
5. Kushnerov, O. I. Structure and physical properties of cast and splat-quenched  $\text{CoCr0.8Cu0.64FeNi}$  high entropy alloy / O. I. Kushnerov, V. F. Bashev // East European Journal of Physics. – 2021. – No. 3. –P. 43–48.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ СУХИХ ВІДСІКІВ КЛЕПАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БЕЗУДАРНИМИ СПОСОБАМИ КЛЕПАННЯ**

*Вікторія Сергіївна Макодеба*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7175-4369>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Тематика дослідження – забезпечення можливості виготовлення сухих відсіків клепаної конструкції безударними способами клепання.

Актуальність: сухі клепані відсіки, не дивлячись на їх недоліки та переваги, продовжують використовуватись в конструкціях ракет-носіїв. Сухі клепані відсіки порівняно зі зварними відсіками мають меншу вагу при тих же габаритах та несучої здатності; не вимагають термічного впливу на матеріали; мають стабільність властивостей; технологія виготовлення достатньо освоєна; вони краще переносять вібрації. З іншої сторони є недолік – використання ударної клепки яка застосовується у відсіках. Тож на даний момент дослідження можливості виготовлення сухих відсіків безударним способом є дуже актуальною задачею у галузі ракетобудування.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Дослідити можливості виготовлення циліндричних сухих відсіків клепаної конструкції безударними способами клепки. Розглянути типові конструкції циліндричних відсіків, існуючі технології їх виготовлення та проаналізувати ті конструкторсько-технологічні рішення які є в конструкції на предмет використання.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

Конструктивно клепаній відсік має два торцевих шпангоути, обшивку, стрингери, проміжні шпангоути, балки, кронштейни, фітинги, заклепки, окантовки.

Існують технології та конструктивно-технологічні рішення виготовлення за схемою панельованої конструкції. Тільки циліндричні клепані відсіки мають панельно-стрингерну конструкцію. Оскільки панельована конструкція клепаного відсіку дозволяє скоротити цикл складання за рахунок паралельного складання, то забезпечує більш якісний контроль з'єднань і широку механізацію та автоматизацію

операцій, застосовує високопродуктивне обладнання та методи складання, тож ця конструкція більш технологічна і краща. Практично єдиним можливим варіантом виготовлення для великих корпусів є панельовані конструкції. Найчастіше панелі клепаєних відсіків виготовляються методом складання-клепання з базою від обшивки, у собі мають обшивку, повздовжні силові елементи – сегменти проміжних шпангоутів та стрингери. Заготовки листового металу сегментів обшивки складаються в пакет і фрезеруються на програмному верстаті за розмірами зовнішнього контуру. Вирізаються люки. У контурах люків штамнуються підсічки для встановлення кришок, підсічки також штамнуються па одній боковій кромці обшивки для з'єднання їх одна з одною.

За допомогою кондуктора в обшивках свердлять технологічні отвори для попереднього їх кріплення зі стрингерами і на бокових кромках – отвори для з'єднання обшивок. Складають стрингери з фітингами і клепають пневматичними скобами у спеціальних пристосуваннях. Згідно з кресленням у стрингерах свердлять направляючі отвори, на 0,1 мм менше встановленого діаметра для з'єднання з обшивкою, накладками і фітингами, а в фітингах – для кріплення з торцевим шпангоутом. Поздовжній розмір та співвісність стрингера з фітингами забезпечує пристосування. Заготовки торцевих і проміжних шпангоутів згинаються до необхідного діаметра і відрізаються в кінцевий розмір. За допомогою накладок кінцеві частини торцевих шпангоутів з'єднуються клепаанням. Ці шпангоути розжимаються до необхідного діаметра і в них свердлять отвори для направляючих штирів та стикувальні отвори. За допомогою кондукторів відбувається свердлення. Для проходження крізь профільні пази стрингерів у сегментах проміжних шпангоутів фрезеруються пази. Проміжні шпангоути будуть встановлюватись на накладки, які клепаються до стрингерів. На свердильному верстаті крізь направляючі отвори у стрингерах свердлять отвори в пакеті стрингер-обшивка під заклепки. Груповим клепаанням в спеціальних пресах або пневматичними молотками чи ручними пресами в спеціальних пристосуваннях здійснюється клепаєння обшивки зі стрингерами в панелі. На вертикальному стапелі складається відсік. Крізь стикувальні отвори до верхнього і нижнього кілець стапеля закріплюються торцеві шпангоути. Опусканням верхнього кільця стапеля сегменти обшивки зі стрингерами з'єднуються з торцевими шпангоутами. Сегменти обшивки клепаються двома рядами болт-заклепками один до одного. Проміжні шпангоути клепаються до стрингерів. Потайними заклепками клепаються фітинги до торцевих шпангоутів. На заклепки замінюються всі технологічні болти.

З пресованих профілів, які можуть поставлятися з прес-залишками, виготовляють масивні силові стрингери. Фрезеруванням прес-залишку одержують стрингер із закінцівкою, яка заміняє фітинг. Таким чином досягається зниження ваги конструкції. Поверхню стрингера, що прилягає до обшивки, одержують при пресуванні радіусом 1500 мм на широких коритоподібних профілях і плоскої - на вузьких куткових, Т-образних профілях. Відповідно до кривизни торцевих шпангоутів оброблюють поверхню, на вузьких фітингах ця поверхня плоска.

Таким чином майже у всіх цих операціях у клепаних з'єднань елементів конструкції можливо виконувати замість ударної клепки – пресову клепку. У зв'язку з тим, що ударна клепка має такі недоліки: мала продуктивність; нижче, порівняно з пресовою, якість виконання з'єднань; шум і вібрації, що створюють професійні захворювання.

Основна функція заклепувальних з'єднань полягає в передачі зусилля з одного елемента конструкції виробу на інший, забезпечуючи необхідну жорсткість і міцність. Крім того, заклепувальні з'єднання повинні забезпечувати гладкість поверхонь в місті сполучення а в необхідних випадках і їх герметичність. Процес отримання клепаного з'єднання є сукупністю операцій по установці елементів конструкції в необхідне взаємне положення, фіксація їх в цьому положенні і з'єднанню їх у вузли, панелі, відсіки, агрегати і виріб в цілому.

Пресова клепка характеризується тим, що утворення замикаючої головки заклепки проводиться рівномірним стисненням стрижня. Пресова клепка має деякі переваги перед ударною:

- кращу стабільність якості клепаних з'єднань;
- забезпечення кращих умов праці.
- поліпшену якість поверхні клепаного з'єднання;
- підвищену міцність з'єднання завдяки більш щільному і рівномірному
- заповненню отворів стрижнями заклепок;

Пресова клепка може виконуватися як одиночна або групова. Групова клепка – процес, при якому за один хід преса утворюється замикаючі головки у групі заклепок. Як устаткування використовують стаціонарні клепальні преси і автомати для клепання. По виду споживаної енергії преси діляться на преси пневматичні і гідравлічні. Залежно від зусилля обирають потужність преса, потрібного для утворення замикаючої головки заклепки.

Таким чином проведено дослідження конструктивно-технологічних рішень, технології і конструкції сухих відсіків клепаної конструкції дозволяють однозначно стверджувати, що циліндричні відсіки



панельно-стрингерної конструкції можливо виготовляти за технологіями безударного клепаання практично повністю.

## ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовані можливості встановлення що для відсіків клепаної конструкції заміни на безударну прес-клепку у зв'язку з її перевагами перед ударною клепкою: підвищена якість з'єднань; відсутність шуму при клепаанні; висока продуктивність; можливість одночасного розклепування кількох заклепок (групова клепка).

## ПОСИЛАННЯ

1. Алексеев Ю. С. Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів: підручник. Дніпропетровськ АРТ-ПРЕС, 2007. – 480 с.
2. Развитие ракетно космической техники : підручник / Ф. П. Санін та ін. Дніпропетровськ : АРТ-ПРЕС, 2002. 298 с.
3. Джур О. Є. Інноваційний розвиток промислового підприємства. Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2004. 72 с.
4. Технологія та організація виробництва клепааних елементів конструкцій виробів : навч. посіб. / О. В. Кулик та ін. Дніпропетровськ : ДНУ, 2010. 88 с.
5. Manes A., Giglio M., Viganò F. Effect of riveting process parameters on the local stress field of a T-joint. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2011. Т. 53, № 12. С. 1039–1049. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2011.07.013>
6. Parametric study of riveted joints / N. Chen та ін. *International Journal of Material Forming*. 2012. Т. 7, № 1. С. 65–79. URL: <https://doi.org/10.1007/s12289-012-1114-7>
7. Research of the influence of riveting on the low-cycle fatigue of riveted connection sheets of aluminum-lithium alloys / V. V. Antipov та ін. «Aviation Materials and Technologies». 2019. № 3. С. 3–8. URL: <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2019-0-3-3-8>

## **ВИБІР НАНОДИСПЕРСНОГО МОДИФІКАТОРА ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

*Анжела Вікторівна Давидюк*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3688-3455>

Фаховий коледж зварювання та електроніки імені Є. О. Патона, Дніпро

### **Вступ**

Вивчення особливостей структури та властивостей алюмінієвих сплавів, оброблених дисперсними та нанодисперсними модифікаторами є актуальною проблемою матеріалознавства [1-3]. В роботі проведено аналіз існуючих модифікаторів алюмінієвих сплавів системи Al-Si, Al-Mg. На основі класичної теорії модифікування обрано типи тугоплавкого модифікатора - порошок карбїду кремнію SiC та карбїду цирконію ZrC.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Тема базувалася на відповідності кристалічних ґраток, комплексного модифікатора (гранецентрована кубічна ґратка ГЦК) та таж сама кристалічна ґратка алюмінієвої матриці. Встановлено критерії вибору нанодисперсних модифікаторів  $\beta$ - SiC та ZrC. Наведено технологічні параметри модифікування.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

З метою підвищення якості виливків з алюмінієвих сплавів системи Al-Si в даній роботі проведені дослідно-промислові плавки сплавів АЛ4 (АК9ч), АЛ4С, АЛ4Д. Хімічний склад досліджуваних алюмінієвих сплавів наведено в таблиці 1.

Як показано в роботах [1,3], найбільш ефективним модифікатором алюмінієвих сплавів є порошок тугоплавкі композиції на основі карбїду SiC, карбїду ZrC до 100 нм.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Підвищення якості і властивостей виробів відповідального призначення не може бути вирішено без розробки нових і вдосконалених існуючих технологічних процесів виробництва сплавів на основі алюмінію. До відливок з алюмінієвих сплавів, що входять до складу турбонасосних агрегатів, насосів палива пред'являють вимоги, що

поєднують герметичність, низьку пористість, високий комплекс механічних властивостей. При отриманні ливарних алюмінієвих сплавів важливим етапом є процес плавки і обробки розплавів. Саме на цих стадіях ефективно використовуються операції модифікування та рафінування розплавів [2, 5, 6].

Однак відсутність адаптації виливків до механічної обробки стримує широке застосування алюмінієвих сплавів як конструкційних матеріалів. Низька технологічність пояснюється наявністю в сплавах крихких і важкорозчинних фаз:  $FeAl_3$ ,  $Mg_2Si$ ,  $MgZn_2$ , що виникають у вигляді великих кластерів і формують безперервну сітку. Ці крихкі фази є причиною утворення тріщин при литті злитків і фасонних виливків. Крім того, вони сприяють уповільненню дифузійних процесів розчинення інтерметалідів при гомогенізації виливків.

Розвиток сучасних технологій вимагає створення нових матеріалів і удосконалення існуючих сплавів. Одним з ефективних способів підвищення якості виливків, подрібнення зерна і отримання однорідної структури є модифікування.

Промислові підприємства застосовують модифікування ливарних алюмінієвих сплавів солями натрію, що сприяє диференціації евтектики Al-Si. Однак легкоплавкі солі натрію не екологічні і не застосовні для обробки великих мас розплавів.

Перспективним напрямком при модифікуванні є використання дисперсних тугоплавких модифікаторів: карбідів, нітридів, боридів, чистих металів з розміром частинок до 100 нм. При модифікуванні ливарних алюмінієвих сплавів дисперсними частками карбіду кремнію і карбіду цирконію розміром до від 50 до 100 нм, відзначено підвищення технологічних і механічних властивостей сплавів і корозійної стійкості [3].

В даний час існує декілька теорій модифікування, вони пояснюють певні сторони процесу модифікування алюмінієвих сплавів, але не характеризують його повністю. Це обумовлено складністю процесу і його залежністю від умов плавки і лиття, а також впливом неконтрольованих домішок і взаємодією компонентів які вводяться і які можуть як посилювати, так і послаблювати дію модифікаторів.

Всі речовини, що мають меншу електронегативність і менший ефективний іонізаційний потенціал ( $U_{me}$ ), цим вимогам задовольняють елементи силіцій, титан, цирконій та тугоплавкі сполуки на їх основі [7].

Матеріали, що мають більше значення  $U_{me}$  - металевої основи сплаву, матимуть негативний вплив. Це відбувається тому, що чим нижче значення іонізаційного потенціалу, тим легше елемент віддає свої валентні електрони матриці і навпаки. Фактор, який характеризує

здатність речовини впливати на процес кристалізації, слід розглядати як фактор розчинності домішок в матриці. Модифікатор повинен розташовуватися на межі кристалів і кластерів, але не входить до складу матричного сплаву.

В даний час опубліковано достатню кількість якісних робіт, присвячених модифікуванню дисперсними частками тугоплавких сполук. У дисперсних системах відображаються особливості стану поверхні, оскільки частка поверхневих атомів в дисперсних частинках є переважаючою [4]. У зв'язку з викладеним, тематика представленої роботи є актуальною для отримання якісних виливків в машинобудуванні.

З метою підвищення якості виливків з алюмінієвих сплавів системи Al-Si, в даній роботі проведені дослідно-промислові плавки сплавів АЛ4 (АК9ч), АЛ4С. Хімічний склад досліджуваних алюмінієвих сплавів наведено в таблиці 1.

Найбільш ефективним модифікатором алюмінієвих сплавів є порошок тугоплавкі композиції на основі карбіду SiC та карбіду цирконію розміром 50... 100 нм.

Таблиця 1 – Хімічний склад ливарних алюмінієвих сплавів

Сплави	Вміст елементів, % мас.							
	Al	Si	Zn	Mg	Sb	Mn	Cu	Fe
АЛ4	основа	10,05	0,3	0,35	-	0,50	0,3	0,4
АЛ4С	основа	9,1	0,3	0,28	0,10	0,4	0,3	0,9
АЛ4Д	основа	8,6	-	0,56	-	0,1	0,9	0,2

У промислових умовах були випробувані порошки комплексного модифікатора на основі карбіду кремнію, карбіду цирконію для модифікування сплавів АЛ4 (АК9ч), 2219. З метою підвищення якості та технологічності багатокомпонентних сплавів системи Al-Si поліпшення механічних властивостей проведено модифікування розплавів тонкодисперсними порошками карбіду кремнію модифікації  $\beta$ -SiC, ZrC розмірами від 50 до 100 нм.

Досліджувані сплави є багатокомпонентними, що призводить до можливості зміцнення твердого розчину алюмінію розчиненими легуючими елементами, а також виділенню з пересиченого твердого розчину інтерметалідних фаз, що створює ефект зміцнення при подальшому старінні. Одержуваний модифікатор є тугоплавкий карбід кремнію, карбід цирконію, який не розчиняється в розплаві, а служить додатковим центром кристалізації. Оптимальну кількість введеного

модифікатора визначено експериментально на лабораторних плавках і коливається від 0,07 до 0,1% від маси розплаву.

У таблиці 2 наведені дані впливу якості модифікатора на розмір зерна.

Таблиця 2 – Вплив дисперсних добавок модифікатора  $\beta$  SiC на зеренну структуру сплаву АЛ4

Кількість добавок у % від маси розплаву	Розмір зерна сплаву, мкм	
	До модифікування	Після модифікування
0,03	160	95
0,07	130	72
0,10	150	90

Мікроструктура сплавів у литому стані являє собою  $\alpha$ -твердий розчин, невелика кількість евтектики і різні інтерметалідні фази, які виділяються з пересиченого твердого розчину при подальшому старінні.

В таблиці 3 наведено результати до і після модифікування.

Таблиця 3 – Межа текучості і розмір зерна алюмінієвого сплаву АЛ4 обробленого комплексним модифікатором

Склад модифікатора, мас. %			$\sigma_{0,2}$ , МПа	Розмір зерна, мкм
SiC	ZrC	Al-пудра		
Вихідний, до модифікування			50	76
45	15	40	250	152

Проведений аналіз показав, що модифікатори карбідного класу SiC мають граніцентовану кубічну ґратку відповідно до граніцентованої кубічної ґратки алюмінієвих сплавів. Це відповідає основним вимогам при виборі модифікаторів.

Експеримент свідчить, що найменше зерно (152 ... 160 мкм) і найбільшу межу текучості (245 ... 250 МПа) мають зразки сплаву АЛ4 у модифікованому стані.

Роботи, проведені в промислових умовах, показали підвищення механічних властивостей модифікованих ливарних алюмінієвих сплавів АЛ4 і АЛ4С до 270 МПа, що на 20% вище міцності властивостей немодифікованих сплавів.

## ВИСНОВКИ

Проведені дослідні плавки АЛ4. Обґрунтовано вибір комплексного модифікатора на основі  $\beta$ -SiC та ZrC з розміром часток 50...100 нм плазмохімічного синтезу.

Основою вибору була відповідність кристалічних ґраток комплексного модифікатора ГЦК алюмінієвої матриці сплавів.

В результаті модифікування отримана однорідна дисперсна структура з подрібненням зерна сплавів в два рази та підвищення міцності на 20 %, що підтверджує ефект модифікування.

## ПОСИЛАННЯ

1. Большеков В. І., Куцова В. З. Наноматеріали і нанотехнології. Д., Пороги, 2016. 225с.

2. Куцова В. З., Погребна Н. Е., Хохлова Т. С. Алюміній та сплави на його основі. Д., Пороги, 2004. 135 с.

3. Калінін А. В., Грекова М. В., Давидюк А. В., Юшкевич О.П. Підвищення корозійної стійкості конструкційних сплавів обробкою тугоплавкими модифікаторами. Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»: Матеріали у 2-х томах. Том II. – Дніпро-Відень, 2017. 400 с. С. 51-55.

4. Калініна Н. Є. Особливості модифікування алюмінієвих сплавів Al-Mg / Н. Є. Калініна, З. В. Вилищук // Авиационно-космические материалы и технологии. – 2011. - №7(84). – С.80-84.

5. Іщенко А. Я. Зварювання сучасних конструкцій із алюмінієвих сплавів / А. Я. Іщенко, Т. М. Лабур. – Київ: Наукова думка, 2013. – 405с.

6. Saunders N. CALPHAD (calculation of phase diagrams): A comprehensive guide. Oxford : Pergamon, 1998. 479 p.

7. Калініна Н. Є. Модифікування високоміцних алюмінієвих сплавів дисперсними композиціями / Н. Є. Калініна // Системні технології. – 1998. - №2. – С. 150-154.

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІЧНИХ З'ЄДНАНЬ З РІЗНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ АДИТИВНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ DED

*Олена Володимирівна Карпович*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-5822>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Денис Сергійович Жумар*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0381-7114>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Застосування біметалевих матеріалів в авіаційній та космічній техніці обумовлено високими експлуатаційними вимогами, які пред'являються до вузлів та виробу в цілому. Важливою вимогою є зниження загальної маси та вартості виробу, що досягається використанням біметалевих композицій для з'єднання деталей, що працюють в умовах агресивних середовищ, підвищених або криогенних температур, високих тисків. Біметали дозволяють поєднати переваги різних матеріалів із забезпеченням необхідних специфічних для конкретного місця властивостей. Пошук нових можливих зон застосування біметалів з метою зниження масових характеристик виробу без втрати властивостей міцності, герметичності, вакуум-щільності та інших експлуатаційних вимог є безперервним процесом для вдосконалення як конструкції вузла ракетно-космічної техніки, так і технології його виготовлення.

Створення біметалів з різнорідних матеріалів, наприклад суперсплавів на основі нікелю зі сплавами міді, ніобію або титану, пов'язане з низкою труднощів, які виникають через відмінності у фізико-механічних та теплофізичних властивостях металів. Зокрема, при знакових температурних навантаженнях (у космосі від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ ) виникає небезпека міжшарового руйнування.

Існує декілька способів отримання вказаного типу з'єднань. Найбільш поширені з них це з'єднання матеріалів у твердій фазі із застосуванням технологій дифузійного зварювання, тертям та зварювання вибухом. Кожен з цих методів потребує попереднього виготовлення заготовок, їх з'єднання та подальшої механічної обробки до готового виробу. Кожен етап повинен виконуватись на відповідному спеціальному обладнанні із супутніми пристроями та розробленою технологічною документацією. Підготовка виробництва та виконання безпосередньо технологічного процесу займає великий проміжок часу, збільшує трудомісткість та собівартість продукції. Особливо це помітно при переході на інший об'єкт виробництва. Перспективним способом

отримання бездефектних біметалічних з'єднань з металів з різко різними властивостями є технологія адитивного виробництва DED (Powder Direct Energy Deposition/Laser Metal Deposition), яка є пошаровою обробкою з різною стратегією побудови, можливістю послідовного нанесення матеріалів та отримання функціонально-градієнтних структур.

Метою цієї роботи є аналіз способів виготовлення біметалічних з'єднань з різнорідних матеріалів із застосуванням технології адитивного виробництва DED.

Виробництво біметалічних конструкцій з різнорідних металів має проблеми зі з'єднанням через значну невідповідність властивостей основних металів. Розуміння стратегій обробки має вирішальне значення для виготовлення біметалічних конструкцій з потрібними експлуатаційними характеристиками. На рисунку 1 показано різні стратегії нарощування (з'єднання), такі як пряме (з'єднання) осадження, композиційний шар і проміжний з'єднувальний шар, включаючи композиційний з'єднувальний шар [1]. Кожен підхід залежить від сумісності основних матеріалів і способу покращення міжфазних властивостей з'єднання. Загальна концепція також розкриває, як пом'якшити внутрішні проблеми, такі як розтріскування та відшарування, включаючи особливості формування дифузійної перехідної зони.

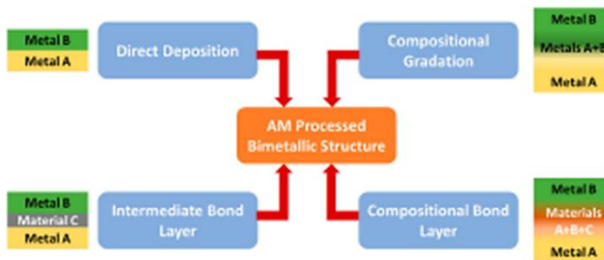


Рисунок 1 – Стратегії обробки біметалевої конструкції

Найбільш поширеним, простим та економічним методом виготовлення біметалів технологією DED є пряме осадження одного матеріалу поверх іншого. При цьому для отримання механічно надійного з'єднання потрібно, щоб два матеріали були металургійно сумісні з утворенням однофазного твердого розчину в області з'єднання та сприяли хорошій міжфазній міцності з'єднання. Однак, оскільки термічні властивості, особливо КТР матеріалів, відіграють вирішальну роль під час обробки, різниця між КТР основних металів має бути



невеликою, щоб зменшити термічно викликані напруги, відповідальні за виникнення тріщин і руйнування на межі розділу. Тому цей метод не може використовуватись для отримання з'єднань з різномірних матеріалів через складні металургійні взаємодії на межі розділу матеріалів під час фаз плавлення та затвердіння [2]. Такі неповні металургійні реакції призводять до крихких інтерметалічних фаз, а термічні напруги призводять до проблем з'єднання, таких як розшарування розтріскування або велика пористість. Наприклад, ознаки розтріскування та розшарування виникли під час прямого осадження Inconel 718 на матеріалі титанового сплаву та Ti-сплаву з матеріалами з нержавіючої сталі [2].

Спосіб градації композиції передбачає поступовий перехід складу одного матеріалу в інший через композитний інтерфейс, що дозволяє використовувати композицію матеріалів як інструмент розробки для покращення властивостей. За цим методом було створено сопло ракети з титанового сплаву та Nb (рис. 2, а), в якій градієнтний перехід виконано у горловій частині конструкції. Також за цим методом отримано з'єднання TA15 - Inconel 718, Inconel 718 - GRCo-84, інконель-сталь за допомогою процесу плавлення в шарі порошку (рис. 2) [1].

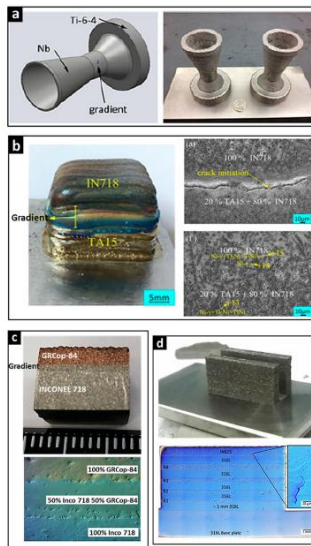


Рисунок 2 – Біметалічні матеріали з класифікацією складу:  
(а) Структура сопла Ti64 – Nb; (б) TA15 - Inconel718;  
(с) Inconel718 - GRCo-84; (д) інконель-сталь

Метод динамічного змішування застосовується у сучасних системах DED, які оснащені декількома дозаторами порошку. При цьому склад біметалічного матеріалу змінюється завдяки різній швидкості подачі порошків. Цю технологію використовували для виготовлення біметалічних конструкцій з титанового сплаву (Ti64) і нержавіючої сталі, функціонально градуєваних сплавів з матеріалів SS304L та Inconel 625 [3]. Недоліком цього методу є неможливість прогнозування відсоткового складу за вагою використаного матеріалу, що пов'язано з такою особливістю процесу як утворення відходів у вигляді нерозплавленого порошку, який видувається із зони обробки потоком захисного газу.

Стратегія створення проміжного шару (IBL) між основними металами дозволяє зменшити напруження, які виникають під час з'єднання несумісних різнорідних металів шляхом прямого з'єднання або композиційної градації. Проміжний матеріал повинен виконувати такі функції: перешкоджати дифузії між несумісними основними матеріалами для запобігання утворення крихких інтерметалічних фаз; утворювати стабільні фази, особливо з основними складовими елементами різнорідних матеріалів; знижувати внутрішні напруження в перехідній зоні з'єднання, які утворилися завдяки різко від'ємним теплофізичним характеристикам.

З'єднання з різнорідних матеріалів також можна отримати через декілька шарів. Наприклад, для з'єднання титанових сплавів з нержавіючою сталлю або з суперсплавами на основі нікелю використовували пари чистих металів нікель (Ni) - мідь (Cu) або ніобій (Nb) - мідь (Cu) (рис. 3) [1].

Спосіб композиційного зв'язувального шару (CBL) полягає у використанні суміші основних металів з третім у певній пропорції. Вперше ця концепція була застосована для виготовлення біметалічного з'єднання, що складається зі сплаву на основі нікелю (Inconel 718) і сплаву на основі титану (Ti6Al4V) (рис. 3, d). В якості шару CBL було обрано порошок карбиду ванадію (VC), який міг утворювати однофазний розчин як з Ni, так і з Ti. Незважаючи на те, що матеріал VC є твердим, під час осадження суміші матеріалів VC + Inconel 718 і Ti64 як CBL були отримані різні варіації фізико-механічних та теплофізичних властивостей з'єднання, що дозволило обрати найбільш оптимальний варіант співвідношення застосованих матеріалів. Карбід ванадію дозволив стабілізувати продукти реакції та підвищити міцність з'єднання. Але мікроструктурний аналіз показав наявність нерозплавлених частинок порошку у перехідній зоні, що підвищує ризик утворення тріщин та руйнування з'єднання [1].

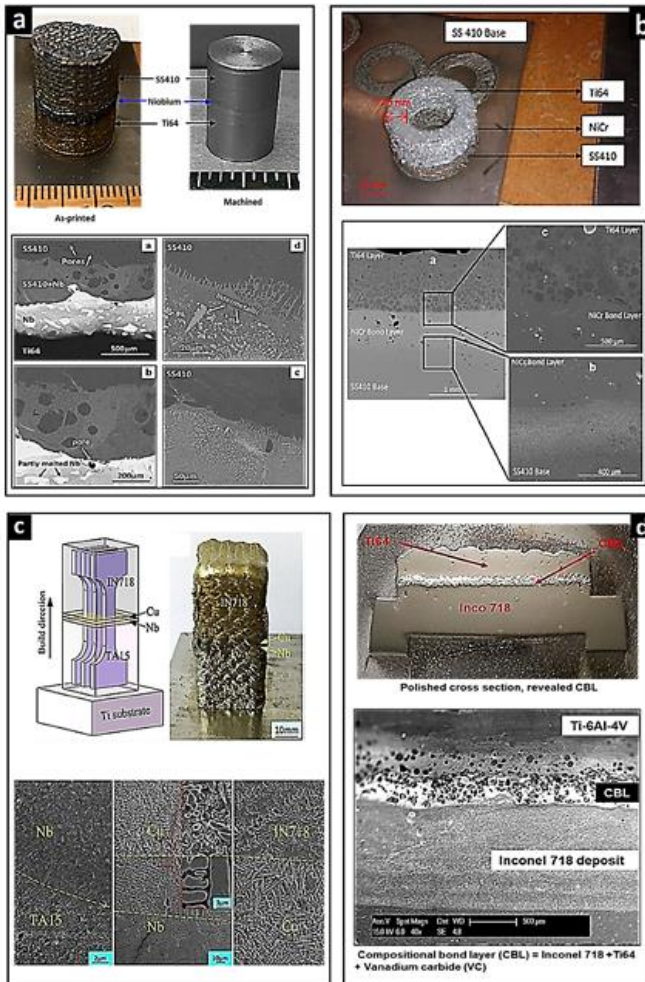


Рисунок 3 – Біметалічні матеріали, оброблені за допомогою проміжного зв'язувального шару:  
 (а) Функціональний біметал Ti6Al4V з SS410; (б) біметал з нержавіючої сталі на Ti; (с) Laser AM of TA15 – біметалева структура Inconel 718 через багат шаровий шар Nb-Cu, (д) AM біметалічних структур Inconel 718 –Ti6Al4V

В результаті проведеного аналізу існуючих стратегій отримання біметалічних з'єднань адитивною технологією DED можна зробити наступні висновки:

1. Хімічний склад, фізико-механічні та теплофізичні характеристики матеріалів істотно впливають на процес отримання біметалів

2. Стратегія створення проміжного шару (IBL) з одного або двох прошарок є найбільш доцільною для з'єднання несумісних різнорідних металів.

3. Створення адитивною технологією DED біметалів з матеріалів, що мають різко різні властивості, обмежено експериментальними зразками і засновано на даних, що були отримані для технологій зварювання у твердій фазі. Це дозволяє частково вирішити матеріалознавчі проблеми, що виникають під час процесу пошарового осадження порошків, але при цьому не враховуються особливості розплавлення та кристалізації матеріалів в зоні обробки, а також вплив температурних напружень різного роду на структуру перехідної зони та властивості з'єднання.

Визначення режимів обробки технологією DED порошкових матеріалів та умов формування з'єднання з необхідним комплексом фізико-механічних властивостей потребує подальших теоретичних та експериментальних досліджень з перспективою отримання виробничих зразків виробів РКЛА.

## ПОСИЛАННЯ

1. Amit Bandyopadhyay Yanning Zhang & Bonny Onuike. Additive manufacturing of bimetallic structures. *Virtual and Physical Prototyping*. 2022. Vol. 17, no. 2. P. 257–294. URL: <https://doi.org/10.1080/17452759.2022.2040738>.

2. Abe, T., and H. Sasahara. 2016. “Dissimilar Metal Deposition with a Stainless Steel and Nickel-Based Alloy Using Wire and arc-Based Additive Manufacturing.” *Precision Engineering* 45: 387–395. doi:10.1016/j.precisioneng.2016.03.016.

3. Ahsan, M. R. U., X. Fan, G. J. Seo, C. Ji, M. Noakes, A. Nycz, P. K. Liaw, and D. B. Kim. 2021. “Microstructures and Mechanical Behavior of the Bimetallic Additively-Manufactured Structure (BAMS) of Austenitic Stainless Steel and Inconel 625.” *Journal of Materials Science & Technology* 74: 176–188. doi:10.1016/j.jmst.2020.10.001.

## ЗАСТОСУВАННЯ СКЛОПЛАСТИКІВ У ВИРОБАХ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

*Тамара Антонівна Манько*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4146-607X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Катерина Григорівна Сєдачова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2226-6865>

Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро

В наступний час виробу ракетно-космічної техніки потребують використання матеріалів з високими питомими характеристиками [1]. Дані вимоги можуть задовільнити саме склопластики, які мають високі фізико-механічні властивості та низьку щільність. Постає задача отримання склопластиків при зниженні енергоємності процесу.

Сучасні композити потребують застосування новітніх технологій в процесі тверднення композиції. Розповсюджений метод тверднення склопластику конвективним нагрівом не надає можливість отримати необхідні фізико-механічні властивості. В роботі розглянуто застосування інфрачервоного методу нагріву композиту, який дозволяє отримати більш високу мікротвердість, компактну структуру полімеру та високого ступеня тверднення.

Найбільш складною та проблемною, при виготовленні зразків, є саме операція тверднення композицій. Це питання постає саме при виборі методу тверднення склопластику. Найбільш поширеним є саме метод конвективного нагріву заготовки, проте випробування показали недостатні показники якості композиції. Виходячи з цього, була проведена порівнювальна робота серед найбільш поширених методів отвердіння. Синтез реалізовували традиційним конвективним методом, інфрачервоним нагріванням та селективним ІЧ нагріванням.

Для досліджування використовували склопластик ЕДТ-10+УП606/2(1%), який використовується в тонкостінних конструкціях РКТ, а також добре пропускає ІЧ випромінювання в області довжин хвиль  $(2,7 - 4,0) \cdot 10^{-6}$  м за рахунок того, що оптичні властивості полімеру та спектральні характеристики випромінювача збігаються у цьому діапазоні довжин хвиль. Пакет представляє собою тришарову конструкцію, кожен шар до 1 мм [2].

Після складання композиції відбувається процес тверднення конструкції, це довготривалий нагрів в печах за рахунок явища конвекції. Тому, з метою інтенсифікації процесу тверднення його виконують

застосуванням інфрачервоних джерел нагріву.

В роботі розроблена технологія застосування селективного методу інфрачервоного нагрівання склопластиків. Метод засновано на виділенні полоси частот ІЧ спектра за допомогою сольового фільтра. Для цього розроблено пристосування яке дозволяє реалізувати цей метод підводу максимальної питомої потужності до оброблюємої поверхні матеріалу. Для цього застосовують галогенні лампи розжарювання КГТ-220-1.

З метою передачі максимальної питомої потужності від випромінювача до поверхневого шару за допомогою ІЧ джерела з використанням сольових фільтрів були виділені смуги частот [3], у яких основна частина енергії, що випромінюється, припадала на довжину хвилі  $(2,8 - 3,1) \cdot 10^{-6}$  м.

Для реалізації поставленої задачі обрано основні параметри установки для проведення експериментальних робіт із тверднення зразків епоксидної композиції селективним методом інфрачервоного нагрівання (рис. 1) [4, 5].

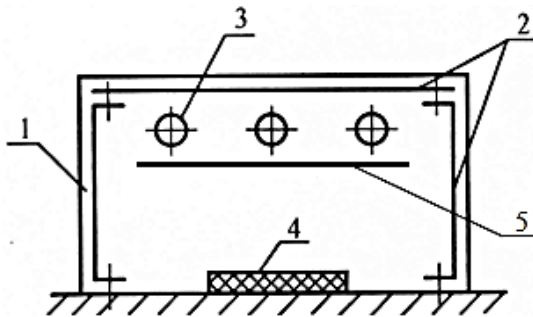


Рисунок 1 – Схема установки для ІЧ нагрівання:

- 1 – корпус; 2 – відбивачі; 3 – галогенні лампи розжарювання; 4 – зразок; 5 – сольовий фільтр

Установка складається з корпусу 1, до верхньої та бічних поверхонь якого прикріплені відбивачі 2. Матеріалом відбивача був обраний мідний лист, відполірований до шорсткості  $Ra=5$ . Відомо, що відбивна здатність поверхні залежить від матеріалу та його шорсткості. Під верхнім відбивачем кріпили три галогенні лампи розжарювання 3, типу КГТ-220-1000-1. Зразок 4, що нагрівається, встановлювали в нижній частині корпусу. Сольовий фільтр 5 розташовували під галогенними лампами розжарювання на відстані, котра забезпечує температуру тверднення.

Зразки, що затверділи за різними режимами, піддавали механічним випробуванням. Проводили 10 вимірювань мікротвердості для кожного зразка. Результати вимірювань показали, що для зразків, які затверділи конвективним нагріванням, мікротвердість становить – 29,61 кгс/мм<sup>2</sup>; при інфрачервоному нагріванні – 30,85 кгс/мм<sup>2</sup>; при ІЧ селективному методі – 34,57 кгс/мм<sup>2</sup>. Аналіз отриманих результатів показав, що зразки, які затверділи селективним ІЧ методом мають більш високу мікротвердість. Це підтверджує отримана компактна структура полімеру та висока ступінь полімеризації 97%.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження встановлено, що з метою зниження енергоємності процесу тверднення епоксидної композиції ЕДТ-10+УП606/2(1%), рекомендується проводити селективним методом інфрачервоного нагрівання, який забезпечує рівномірність розподілу температури по всій оброблюваній поверхні, зберігаючи стабільні підвищені фізико-механічні характеристики. Даний метод дозволяє отримати більш високу мікротвердість, компактну структуру полімеру та високого ступеня тверднення 97%. Значним показником вибору селективного методу є зменшення часу тверднення епоксидної композиції з 7 годин конвективним методом до 75 хвилин.

## ПОСИЛАННЯ

1. Полімерні композиційні матеріали в ракетно – космічній техніці: Підручник / Є. О. Джур, Л. Д. Кучма, Т. А. Манько та ін. – К.: Вища освіта, 2003. – 399 с.
2. Манько Т. А. Спеціальне матеріалознавство / Т. А. Манько, Л. Д. Кучма, С. І. Губенко – Д., 2004. – 215 с.
3. Светофильтры для пейзажной съёмки Uv-pass, hot mirror и инфракрасные светофильтры. URL: <http://photo-element.ru/book/filters/ir/ir.html>.
4. Є. О. Романов А. Д. Современные технологии производства изделий из композиционных материалов. / Современные наукоемкие технологии, 2014. № 2. С. 46-51.
5. Композитні та порошкові матеріали: навчальний посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук, О. Л. Садова; за заг. ред. П. П. Савчука. [Рукопис] – Луцьк: Видавець: ФОП Теліцин О. В., 2017. – 368 с.

## **МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ РУЙНУВАННЯ ТЕРМОКАТОДІВ НА ОСНОВІ КЕРАМІКИ**

*Ігор Олександрович Мамчур*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9957-5685>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Стелла Ігорівна Мамчур*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8146-8849>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Властивості термокатодних пристроїв залежать від матеріалів та технології їх виготовлення. Багато робіт присвячено дослідженню вибору матеріалу емітера. Одним з найкращих вважається гексаборид лантану, який можна отримувати за допомогою різних технологічних засобів. При цьому відбувається зміна властивостей і відповідно робочих характеристик термокатоду [1]. У зв'язку з цим підвищення емісійних властивостей лантану можливий за допомогою дослідження зразків, отриманих різними засобами. Дослідженнями встановлено що стійкість структури визначається міцністю зв'язків між атомами бору, яка підрозділяється на зв'язки В-В в октаедри і між октаедрами.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою роботи було дослідження зразків гексабориду лантану, отриманого методами порошкової металургії, напиленням, отриманням монокристалів та виявлення впливу на емісійні властивості гексабориду лантану, розміру зерна, вмісту домішок, пористості.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Матеріалом дослідження був гексаборид лантану отриманий різними засобами. Дослідження діаграми стану лантан-бор вказують що мають місце з'єднання, які конгруентно плавляться - гексаборид лантану з областю гомогенності у сторону бору (до 88 ат. %) і тетраборид лантану який утворюється за перитектичної реакції.

Методом високотемпературної рентгенографії встановлювались зміни характеристичної температури гексабориду лантану з підвищенням температури та встановлювалась температурна залежність



коефіцієнтів термічного розширення гексабориду лантану. Досліджувалось руйнування катодів з  $\text{LaB}_6$ [2].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні значення роботи виходу для полікристалічних і монокристалічних зразків мають відмінності. У межах полікристалічної технології значення роботи виходу гексаборида лантану змінюється в інтервалі 2.66 - 4.0 е.В. В якості основних причин цих коливань дослідники вказують на наявність домішок, суттєві області гомогенності та неоднорідність емісійної поверхні. В монокристалічному гексабориді лантану має місце анізотропія термоемісійних властивостей. На основі даних вивчення структури чистих поверхонь граней монокристалічного гексабориду лантана побудована модель розташування атомів лантана і бора на різних гранях[3]. Поверхня (001) за кімнатною та підвищеною температурах завершується шаром атомів лантану, який віддалений від шару "ідеальної" решітки на відстані 0.208 нм. Така площина має мінімальну роботу виходу у зв'язку з наявністю дипольного моменту, який створюють іони лантану[4]. На площині (110) атоми лантану знаходяться на відстані 0.166 нм від "ідеальної" решітки. Таке ж розташування мають октаедричні комплекси атомів бору, але тут вклад дипольного моменту у роботу виходу повинен бути незначним. Поверхня (111) може закінчуватись шаром атомів лантану або бору віддалених один від одного на відстані 0.12 нм.

Методом високотемпературної рентгенографії встановлено законмірне зменшення характеристичної температури гексаборида лантану із збільшенням температури. Термічний коефіцієнт опору не залежить від способів отримання гексаборида лантану. Мікротвердість гексаборида лантану складає 27.6 - 32.5 Па. За схемою консольного навантаження для гарячепресованого гексаборида лантану визначена межа міцності на вигін - 126 МПа за щільності 97%, а з підвищенням пористості до 20% вона знижується до 85 - 96 МПа. Залежність більшості фізико-хімічних властивостей гексаборида лантану від вмісту домішок, пористості, зернистості, слідує вказати що велике розмаїття способів отримання може призводити до зміни його основних властивостей. З усіх різновидів технології виготовлення катодних пристроїв, найвідповідальнішою операцією є отримання вихідного порошку. Найпоширенішим методом отримання порошку є відновлення оксида лантану або суміші оксида лантану і бору з вуглецем, бором, карбидом бору. Відмічається велике забруднення продукту вуглецем і його вплив на робочі характеристики гексабориду лантану. Для

запобігання забруднення використовують методи очищення його від вуглецю: введення надлишку оксиду лантану, який відповідає кількості вільного вуглецю в карбиді бору; введення суміші надлишкового оксиду лантану з деякою кількістю аморфного бору для зв'язування вільного лантану в гексабориди; введення борного ангідриду[5].

Досліджені в роботі зразки термокатоду, який складається з гексабориду лантану та ніобію з'єднувались за допомогою дифузійного зварювання у вакуумі через проміжний прошарок. На деяких зразках відбувалось руйнування на повітрі через декілька місяців після виготовлення. Цей вид руйнування називається "гексаборидна чума", його пов'язують з наявністю вуглецю[6]. Такий вид руйнування спостерігається у катодах виготовлених спіканням, плазменним напиленням, гарячим пресуванням та зонним плавленням. Вуглець може потрапляти в шихту на різних етапах отримання порошку, гранул або формування. Він може утворювати з'єднання з лантаном - дикарбид лантану. Це з'єднання на повітрі гідролізується з утворенням оксиду лантану і вуглеводню. В результаті зміни хімічних зв'язків і типу кристалічної решітки відбувається руйнування катодів у місці скупчення карбидів. На основі термодинамічних розрахунків доведено, що можливо утворення борокарбида лантану, який на повітрі легко гідролізується з утворенням оксиду лантану і складних органічних з'єднань. Утворення дикарбида лантану зафіксовано за відносно низьких температур, яке відбувається після синтезу порошку гексабориду лантану за рахунок боротермічного відновлення оксиду лантану в присутності сажі, або після відпалу порошку гексаборида лантану з недостатністю за бором в графітових контейнерах. Оскільки дикарбид є термічностійким, від нього немає можливості позбавитись навіть за високотемпературного відпалу. Руйнування відбуваються у зв'язку з розташуванням карбида лантану по межах зерен. Також руйнуються вироби спечені з гексаборида лантану технічної чистоти з підвищеним вмістом кисню. В цих порошках знайдені домішкові фази типу оксиду лантану. Використання бар'єрних прошарків між гексаборидом лантану і ніобієм зупиняє руйнування. Характер руйнування катодів визначається будовою дифузійних зон та їх протяжністю. Запропоновано використання титану в якості проміжного шару між еміттером і струмопідводом. До підвищення термостійкості зварного з'єднання у якому дифузійна зона менш насичена лантаном і шар тетрабориду лантана стає тонкішим. Тобто введення проміжного прошарку з титану обмежує дифузію лантану і зростання тетраборидного слою. Ресурс роботи для катодних пристроїв з проміжним прошарком титану складає 50 термоциклів.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень встановлено вплив фазового складу на термостійкість катоду. Це пов'язано з дифузією бору у проміжний прошарок з титану і утворенням слою тетрабориду. Термостійкість зварного з'єднання вища, якщо дифузійна зона менш насичена лантаном. Результати досліджень свідчать, що в основі руйнування катоду отриманого ДЗВ з гексабориду лантану з ніобієм через проміжний прошарок лежить первинна дифузія бору з гексабориду лантану в проміжний прошарок. В результаті утворюється шар тетрабориду лантану, що призводить до утворення слоїв насичених лантаном, які є центрами наступного руйнування. Таким чином, в основі підвищення надійності катодів, полягають технологічні засоби які обмежують дифузію бору під час зварювання і експлуатації за рахунок використання проміжних прошарків.

## ПОСИЛАННЯ

1. Дифузійне зварювання у вакуумі жароміцного сплаву на нікелевій основі / Л.В. Петрушинець та ін. // Технічні науки та технології. - 2017. - № 3 (9). - С. 63–71. <https://ir.stu.cn.ua/123456789/15789>
2. Дифузійне зварювання з керованим напружено-деформованим станом і модифікування поверхонь з'єднання / Квасницький В.В. автореферат дис. ... канд.техн. наук. 2010. 15 с. <https://ela.kpi.ua/handl/123456789/1297>
3. Дифузійне зварювання у вакуумі жароміцного сплаву на нікелевій основі / Л.В. Петрушинець та ін. // Технічні науки та технології. - 2017. - № 3 (9). - С. 63–71. <https://ir.stu.cn.ua/123456789/15789>
4. Вплив параметрів зварювання на робочі характеристики термокатодів / Санін А.Ф., Джур Є.О., Мамчур С.І., Носова Т.В. // Вісник ДНУ. Дніпро. Ліра. №1. 2020. С.51-55. DOI: 10.15421/452012
5. Шляхи підвищення продуктивності процесу дифузійного зварювання у вакуумі - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-pr>
6. Дослідження фазового складу та протяжності дифузійних слоїв з'єднання LaB<sub>6</sub>-Zr-Nb / Санін А.Ф., Мамчур І.О. // IV Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід». - м. Гельсінкі, Фінляндія, 2021. – С. 164-167.

## RESEARCH ON THE CONNECTION OF HETEROGENEOUS NON-METALLIC MATERIALS IN THE MANUFACTURE OF ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY STRUCTURES

*Tamara Antonivna Manko*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4146-607X>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

*Krystyna Viktorivna Kozis*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3739-9559>  
Yuzhnoye State Design Office, Dnipro

In order to choose a method of joining dissimilar non-metallic materials in the manufacture of compartments of rocket and space technology, it is of particular interest to study the adhesion strength using a whole range of materials. These are glues, binders and fabrics that would guarantee high adhesive strength in the structure.

Strong bonding of dissimilar materials is one of the important tasks during construction construction, therefore special attention is paid to the selection and research of the adhesive layer. Consider an example of joining composite materials with rubber.

There are a number of studies that consider the adhesive strength at the interface between an elastic body (rubber) and a composite. The following model of the strength of connections of a cylindrical sample of elastomer with an inflexible material is proposed:

$$\sigma = \sqrt{\frac{8WE^*}{\pi \cdot a}}$$

where  $\sigma$  is the strength of the connection;  $W$  – work of adhesion;  $a$  – cylinder radius;  $E^*$  is a composite module calculated as follows:

$$\frac{1}{E^*} = \frac{(1 - k_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - k_2^2)}{E_2}$$

where  $E_1$  and  $E_2$  are the modulus of elasticity of the materials in contact,  $k_1$  and  $k_2$  are the Poisson coefficients of the materials in contact.

It is also possible to give a slightly modified equation, the fundamental difference of which is the introduction of the length of the separation zone instead of the cylinder diameter.

$$\sigma = \sqrt{\frac{2WE^*}{\pi \cdot c}}$$

where  $c$  is the length of the separation zone.

The general appearance of the adhesion separation equations in different models remains constant, but depending on the nature of the formation of the separation plane, modifications are introduced to the description of the geometric part of the equation, which affects the coefficient in the numerator.

Analysis of the equations considered above allows us to conclude:

When the modulus of elasticity of one or both materials in contact decreases, the strength of the connection decreases.

When Poisson's ratio increases, the strength of the connection increases.

As the work of adhesion increases, the strength of the connection will also increase.

A comparison of the values of the modulus of elasticity of the materials and their Poisson ratios allows us to conclude that the contact of a high-modulus material - a high-modulus material will be stronger in almost all cases than a high-modulus - low-modulus contact.

However, the presented models consider an almost uniform separation, which allows for a slight decrease in the area of contact between elastic and hard materials. Such models are applicable for those cases where there is a high-modulus interlayer between the components.

Detachment of elastic low-modulus films from rigid material will also be considered. The author notes that during such separation, the contact area between the components decreases with the formation of a cavern-type separation surface pattern. At the same time, the local separation voltage increases significantly due to the reduction of the contact area.

The equation for this separation case

$$\sigma = \frac{F}{\pi a^2} = 1,64 \sqrt{\frac{WE}{h}}$$

where  $F$  is the force required to destroy the contact over the area  $\pi a^2$ ;  $h$  is the thickness of the film,  $E$  is the modulus of elasticity of the composite,  $W$  is the work of adhesion.

During a sharp decrease in the contact area, a rapid increase in tension is possible in its part that has not peeled off, which will be compensated with the passage of time due to the stretching of the part of the adhesive that has lost adhesive contact with the composite. Part of the applied energy will be dissipated.

In this case, three main gap schemes are possible:

– in the event that the tension of the adhesive break of a thin film of elastomer with a composite is higher than the cohesive strength of the latter, surface destruction is observed.

– in the event that the tension of the adhesive rupture of a thin film of elastomer with a composite is higher than the cohesive strength of the elastomer, the adhesive layer ruptures.

– in the event that the tension of the adhesive rupture of a thin film of elastomer with a composite is less than the cohesive strength of the adhesive and the composite, the adhesive layer is detached without breaking the integrity of the surfaces.

So, the work of adhesion is a significant factor that determines the nature of contact destruction between materials.

The value of the work of adhesion can be determined by a number of factors, which are described in the relevant theories:

– diffusion (formation of contact due to the penetration of the adhesive layer into the pores and unevenness of the material).

– electronic and electrical (due to charge transfer during the formation of interphase contact).

– adsorption (due to van der Waals adsorption or due to the formation of chemical bonds) and others.

It should be noted that the use of each of the theories should be considered for a specific individual case of adhesive contact formation. For example, in the case of gluing materials with a developed rough surface, mechanical penetration of materials into the composite really occurs, and in the case of contact of polished highly polar surfaces, it will be more valid to consider the system in the application of adsorption, electronic and electrical theories.

## REFERENCES

1. The Influence of elastic modulus and thickness of the release of the soft-fouling green alga *Ulva linza* from PDMS model networks / [M. K. Chaudhury, J. A. Finlay, M. E. Callow та ил.]. // *Biofouling*. – 2005. – №21. – С. 41–48.

2. Gent A. N. Fracture mechanics of adhesive bonds / Gent. // *Rubber Chemistry and Technology*. – 1974. – №47. – С. 202–212.

3. Chung J. Y. Soft and hard adhesion / J. Y. Chung, M. K. Chaudhury. // *The Journal of adhesion*. – 2005. – №81. – С. 1119–1145.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ РОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ В РКТ

*Олександр Володимирович Літот*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4449-7349>

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»,  
Дніпро

*Тамара Антонівна Манько*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4146-607X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

У ракетно-космічній техніці до конструкцій пред'являються підвищені вимоги по їх міцності і надійності в умовах експлуатації. Що стосується використання композитних матеріалів та в першу чергу вуглепластиків, їх застосування виправдане високими показниками питомої міцності і надійності як по компонентно, так і в складі армованого матеріалу, до складних і агресивних середовищ, таких як робочі гази і рідини при температурі від мінус 196°C до плюс 100 °C. Беручи до уваги, що значну частину сухої ваги ракети-носія складають такі деталі як паливні баки та криогенні трубопроводи, особливо критичним є завдання зменшення ваги верхніх ступенів ракети-носія, а також всього легкого класу, де реалізувати ефективні цільнокомпозитні безлейнерні конструкції криогенних паливних баків та трубопроводів технологічно можливо [1]. Це призводить до необхідності виконувати рознімні фланцеві з'єднання у стику деталей бак-трубопровід, та забезпечувати його герметичність в умовах експлуатації.

Завдання проектування особливо ускладнюється при моделюванні взаємодії всіх елементів конструкції в умовах силових навантажень та криогенних температур [2]. Це насамперед збереження міцності та достатнього рівня жорсткості матеріалу та деталей конструкції в умовах тривалого зовнішніх факторів. Істотно впливає на герметичність роз'ємного фланцевого з'єднання відмінність коефіцієнтів лінійного температурного розширення матеріалів та деталей що знаходяться в контакті, що при використанні вуглепластиків суттєво залежить від схеми армування деталі.

В роботі розглянуто питання забезпечення герметичності фланцевого рознімного з'єднання з вуглепластику для криогенних компонентів палива. В якості матеріалів конструкції використовували епоксидні вуглепластики на основі високоміцних вуглецевих волокон та тканин рівномірної структури з плетінням типу twill. Як матеріал елементів ущільнення – фторопласт марки Ф4 (політетрафторетилен)

наповнений на 25% вуглецевим порошком з метою підвищення зносостійкості та стійкості до екструзії.

Враховуючи особливість конструкції та умови роботи рознімного фланцевого з'єднання, а саме, багаторазова криогенна стабілізація та її циклічне повторення, розроблено дослідну конструкцію композитного фланця криогенного трубопроводу пропускною здатністю  $\varnothing 146$  мм. Особливу увагу приділено герметизації композитного фланця та забезпечення працездатності за умов криогенних температур. Досліджено фланцеве ущільнення з профілем PRS19 та PRS19B з матеріалу PTFE-25%T125-C25 carbon grey.

До класу фланцевих ущільнень, крім їх геометричних параметрів поверхонь для встановлення, пред'являються додаткові вимоги щодо їх точності та шорсткості [3]. Так, для такого середовища як рідкий азот, визначено параметр шорсткості поверхні для встановлення ущільнення, що становить Ra 0.63-0.8, а для газоподібного гелію Ra 0.16-0.32. При цьому також відмічено вимогу до самого профілю формування шорсткості та бази вимірювань. Отримання поверхні такої чистоти для вуглепластика вимагає додаткової поверхневої механічної обробки та попередньої підготовки матеріалу. За результатами вимірювань за допомогою профілометра та мікроскопічних досліджень поверхні вуглепластику композитного фланцю встановлено, що з огляду на особливість структури плетіння тканини в зовнішньому шарі неминуче формуються поверхневі смоляні раковини шириною від 0.1 до 0.3 мм та глибиною в половину моношару тканини. Також відзначено незначне порушення площинності поверхні контакту під установку ущільнення, що виникла через внутрішні напруження та деформації матеріалу фланцю через різний коефіцієнт лінійного температурного розширення в межах всієї площини контакту з ущільненням, що визначено різною схемою армування деталей що знаходяться в з'єднанні.

Випробування проходило два конструктивно-подібних макета фланцевого з'єднання криогенного трубопроводу. Основним критерієм оцінки працездатності конструкції було дослідження герметичності при надмірному тиску гелію 1.15МПа після виконання 10 циклів заправки/злив рідким азотом при тиску 1.5 МПа. Додатково виконано повне заправлення, та витримку конструкції під надмірним тиском рідкого кисню 1.5 МПа.

Додатково проводили структурний аналіз поверхні на зразках конструкцій з вуглепластика за результатом якого виявлено, що при впливі криогенного середовища виникають мікроструктурі пошкодження поверхні та приведені технологічні рекомендації щодо їх усунення.



Встановлено, що проведені випробування на герметичність газоподібним гелієм після виконання температурного циклування підтвердили працездатність фланцевих ущільнень PRS19 та PRS19B в контакті з вуглепластиком. Вітік гелію не виявлено як за допомогою гелієвого течешукача, так і методом спаду тиску. Додатково виконано випробування розрахунковим навантаженням, що дорівнює 1.9 МПа надлишковим тиском води, при цьому руйнування або втрата герметичності конструкції не відбулася.

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто питання забезпечення герметичності фланцевого рознімного з'єднання з вуглепластику для криогенних компонентів палива.

Проведені експериментальні дослідження та структурний аналіз поверхні вуглепластикового фланцю дозволили забезпечити герметичність конструкції як в умовах криогенних температур, так і під час перевірки гелієм.

Прийняте конструктивне виконання з легкістю масштабується для будь-якого типу і розміру рознімних фланцевих з'єднань з вуглепластику для криогенних трубопроводів і паливних баків, а дослідження та методологія, що проводиться, служить основою для подальших розробок.

## ПОСИЛАННЯ

1. Гагауз П. М., Гагауз Ф. М., Карпов Я. С., Кривенда Я. С. Проектирование и конструирование изделий из композиционных материалов. Теория и практика: учебник/ П. М. Гагауз, Ф. М. Гагауз, Я. С. Карпов, С. П. Кривенда, под общей редакцией Я. С. Карпова: Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им Н. Е. Жуковского, 2015. 672 с.
2. Карпов Я. С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник / Я. С. Карпов.: Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. Авиаци. ин-т», 2010. 768 с.
3. Carbon Fiber Pipes Characteristics Research Under cyclic pressure action. Journal of Modern Approaches on Material Science, 2 (1) 2019: MAMS.MS.ID.000129, p. 178-181.

## **АВТОМАТИЗОВАНІ СТЕНДИ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

*Володимир Степанович Дудніков*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

У робототехнічних системах широко використовуються електро-механічні приводи поступального та обертового рухів. У приводах поступального переміщення найчастіше використовуються гвинтові передачі як з тертям ковзання, так і з тертям кочення [1, 2]. Усі приводи при їх відпрацюванні, перед тим як бути встановленими до складу робототехнічної системи, піддаються випробуванням на працездатність, зокрема, на довговічність за критерієм зношування, на спеціально розроблених стендах [3].

Відомі стенди для проведення статичних або малорухливих випробувань гвинтових передач [4, с.186 – 187, рис. 92а]. У найбільш простій конструкції стенда передача своєю веденою ланкою через динамометр з'єднується з основою, а навантаження на ведучий ланці створюється тарованим вантажем, утворюючим пару сил. Навантаження змінюється дискретно, не можна здійснювати програмне навантаження у часі. Для проведення динамічних (під дією навантаження) випробувань гвинтова передача отримує рушійний обертаючий момент і своєю вихідною ланкою з'єднується з навантажувачем [4, с. 190 – 191, рис. 95]. Навантажувач зазвичай виконують пружинним, пневматичним, гідравлічним. Однак пружинний навантажувач не забезпечує сталість випробного навантаження, при великих навантаженнях і ходах випробовуваної передачі він виходить дуже громіздким. Не забезпечується програмне навантаження у часі. Пружинний навантажувач небезпечний в експлуатації, наприклад при аварійному розриві вихідної ланки випробовуваної передачі. Неможливо реверсувати навантаження, внаслідок чого випробовувана передача буде працювати тільки однією бічною поверхнею нарізі.

Пневматичний або гідравлічний навантажувач для створення великих зусиль вимагає великих тисків робочого середовища (відповідно повітря і рідини), що ускладнює їх конструкцію, експлуатацію, збільшує розміри. Також є джерелами підвищеної небезпеки при аварійному розриві вихідної ланки випробовуваної передачі. Утруднено реверсування випробувального зусилля.

Відомий стенд для випробування гвинтових передач [5]. Стенд містить основу, на якій закріплені випробуваний гвинтовий механізм і навантажувальний пристрій. Навантажувальний пристрій виконано

у вигляді електромагніту постійного струму, сердечник якого встановлений з можливістю переміщення разом з гайкою випробовуваної гвинтової передачі, і пружини розтягування, пов'язаної також з гайкою та основою. Стверджується, що при цьому створюється постійне за величиною навантаження. Це навантаження складається з зусилля розтягнутої пружини і електромагнітної сили, яка прагне втягнути сердечник назад в обмотку електромагніту.

Недоліком відомого стенда є його індивідуальність (для кожної гвинтової передачі потрібні свої за характеристиками пружини розтягування та електромагніт), випробувальне навантаження залишається постійним тільки на деякій обмеженій ділянці робочого ходу гвинтової передачі, незначна величина випробувального навантаження, неможливість реверсування (зміна напрямку) випробувального навантаження, що не дає можливості навантажувати другу робочу сторону профілю нарізі.

Була поставлена задача забезпечення універсальності випробувального стенда, що дозволяє випробувати різноманітні гвинтові механізми, з великим діапазоном осьових навантажень, з постійністю навантажень на всьому робочому ході механізмів, з можливістю програмної зміни навантаження, а також реверсування навантаження. Поставлена задача вирішується тим, що у відомому стенді для випробування гвинтових механізмів, що включає основу, на якій закріплені випробовуваний гвинтовий механізм і навантажувальний пристрій, згідно з корисною моделлю, навантажувальний пристрій виконано у вигляді несамогальмівної передачі гвинт-гайка, гвинт якої жорстко з'єднаний з штоком випробовуваного механізму, що поступально переміщується, а гайка, яка встановлена на основі з можливістю обертання, за допомогою зубчастого мультиплікатора з'єднана з гальмом обертального руху, наприклад з керованим електромагнітним порошковим гальмом.

Між штоком випробовуваного механізму та гвинтом несамогальмівної передачі гвинт-гайка встановлено реверсивний силовимірвальний пристрій, а на гвинті несамогальмівної передачі виконаний поздовжній паз під направляючу шпонку, закріплену на основі. Суть технічного рішення пояснюється кресленням (рис. 1), на якому пропонується стенд зображений схематично. Стенд включає основу 1, на якій закріплені випробовуваний електропривод поступального переміщення на основі гвинтового механізму 2, і навантажувальний пристрій 3. Електропривід 2 містить електродвигун 4, з'єднаний з ним гвинт 5, що обертається, гайку 6, закріплену в штоку 7, що може поступально переміщатися по направляючій шпонці 8 відносно корпусу 9. Переміщення штока 7 обмежується двома кінцевими вимикачами

10, 11. Між приводом 2 і навантажувальним пристроєм 3 встановлено реверсивний силовимірювальний пристрій 12.

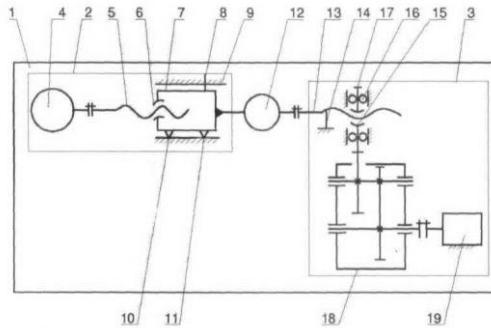


Рисунок 1 – Схематичне зображення стенду

Навантажувальний пристрій 3 містить самогальмівну передачу гвинт-гайка, наприклад тертя кочення або багатозахідну передачу тертя ковзання, гвинт 13 який жорстко з'єднаний з пристроєм 12. На гвинті 13 виконано поздовжній паз під направляючу шпонку 14, закріплену на основі 1. Гайка 15 самогальмівної передачі закріплена на основі 1 з можливістю обертання в підшипниках 16. На гайці 15 розміщується зубчастий вінець 17, що зачіпляється із зубчастим колесом зубчастого мультиплікатора 18. Зубчастий мультиплікатор 18 за допомогою муфти з'єднаний з електромагнітним порошковим гальмом 19. Зубчастий мультиплікатор 18 може бути виконаний багатоступеневим або у вигляді коробки передач для зміни передавального відношення.

Стенд працює таким чином. При включенні електродвигуна 4 починає обертатися вал 5. У зачепленні з гайкою 6 обертальний рух перетворюється в поступальне переміщення штока 7 відносно корпусу 9. Поступальне переміщення штока 7 через силовимірювальний пристрій 12 передається гвинту 13 самогальмівної передачі гвинт-гайка. Поступальне переміщення гвинта 13 перетворюється в обертальний рух гайки 15, встановленої в підшипниках 16. Обертання гайки 15 за допомогою зубчастого вінця 17 передається зубчастому мультиплікатору 18, а від нього порошковому гальму 19. При вимкненому гальмі 19 гвинт 5 і гайка 6 навантажені невеликим осьовим зусиллям, що визначене величиною залишкового моменту тертя в гальмі і втратами в рухомих з'єднаннях кінематичного ланцюга стенда.

При включенні гальма 19, керуючи величиною поданої напруги

живлення, можна регулювати величину створюваного моменту тертя в гальмі, а, отже, і величину осьового зусилля в випробувальному механізмі. Величина випробувального осьового зусилля фіксується силувимірвальним пристроєм 12. При досягненні штоком 7 своїх гранично допустимих положень спрацьовують кінцеві вимикачі 10, 11, які подають сигнал на зупинку двигуна 4 та його реверсування. При реверсуванні двигуна 4 відбувається реверсування напрямку переміщення гвинта 13, обертання гайки 15, мультиплікатора 18, гальма 19. Зміна напрямку обертання ротора гальма не призводить до зміни величини створюваного гальмівного моменту. Момент тертя між гайкою 15 і гвинтом 13 сприймається шпонкою 14 і замикається на основу 1.

У пропонованому стенді випробувальне навантаження створюється ходом самого механізму, що випробовується. Якщо він не працює, то навантаження на нього відсутнє. Це забезпечує безпеку експлуатації стенда. Так, наприклад, при розриві валу механізму, що випробовується, елементи навантажувача не отримують поступальних переміщень, а навантаження відразу ж обнуляється. Повністю виключається можливість надмірного, аварійного, зростання випробного навантаження при виході з ладу порошкового гальма, так як він створює гальмівний момент тільки при наявності електричного живлення, а сама його конструкція виключає механічне заклинювання частин.

Використання як навантажувача несамогальмівної передачі гвинт-гайка, гайка якої обертається і при цьому гальмується, значно спрощує конструкцію самого стенда та його експлуатацію. Відпадає необхідність у розробці спеціальних потужних гальмівних пристроїв поступального переміщення. Як гальмівні можуть використовуватися не тільки електромагнітні порошкові, а й будь-які інші серійні загальнодоступні гальма обертального принципу дії.

Використання ж керованих порошкових гальм дозволяє здійснювати будь-яке програмне навантаження в часі, що дає можливість імітувати експлуатаційні закони навантаження випробовуваного приводу поступального переміщення. Це підвищує достовірність експериментальної інформації про технічні характеристики і можливості досліджуваного електроприводу. Можливість дистанційного електричного керування гальмом забезпечує безпеку випробувань.

Стенд відрізняється універсальністю, оскільки дозволяє при одному і тому ж гальмі випробовувати приводи з різними рівнями максимальних навантажень. Для досягнення цих можливостей його зубчастий мультиплікатор може бути забезпечений комплектом змінних шестерен або виконаний у вигляді коробки передач. Виконання мультиплікатора у вигляді коробки передач дозволяє уникнути ремонту навантажувача. Можливість варіювання параметрами (кроком,

числом заходів, діаметром) стенової гвинтової передачі дозволяє отримувати значні випробувальні осьові зусилля при малих значеннях гальмівного моменту, а, отже, малих габаритах і вазі гальма [6].

Відомий стенд для випробування гвинтових механізмів, що містить станину, на якій закріплені привід обертання, випробовуваний гвинтовий механізм, гідравлічний навантажувальний пристрій, виконаний у вигляді гідроциліндра двосторонньої дії, до обох порожнин якого підведені підвідні-відвідні гідролінії з встановленими в них регульованими дроселями, при цьому шток навантажувального пристрою кінематично пов'язаний з поступально рухомим елементом гвинтового механізму [7, фіг. 2].

Як привід обертання використовується навантажувальна гідромашина, забезпечена своєю системою гідроживлення через розподільник. Таким чином, є дві гідравлічні системи, взаємодія яких здійснюється за допомогою складної системи управління, що містить імпульсні датчики положення, цифро-аналогові перетворювачі, комутатор, блоки порівняння.

Недоліком відомого стенда є його складність, наявність безлічі допоміжних елементів системи управління, розгалуженість гідравлічних магістралей, підвищена витрата енергії для роботи двох незалежних гідронасосів, що забезпечують роботу двох самостійних гідравлічних систем живлення.

Поставлена задача спрощення конструкції і системи управління, зниження витрат енергії на функціонування стенда.

Поставлена задача вирішується тим, що в стенді для випробування гвинтових механізмів, який містить станину, на якій закріплені привід обертання, випробовуваний гвинтовий механізм, гідравлічний навантажувальний пристрій, виконаний у вигляді гідроциліндра двосторонньої дії, до обох порожнин якого підведені підвідні-відвідні гідролінії, при цьому шток навантажувального пристрою кінематично пов'язаний з поступально рухомим елементом гвинтового механізму, згідно з корисною моделлю, підвідні-відвідні гідролінії з'єднані між собою за допомогою кульового крана, що виконує роль регульованих дроселів. Крім того, гідроциліндр виконаний двоштоковим.

Суть технічного рішення пояснюється кресленням (рис 2), на якому пропонується стенд зображений схематично.

Стенд містить станину 1, на якій закріплений привід обертання 2 у вигляді електродвигуна, випробовуваний гвинтовий механізм 3, гідравлічний навантажувальний пристрій 4. Електродвигун 2 кінематично з'єднаний з обертовим гвинтом 5 гвинтового механізму 3, гайка 6 якого жорстко з'єднана зі штоком 7, який поступально переміщається відносно корпусу 8 по направляючій шпонці 9. На корпусі 8 закріплені

кінцеві вимикачі 10, 11, які при досягненні штоком 7 своїх крайніх робочих положень подають сигнал на реверсування електродвигуна 2.

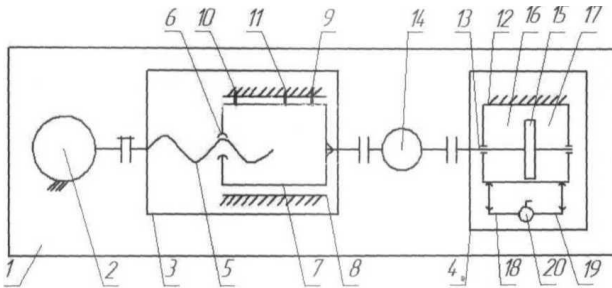


Рисунок 2 – Схема стенду з гідралічним навантажувачем

Навантажуючий пристрій 4 виконано у вигляді двостороннього гідроциліндра 12, шток якого 13 кінематично пов'язаний зі штоком 7 гвинтового механізму, при цьому між ними встановлено силовимірювальний пристрій 14. Поршень 15 ділить об'єм циліндра на дві порожнини 16, 17, до яких підведені підвідні-відвідні гідролінії 18, 19 відповідно. Гідролінії 18, 19 з'єднуються між собою за допомогою кульового крана 20, який виконує функцію регульованих дроселів в кожній з гідроліній. Шток 13 виконано двостороннім.

Стенд працює таким чином. У початковому стані обидві порожнини гідроциліндра 16, 17 і гідролінії 18, 19 повністю заповнені рідиною, а кульовий кран 20 повністю відкритий. При вмиканні електродвигуна 2 обертальний рух гвинта 5 з допомогою гайки 6 перетворюється в поступальне переміщення штока 7 відносно корпусу 8 гвинтового механізму 3. Поступальне переміщення штоку 7 через силовимірювальний пристрій 14 передається штоку 13 і поршню 15. Поршень, що переміщується, 15 витісняє рідину з порожнин 16 або 17 (залежно від напрямку переміщення поршня 15) через підвідні-відвідні гідролінії 18, 19 відповідно. При повністю відкритому кульовому крані 20 роль нерегульованих дроселів виконують самі підвідні-відвідні гідролінії 18, 19. Створюваний ними гідралічний опір визначається площею прохідного перерізу гідроліній. У порожнинах 16 або 17 при перекачуванні рідини в іншу порожнину через дросель створюється гідралічний тиск, що діє на ефективну площу штока 15, завдяки чому на штоку 13 створюється гальмівне осьове зусилля, навантажує шток 7 гвинтової передачі. Величина створюваного гальмівного (навантажуючого) зусилля фіксується силовимірювальним пристроєм 14.

При повороті кульового крану 20 відбувається зменшення площі його прохідного перерізу, що призводить до збільшення протитиску в порожнинах 16, 17 гідроциліндра, та, відповідно, до збільшення гальмівного зусилля. Поворот крана 20 здійснюють до тих пір, поки не буде досягнуто задане значення випробувального зусилля. Після цього робота стенду здійснюється в автоматичному режимі. При досягненні штоком 7 своїх крайніх робочих положень спрацьовують кінцеві вимикачі 10, 11, які по ланцюгу зворотного зв'язку в системі управління подають команду на реверсування електродвигуна 2. При необхідності зміни величини випробувального навантаження встановлюють нове положення кульового крану. При ресурсних випробуваннях гвинтового механізму стенд може бути обладнаний лічильником циклів подвійних ходів штока 7.

При реверсуванні електродвигуна 2 автоматично відбувається реверсування випробувального навантаження, внаслідок чого при випробуваннях працюють обидві бічні поверхні витків нарізі.

Запропонована конструкція стенду відрізняється простотою, універсальністю, дозволяє регулювати випробувальне зусилля в широких межах, що не вимагає витрат енергії на функціонування гідравлічного навантажувального пристрою [8].

Відомий стенд для одночасного випробовування двох електроприводів, що включає станину, на якій встановлено два однакових електроприводи обертального типу, вихідні ланки яких кінематично пов'язані між собою [3, с. 80, рис. 2.37]. Електроприводи являють собою фланцеві електродвигуни змінного струму, з'єднані з несамогальмівними черв'ячними редукторами. Приводи з'єднані між собою за допомогою стендового редуктора з передавальним числом, рівним одиниці. Електродвигун черв'ячного редуктора, вал черв'ячного колеса якого з'єднаний з тим валом стендового редуктора, на якому розташоване колесо з меншим числом зубів, приводить в обертання з надсинхронною швидкістю двигун іншого редуктора, що виконує роль гальмівного генератора. Таким чином, один з приводів служить для створення навантаження на другий електропривод.

Недоліком відомого стенда є його повна непрацездатність для самогальмівних приводів як обертального, так і поступального типів.

У зв'язку з цим поставлена задача забезпечення працездатності стенда при одночасному випробуванні двох самогальмівних електроприводів як обертового, так і поступального типів.

Поставлена задача вирішується тим, що стенд для одночасного випробування двох електроприводів, що включає станину, на якій встановлено два однакових електропривода поступального або обертального типу, вихідні ланки яких кінематично пов'язані між собою,



забезпечений системою управління взаємодією приводів, яка включає пристрій для задання випробувального навантаження, вимірювання створюваного навантаження і порівняння останніх по кожному з приводів, при цьому кожен пристрій для вимірювання навантаження встановлено послідовно з вихідною ланкою і жорстко пов'язане з нею, а пристрої для задання навантаження налаштовані на величини, що відрізняються між собою не менше, ніж на величину чутливості системи управління, і забезпечені перемикачем для перехресного їх підключення.

Крім того, в системі управління задіяні кінцеві вимикачі одного з випробовуваних електроприводів поступального типу. Електроприводи поступального типу можуть бути встановлені паралельно між собою, а їх вихідні ланки з'єднані між собою хитним рівноплечим коромислом, пов'язаним зі станиною. Приводи поступального типу можуть бути встановлені співвісно один до одного і з'єднані між собою. Суть запропонованого технічного рішення пояснюється кресленнями, де на рис. 3 схематично зображений стенд з паралельним розташуванням електроприводів, а на рис. 4 - зі співвісним розташуванням.

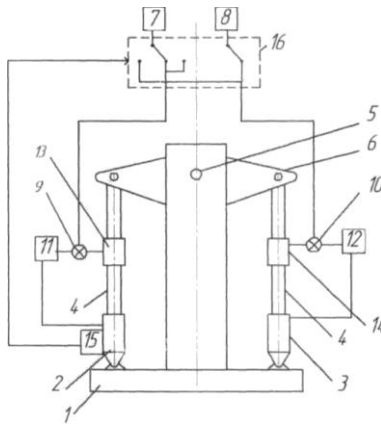


Рисунок 3 – Схема стенду з паралельним розташуванням електроприводів

Стенд (рис. 3) містить станину 1, на якій встановлено два однакових електроприводи поступального переміщення 2, 3. Приводи 2, 3 приєднані шарнірно до станини 1 одним кінцем. Приводи 2, 3 встановлені на станині 1 так, що їхні осі (вихідні ланки 4) паралельні один одному або співвісні (рис. 4). У першому випадку вихідні ланки 4 з'єднані між собою хитним відносно осі 5 рівноплечим коромислом 6.

Система управління роботою станда містить два ідентичних автономних контури регулювання, в кожний з яких по одному входять пристрої 7, 8 для задання випробного навантаження, пристрої 9, 10 для порівняння заданого і дійсного навантаження, блоки 11, 12 підсилювачів сигналу помилок, електроприводи 2, 3, пристрої 13, 14 для вимірювання навантаження, що є датчиками зворотного зв'язку.

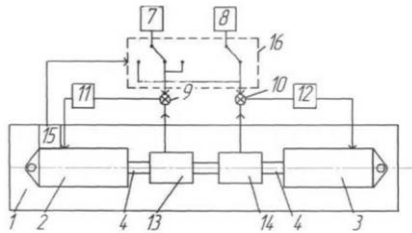


Рисунок 4 – Схема станду зі співвісним розташуванням електроприводів

Для забезпечення реверсу в системі задіяні кінцеві вимикачі 15, що спрацьовують при крайніх робочих положеннях вихідної ланки 4 одного з електроприводів, наприклад 2, а також перемикач 16 для перехресної подачі сигналів з пристроїв 7, 8 на блоки порівняння 9, 10.

Станд працює таким чином. Заданий рівень навантажень на пристроях 7, 8 при включенні станда досягається за рахунок зведення до нуля сигналів помилок на входах блоків 11, 12. Якщо рівні заданих навантажень однакові, то після їх досягнення приводи 2, 3 вимикаються. Зменшення або збільшення рівня навантаження на одному з пристроїв 7 або 8, навіть на величину чутливості контурів, призводить до включення в роботу електроприводів 2, 3, які прагнуть компенсувати перерегулювання і недорегулювання по зусиллю на вихідних ланках сторони зубів в приводах обертального переміщення або витків нарізі в приводах поступального переміщення. Якщо приводи мають однакову швидкодію, то їх робота здійснюється плавно і безперервно з малими змінами (в межах різниці рівнів налаштування контурів регулювання) заданих навантажень. Якщо ж швидкодія приводів відмінна, то можлива робота їх з зупинками, реверсами.

Станд дозволяє проводити випробування самогальмуючих електроприводів обертового і поступального типів. Випробуванням піддаються одразу два електроприводи. Станд не вимагає застосування спеціальних гальмівних (навантажувальних) пристроїв. Як навантажувальний пристрій використовується другий випробуваний електропривід. Випробувальне навантаження змінюється в широких

межах за величиною, крім того, воно може бути знаковим. Система управління стендом забезпечує автоматичне реверсування приводів поступального переміщення при досягненні ними своїх крайніх робочих положень, а також реверсування випробного навантаження [9].

Розглянуті існуючі стенди для випробувань електромеханічних приводів поступального і обертового рухів робототехнічних систем, їх переваги і недоліки. Розроблені удосконалення деяких стендів. Технічні рішення визнані винаходами [6, 8, 9].

## ПОСИЛАННЯ

1. Детали и механизмы роботов: Основы расчета, конструирования и технологии производства / Р. С. Веселков, Т. Н. Гонтаровская, В. П. Гонтаровский и др. Под ред. Б. В. Самопкина. – К.: Выща шк., 1990. – 343 с.

2. Механика промышленных роботов: учеб. пособие для вузов: кн. 2. Расчет и проектирование механизмов / Е. И. Воробьев, О. Д. Егоров, С. А. Попов. – М.: Высшая школа, 1988. - 367 с.

3. Машины и стенды для испытания деталей / под ред. Д. Н. Решетова. - М.: Машиностроение, 1979.–343 с.

4. Турпаев А. И. Винтовые механизмы и передачи. - М: Машиностроение, 1982. – 224 с.

5. А. С. СССР № 1310666 А1, С01М 13/02. Стенд для испытания винтовых передач / Л. Е. Пелевин, заявл. 29.10-85; опубл. 15.05.87. Бюл. № 18.

6. Патент України №103260, G01М 13/02 на корисну модель «Стенд для випробувань гвинтових механізмів», Дудніков В. С., Шевцов М. С.; № u201505391; заявл. 02.06.2015; опубл. 10.12.2015. Бюл. №23.

7. А. С. СССР № 985485, F16В 19/00. Стенд для испытания винтовых преобразователей / В. М. Рюмшин, А. Н. Левин, С. М. Беспечный; заявл. 26.09.1980; опубл. 30.12.1982.

8. Патент України №104268, G01М 13/02 на корисну модель «Стенд для випробувань гвинтових механізмів», Дудніков В. С., Шевцов М.С.; № u201505390; заявл. 02.06.2015; опубл. 25.01.2016. Бюл. №2.

9. Патент України №103222, G01М 13/02 на корисну модель «Стенд для одночасного випробування двох електроприводів», Дудніков В. С., Шевцов М. С.; № u201505059; заявл. 25.05.2015; опубл. 10.12.2015. Бюл. №23.

## ПІДШИПНИКОВІ ВУЗЛИ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

*Володимир Степанович Дудніков*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

До складу конструкції сучасних робототехнічних і механотронних систем входить безліч підшипникових вузлів з підшипниками кочення [1,2]. Працездатність, а саме надійність і довговічність робототехнічних систем, значною мірою визначається працездатністю зазначених підшипникових вузлів. Підшипникові вузли, як правило, навантажені комбінованим навантаженням, тобто радіальним й осьовим. Співвідношення цих навантажень міняється від вузла до вузла [3,4]. Розглянемо деякі питання забезпечення і підвищення працездатності підшипникових вузлів.

Наявність зазорів у підшипнику, утворення початкових пружних деформацій тіл кочення і робочих поверхонь кілець підшипника в місцях їхнього контакту під дією робочого навантаження викликає осьові і радіальні вібрації валу, що неприпустимі в ряді вузлів робототехнічних систем. Особливість підшипників кочення полягає в тому, що їхня жорсткість може бути значно підвищена спеціальним регулюванням, названим попереднім натягом.

Сутність попереднього натягу полягає в тому, що пара підшипників ще при установці у вузол одержує попереднє осьове навантаження, що не тільки знищує осьову гру в парному комплекті підшипників, але і викликає деяку початкову пружну деформацію в місцях контакту робочих поверхонь кілець з тілами кочення. Попередній натяг збільшує внутрішнє тертя в підшипниках (особливо в роликівих конічних); однак це викликає збільшення енергетичних утрат тільки при холостому обертанні підшипника чи при незначному осьовому навантаженні. Під дією робочого навантаження вплив попереднього натягу на внутрішнє тертя практично не позначається.

Загальний принцип здійснення попереднього натягу підшипників полягає в тім, що одне з кілець (внутрішнє чи зовнішнє) примусово зміщується в осьовому напрямку щодо іншого на задану величину, що відповідає визначеному значенню попереднього натягу. Примусове осьове зміщення одного кільця підшипника щодо іншого досягається додатком до кільця, що зміщується, постійного попереднього навантаження, величина якого підраховується по формулі

$$A_{omin} = 1,58 \operatorname{tg}\beta R \pm 0,5A, \quad (1)$$

де  $R$  - діюче радіальне навантаження на підшипник;  $A$  - діюче осьове навантаження;  $\beta$  - кут між прямою, що проходить через крапки торкання кульки з доріжками кочення, і площиною центрів кульок (розрахунковий кут контакту).

В даний час використовуються в основному наступні методи здійснення попереднього натягу радіальних і радіально-упорних шарико-підшипників [5]:

- установка прокладки, що поміщається між внутрішніми чи зовнішніми кільцями спареного комплекту підшипників, застосовується, коли підшипники встановлюються у вузлі поруч. Застосовуючи прокладки різної товщини, можна використовувати той самий парний комплект підшипників для здійснення натягу різної величини;

- установка розпірних втулок різної довжини, що поміщаються між внутрішніми і зовнішніми кільцями парного комплекту підшипників, застосовується у випадках, коли для підвищення жорсткості вузла підшипники парного комплекту встановлюються на деякій відстані друг від друга;

- шліфування торців внутрішніх чи зовнішніх кілець парного комплекту підшипників (зміна ширини кілець у кожного підшипника), при цьому в результаті зміни ширини кілець парний комплект одержує заздалегідь установлену величину попереднього натягу, змінити який можна прокладками між внутрішніми чи зовнішніми кільцями парного комплекту );

- установка пружин, що постійно діють на зовнішнє кільце, застосовується у вузлах, де потрібно збереження сталості величини натягу поза залежністю від зносу підшипника.

Прокладки повинні виготовлятися з каліброваного листового металу. Точність виготовлення розпірних втулок по довжині повинна знаходитися в межах 0,05 мм. Товщина втулок повинна бути достатньої для усунення якої-небудь помітної деформації стиску. Непаралельність торців втулки між собою, а також не перпендикулярність торців щодо осі втулки в межах від 0,02 до 0,03 мм. При даних методах здійснення попереднього натягу підшипники повинні бути підібрані попарно, по можливості з однаковими допусками на ширину кілець і непаралельність торцевих поверхонь, а також по можливості з однаковими значеннями бічного биття торців.

У випадку використання однорядних кулькових підшипників необхідно, щоб їхні радіальні зазори мали трохи підвищену величину, тому що тільки в цьому випадку ці підшипники здобувають здатність сприймати значні осьові навантаження.

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 строєні 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 кожному окремо узятому підшипнику виникають більш-менш однакові контактні напруги.

Аналіз контактних напруг, що виникають у підшипниках здвоєного чи строєного 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.

На практиці нерідко прибігали до методу комплектування підшипників шляхом установки між ними дистанційних кілець, що компенсують, чи шляхом відповідної підшлифовки торців чи добірки кілець підшипників. Товщини дистанційних кілець чи величини підшлифовки торців встановлюються в строгій відповідності з величинами відносного виступу торців у кожного підшипника, обмірюваними при початковому контактуванні кульок – без навантаження.

Завдяки цьому методу всі підшипники в комплекті з'єднуються в одне ціле при одночасному початковому контактуванні в них кульок і, отже, одночасному сприйнятті зовнішнього навантаження. Однак цей метод не є ефективним, тому що при ньому забезпечується лише рівна контактна осьова деформація в підшипниках, при якій контактні напруги не зрівнюються і можуть коливатися в значних межах. Так, у підшипнику з великим кутом контакту чи з жолобами відносно великої кривизни напруга буде більше, ніж у підшипнику з меншим кутом контакту чи з жолобами відносно малої кривизни.

На практиці іноді використовується також і інший метод комплектування підшипників, заснований на принципі рівномірного розподілу зовнішнього осьового навантаження між підшипниками в комплекті. Досягається це застосуванням дистанційних кілець, що компенсують, чи ж підшлифовкою торців кожного підшипника, зміщених під дією попереднього осьового навантаження  $A_0$ , рівному зовнішньому навантаженню  $A$ , діленому на кількість підшипників у комплекті. На жаль, і цей метод не забезпечує умови можливого вирівнювання контактних напруг в підшипниках.

Питання багаторядної установки підшипників з метою збільшення несучої здатності підшипникових вузлів і зменшення навантаження на кожен підшипник розглянуті в роботі [6]. Підкреслюється, що сутужніше домогтися рівномірного розподілу осьового навантаження. При неточному виготовленні і монтажі осьове навантаження

сприймається тільки одним підшипником, інші підшипники не беруть участь у роботі чи беруть участь у незначному ступені.

### **Підшипниковий вузол з двома шариковими радіальними підшипниками**

Відома опора валу, що містить вал, два жорстко закріплених на ньому радіально-упорних підшипника кочення, корпус, у якому змонтована система розподілу зовнішнього осьового зусилля між двома підшипниками [7]. Система розподілу зусилля дуже складна конструктивно, а тому ненадійна. Вона містить у собі малогабаритні кулькові елементи, що і визначають навантажувальну здатність усього пристрою, а не підшипники кочення як такі. Система не може забезпечити рівномірність розподілу зусилля, тому що при повороті важелів, що передають зусилля від одного підшипника до іншого, неминуче порушується рівність їхніх пліч.

Відомий завязаний підшипниковий вузол, що містить дві пари послідовно встановлених конічних роликів підшипників, поставлених за схемою "тандем", зустрічно один одному, а також систему розподілу осьового навантаження між підшипниками шляхом групового індивідуального підтиснення зовнішніх кілець підшипників за допомогою рівномірно розташованих болтів або різьбових кілець [8].

Дана система розподілу навантаження дуже складна, не має об'єктивного критерію для оцінки створеного попереднього натягу, вимагає установки внутрішнього кільця одного з підшипників на валові по посадці з гарантованим зазором, що неприпустимо для циркуляційно навантажених кілець підшипників кочення [9]. Відомий також підшипниковий вузол, що містить послідовно встановлені в корпусі два шарикопідшипника, внутрішні кільця яких жорстко змонтовані на валові, а між зовнішніми кільцями встановлений попередньо стиснутий пружний елемент, при цьому зовнішнє кільце одного з підшипників виконано плаваючим, а іншого - жорстко змонтовано в корпусі [6, с.496, рис. 462a]. При впливі на такий вузол осьового зусилля з боку підшипника з зовнішнім кільцем, що плаває, рівного зусиллю попереднього натягу, інший підшипник звільняється від осьового навантаження, при цьому він не сприймає і радіальне навантаження.

При зміні напрямку зовнішнього осьового навантаження на протилежне воно цілком сприймається цим другим підшипником, а підшипник з плаваючим зовнішнім кільцем не сприймає зовнішнє навантаження. Таким чином, актуальною є задача забезпечення рівномірного розподілу зовнішнього осьового навантаження між двома підшипниками при будь-якому його напрямку.

Поставлена задача вирішується тим, що у підшипниковому вузлі, який містить послідовно встановлені в корпусі два шарикопідшипника, внутрішні кільця яких жорстко зафіксовані на валові, а між зовнішніми кільцями встановлений попередньо стиснутий пружний елемент, зовнішні кільця встановлені між двома твердими упорами корпусу з можливістю осьового переміщення назустріч один одному, а пружний елемент встановлений з можливістю створення розпирного зусилля на зовнішні кільця, що дорівнює половині експлуатаційного осьового зусилля на підшипниковий вузол.

Суть пропонованого технічного рішення пояснюється кресленнями. На рис. 1 показано взаємне розташування елементів підшипників вузла при відсутності зовнішнього осьового навантаження. На рис. 2 показано взаємне розташування тих же елементів при навантаженні вузла зовнішнім навантаженням.

Підшипниковий вузол складається з корпусу 1, валу 2, двох кулькових підшипників 3,4. Внутрішні кільця підшипників 5,6, розділені твердою дистанційною втулкою 7, жорстко закріплені між виступами 8,9 валу 2. Між зовнішніми кільцями 10,11 підшипників 3,4 установлений попередньо стиснутий пружний елемент, виконаний у виді пружини стиску 12. Кільця 10,11 розташовуються між твердими упорами 13,14 корпусу 1 з можливістю осьового переміщення назустріч один одному. Пружина 12 створює розпірне зусилля  $Q$  на зовнішні кільця 10,11 підшипників, притискаючи їх торцями до упорів 13,14 корпусу 1. Взаємне розташування кульок, зовнішніх і внутрішніх кілець підшипників при відсутності зовнішнього осьового навантаження показано на рис. 1.

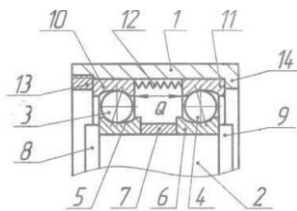


Рисунок 1 – Підшипниковий вузол без зовнішнього навантаження

Підшипниковий вузол працює в такий спосіб. При дії на підшипниковий вузол зовнішнього осьового навантаження  $P$  (показано стрілкою) воно через виступ 8 валу 2 передається кільцю 5 підшипника 3, потім через кульки зовнішньому кільцю 10, що зміщується щодо корпусу 1, відходячи при цьому від упору 13 і стискаючи пружину 12



(рис. 2). Разом з кільцем 5 на ту ж величину зміщується і кільце 6, звільняючи підшипник 4 від осьового зусилля, раніше створюваного пружиною 12. В міру зростання осьового навантаження  $P$  вал зміщується доти, поки не буде обрана осьова гра підшипника 4 і він не стане сприймати осьове навантаження. Розпірне зусилля пружини 12, створене між торцями зовнішніх кілець 10, 11, з однієї сторони притискає кільце 11 до упору 14 корпусу 1, а з іншої сторони через кільце 10, кульки, кільце 5, виступ 8 замикається на валові 2, протидіючи зовнішньому зусиллю  $P$ , розвантажуючи тим самим підшипник 4. Підшипник 3 виявляється навантаженим зусиллям  $Q$ . Тому що відповідно до корисної моделі  $Q=P/2$ , то кожний з підшипників 3, 4 виявляється навантаженим зусиллям  $Q=P/2$ , тобто рівномірно. Завдяки цьому довговічність комплекту кулькових підшипників при дії тільки осьового навантаження зростає в 8 разів.

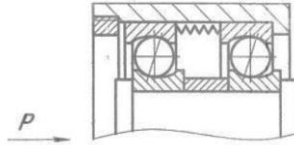


Рисунок 2 – Підшипниковий вузол під дією осьового навантаження

При дії сили  $P$  у зворотному напрямку передача і перерозподіл зусиль між підшипниками 4, 3 відбувається аналогічно показаному вище.

Запропонований підшипниковий вузол забезпечує рівномірний розподіл зовнішнього осьового навантаження між двома підшипниками при будь-якому її напрямку, унаслідок чого довговічність комплекту підшипників при дії тільки осьового зовнішнього навантаження збільшується в 8 разів. Крім того, виключається вплив зносу підшипників на стабільність цього розподілу [10].

## ВИСНОВКИ

Розроблено оригінальна конструкція підшипникового вузла, що відрізняється значним підвищенням довговічності і здатності навантаження при дії зовнішньої осьового навантаження. Це забезпечується за рахунок рівномірності розподілу зовнішньої осьового навантаження між двома підшипниками. Основним елементом системи, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження, є пружина 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 [10].

## ПОСИЛАННЯ

1. Робототехнічні системи: проектування і моделювання [Електронний ресурс] : навч. посібник для студентів спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології. М. М. Поліщук, М. М. Ткач; КПІ ім. Ігоря Сікорського, Електронні текстові дані. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 112 с.

2. Сучасні електромехатронні комплекси і системи; навч. посібник/ Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с.

3. Гайдамака, А. В. Підшипники кочення. Базові знання та напрямки вдосконалення; навч. посіб./ А. В. Гайдамака. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 248 с.

4. Многорядная установка подшипников [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://inzhenery.info.ru/razdely/konstruirovaniye/opory-kacheniya/mnogoryadnaya-ustanovka-podshupnikov.html>.

5. Бейзельман, Р.Д. Подшипники качения. Справочник/ Р. Д. Бейзельман, Б. В. Цыпкин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М-Л: Машгиз, 1960. – 608 с.

6. Орлов, П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. Кн. 2.– 2-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1977. – 571 с.

7. А. с. 559048 СССР, МКИ5 F16C41/02. Опора вала [текст]/ Ю. С. Хин, З. И. Балашова (СССР). – №2099277; заявл. 15.01.1975; опубл. 25.07.1977; Бюл. №19; – 2 с.: ил.

8. А. с. 1581902 СССР, МКИ5 F16C41/02. Упорный подшипниковый узел [текст]/ А. П. Потапенко (СССР). – №4339838; заявл. 08.12.1987; опубл. 30.07.1990; Бюл. №28. – 5 с.: ил.

9. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин; учеб. Пособие для машиностроит. спец. Вузов/П.Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1985. – 300 с.

10. Пат. 100277 Україна, МПК F16C 25/00. Підшипниковий вузол [текст] / В. С. Дудніков; власник Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара. -№ u 201409610. заявл. 01.09.2014; опубл. 27.07.2015; Бюл. №14.- 4 с.: іл..

## ОСВІТНЯ РОБОТОТЕХНІЧНА ПЛАТФОРМА НА БАЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

*Сергій Вікторович Алексєєнко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0320-989X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Тетяна Михайлівна Кадильникова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0817-9466>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Процеси інтеграції України в європейський освітній простір та перехід на сучасні освітні стандарти, обумовили необхідність кардинальних змін в освітньої галузі. Якість навчального процесу вищої школи в сучасних умовах набуває великого значення, що пов'язано з інтеграцією освіти в промисловий комплекс та підвищенням економічного рівня держави. При цьому сталий розвиток високотехнологічного сектору промисловості кожної держави забезпечує успішність її соціального та економічного розвитку, що потребує наявності висококваліфікованих спеціалістів. Однак, в Україні, як і в багатьох інших державах, нажаль, спостерігається порівняно низька зацікавленість талановитої молоді в освіті за технічними спеціальностями. Необхідно зазначити, що від рівня освіченості молоді залежить як повнота самореалізації кожної окремої людини, так і стандарти життя суспільства в цілому [1].

Підготовка сучасних спеціалістів високої кваліфікації потребує гармонізації в галузі освіти з урахуванням вимог міжнародної та європейської систем стандартів та сертифікації. У відповідності до сучасних соціальних замовлень підготовка фахівців вищої освіти повинна ґрунтуватися на методологічній основі, що потребує удосконалення змісту, форм і методів навчального процесу. Одним із шляхів вирішення зазначеної проблеми в сучасній українській освіті є модернізація навчального процесу, зокрема надання студентам можливості обирати власну траєкторію навчання та широке впровадження в навчальний процес творчо-практичної складової.

**Основне завдання сучасної вищої школи** полягає в наданні змоги студенту осягнути внутрішню логіку предмета, що вивчається, у ретельному доборі навчального матеріалу за принципом життєвої доцільності й функціональності, в активізації ролі самостійного навчання. Варто також урахувати те, що для успішної реальної діяльності сьогодні недостатньо знань і вмінь, необхідні ще віра в себе, у свої сили, здатність ухвалювати рішення, жити й працювати в колективі й

зосереджувати свої зусилля на конкретних завданнях, виявляти проблему, формулювати припущення й вести самостійний чи спільний пошук способів її розв'язання, брати на себе відповідальність за результати дій і вчинків.

Одним із майбутніх шляхів реформування вищої освіти є впровадження в практику роботи ВНЗ творчих освітніх проєктів з метою забезпечення активної участі студентів у навчальному процесі. Творчий освітній проєкт являє собою пакет документів, які відображають процес та результативність особистісного і професійного становлення студента як в процесі засвоєння певної навчальної дисципліни, так і самоосвітньої діяльності в цілому.

Освітній проєкт «Інтелектуальний робот-маніпулятор» є спільним проєктом кафедри механотроніки фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та Інжинірингової школи «Ноосфера», який передбачає створення функціонуючого прототипу студентського інтелектуального робота-маніпулятора (рис. 1).



Рис. 1. Візуалізація зовнішнього вигляду прототипу студентського робота-маніпулятора

Представлений проєкт сфокусований на одному із пріоритетних науково-технічних напрямів розвитку робототехнічних та механотронних систем із подальшим використанням елементів штучного інтелекту, та має на меті сприяння створенню сучасного навчального середовища, підвищенню якості освіти та мотивації студентів до освітнього процесу. Окрім того, важливими завданнями є залучення зацікавлених, високомотивованих вступників на технічні спеціальності Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та популяризація технічних спеціальностей серед випускників шкіл,

коледжів, ВПУ, школярів середнього та старшого віку.

Виконання проєкту включало реалізацію трьох основних частин:

1. Технічної частини, а саме проведення розрахунків, розробку креслень, створення тривимірних моделей, виготовлення (3D друк, механічна обробка).

2. Електричної та електронної складових: розробки електричної схеми, виготовлення необхідних компонентів електричної частини, виконання монтажу.

3. Програмування: створення алгоритмів, застосування технології технічного зору, машинне навчання.

У процесі реалізації проєкту до його виконання були залучені студенти технічних спеціальностей ДНУ імені Олеся Гончара, студенти старших курсів коледжів, ВПТУ. Було виконано і захищено низьку дипломних проєктів.

За результатами досліджень набувається уміння використовувати знання у практичній діяльності, що є складовою частиною освітнього результату. Використання знань у практичній діяльності – завершальний етап їх формування. Освітній результат (компетентність) формується, виявляється й оцінюється в діяльності студентів. На відміну від предметних умінь, компетентність виявляється лише за межами ситуацій, у яких її набуває студент, під час розв'язанні нових задач.

Результати проєкту сприяли популяризації технічної освіти в школах, секціях та гуртках із робототехніки, станціях юних техніків.

Таким чином, основними завданнями та особливостями проєкту стало підвищення зацікавленості студентів в навчальному процесі через впровадження творчо-практичної складової. Надання студентам можливості вже під час навчання в закладі вищої освіти отримати практичні навички зі створення реально функціонуючих високотехнологічних механотронних пристроїв. Окрім покращення засвоєння основних компонентів освітньої програми, набуті навички становлять необхідний потенціал для подальшого створення учасниками проєкту власних стартапів. Також отримані результати надають додаткові можливості проводити науково-дослідну роботу, напрацьовувати матеріал для публікацій, формують базу для участі в студентських конкурсах, подачі заявок на отримання грантів у галузі робототехніки та механотроніки.

## Посилання

1. Інтеграція в європейський освітній простір: здобутки, проблеми, перспективи: Монографія / За заг. ред. Ф.Г. Ващука. – Ужгород: ЗакДУ, 2011. – 560 с.

## **3D ДРУК ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ У РОБОТОТЕХНІЦІ**

*Сергій Вікторович Алексєнко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0320-989X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Галина Іванівна Сокол*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Вікторія Сергіївна Федоріна*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7129-3741>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Сьогодні за допомогою сучасних 3D принтерів можна виготовити практично будь-яку тривимірну деталь за відносно невеликий час. Хоча спочатку технології 3D-друку в основному використовувалися для прототипування, зараз удосконалені технології та матеріали дозволяють друкувати не просто макети, а функціональні вироби, придатні для повсякденної експлуатації [1, 2]. При цьому головною перевагою 3D-друку над традиційними виробничими технологіями вважається принцип «прямого виробництва», коли готові вироби друкуються безпосередньо з цифрових моделей, можуть мати практично будь-яку форму, без відходів матеріалу та необхідності використання інструментів та дорогого оснащення.

Однією з численних сфер застосування технології 3D-друку є освітня робототехніка, що дозволяє розробляти та створювати діючі моделі роботів, і, відповідно, значно покращити практичну складову та розширити можливості вивчення дисциплін, пов'язаних із робототехнікою та механотронікою, як у вищій школі, так і значно посилювати інтерес до такого роду додаткової освіти у школярів.

У роботі продемонстровані можливості використання технології 3D друку під час реалізації проекту «Інтелектуальний робот-маніпулятор», який виконується на кафедрі механотроніки фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара спільно з інжиніринговою школою «Ноосфера». В якості прикладу наведено процес проектування та виготовлення деталі «основа».

Послідовність кроків реалізації технології друку була наступною:

- із використанням системи автоматизованого проектування «AutoCAD» була розроблена конструкція, обрано форму, задано розміри та створено технічне креслення деталі «основа»;
- в якості матеріалу деталі було обрано пластик ABS plus,

створено цифрову твердотільну модель, яка була відкоригована з урахуванням деформацій, які виникають в процесі 3D друку, файл збережено у форматі .stl (рис. 1);

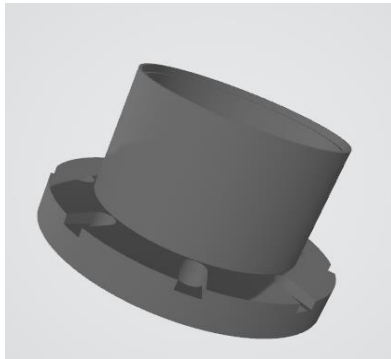


Рис. 1. Зовнішній вигляд твердотільної моделі

- підготовлено файл для друку у програмі «Cura Ultimaker», налаштовано параметри друку, такі як висота шару, ширина лінії, заповнення, задано температуру та режими охолодження, відповідно до обраного матеріалу, швидкість друку, переміщення, тощо. Обрано розташування деталі відносно стола принтера з урахуванням особливостей форми деталі та процесу 3D друку (рис. 2), задано підтримку та тип прилипання до стола. Перед друкуванням рекомендується здійснити попередній перегляд друку, щоб переконатися, що всі налаштування вірні;

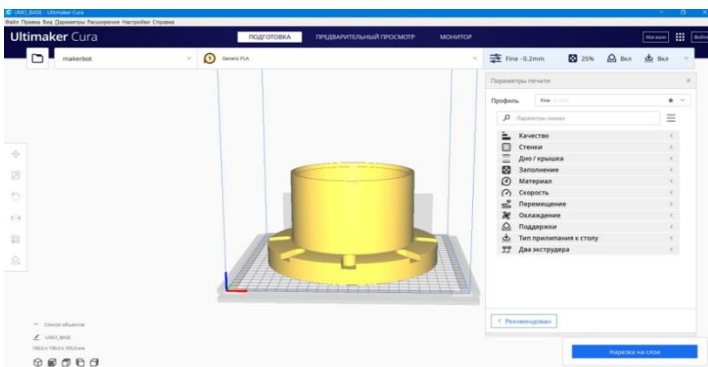


Рис. 2. Розташування деталі відносно стола принтера

- друк на кастомному 3D принтері типу Ultimaker;
- відділення деталі від робочого столу, видалення елементів підтримки, постобробка та фарбування (рис. 3).



Рис. 3. Зовнішній вигляд проекту «Інтелектуальний робот-маніпулятор»

Таким чином в роботі продемонстровано можливості використання 3D друку в робототехніці на прикладі освітнього проекту «Інтелектуальний робот-маніпулятор». Для розробки деталей та технологічного процесу їх виготовлення використано сучасну систему автоматизованого проектування «AutoCAD» та програму підготовки до 3D друку «Cura Ultimaker». Друку виробу здійснено на кастомному 3D принтері типу Ultimaker.

### ПОСИЛАННЯ

1. The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. Sculpteo. URL: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/%20>
2. Учасники проєктів Вікімедіа. 3D-принтер. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/3D-принтер>



## АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ РОЗВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРА З СИПУЧИМИ МАТЕРІАЛАМИ

*Наталія Сергіївна Ащепкова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1870-1062>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Євгеній Олександрович Мачковський*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3394-4600>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

**Вступ.** Процес розвантаження бункерів або вагонів з сипучими матеріалами зазвичай здійснюється за допомогою пневматичних пристроїв. Для використання в цеху промислові установки громіздкі, або не захищені від розсіювання матеріалу і утворення пилу. Таким чином, розробка власної конструкції пристрою для розвантаження бункера з сипучими матеріалами є актуальною задачею.

**Мета та задачі.** Метою дослідження є розробка автоматизованого пристрою розвантаження бункера з сипучими матеріалами. Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- Провести аналіз існуючого обладнання для розвантаження сипучих матеріалів.
- Здійснити обґрунтований вибір конструкції пристрою для розвантаження сипучих матеріалів.
- Скласти функціональну схему системи керування пристрою для розвантаження сипучих матеріалів.

**Матеріали і методи.** Процес створення автоматизованого пристрою розвантаження бункера з сипучими матеріалами здійснимо на основі аналізу існуючого сучасного обладнання. Після обґрунтованого вибору конструкції визначимо функціональну схему системи керування для подальшого детального опрацювання кожного елемента запропонованого автоматизованого пристрою розвантаження бункера.

**Результати.** Для створення нової конструкції пристрою розвантаження бункера з сипучими матеріалами проаналізуємо конструкції аналогічних пристроїв. Комплект устаткування для розвантаження навалного цементу (або будь-яких сипучих вантажів) з вагонів-хоперів та його подальшої перевалки (рис.1) в автоцементовози складається з лотка підкатного ЛШ-125.01 для розвантаження цементу з вагонів й живильника похилого пересувного ПНП-250 для завантаження автоцементовозів (конструкцією передбачено регулювання для кожного розміру автоцементовозів).

Застосування устаткування не потребує організації бункера в підрейковому просторі, і, відповідно, не потребує узгодження з залізницею. Устаткування мобільно и може використовуватись на будь-якій площадці з щільним покриттям, без попередньої підготовки. Час розгортання після доставки 30 – 40 хв. Продуктивність (по цементу) – до 40 т/год. Сумарна споживана потужність – 17 кВт. Виробник: Україна, Одеса, А.С., ООО Proektno-proizvodstvennaya firma.

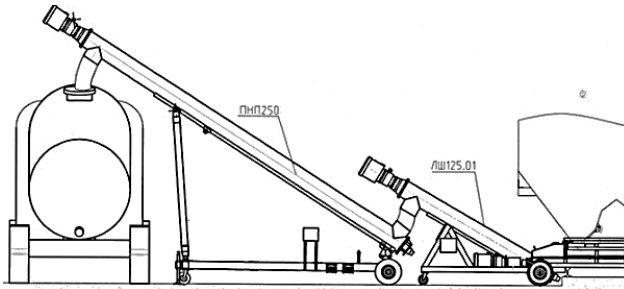


Рисунок 1. Комплект устаткування для розвантаження навалного цементу з вагонів-хоперів та його подальшої перевалки

**Установка для розвантаження сипучих матеріалів В-283-031** (рис.2) призначена для розвантаження навальних сипучих матеріалів (цементу) з нижніх люків вагона-хопера (при можливості облаштування проміжного развнтажувального бункера в підрейковому просторі) та подачі матеріалу в прирейкові склади й цементовози (рис. 2.).

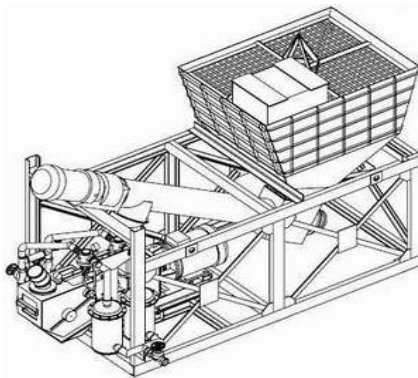


Рисунок 2. Установка для розвантаження сипучих матеріалів В-283-031

Установка для розвантаження сипучих матеріалів В-283-031 складається з приймального бункера, в який вивантажується сипучий матеріал; живильника, для проміжного зберігання матеріалу; пневматичного гвинтового підйомника, за допомогою якого матеріал переміщується; системи підготовки повітря (волого- та мастило віддільники, редукційні клапани і т.п.); пульта управління; трубопроводу.

Пневматичний гвинтовий підйомник СБ-245 здійснює подачу сипучого матеріалу в прирейкові склади або витратні бункера розташовані не далі 50 м по горизонталі від місця розвантаження вагону (при максимальній висоті підйому 35 м). Продуктивність – не більше 30 м<sup>3</sup>/год. Сумарна споживана потужність електродвигунів – 27,5 кВт. Виробник: Україна, Донецька область, Слов'янськ, ПАТ "Бетонмаш" (Betonmash, РАО).

Жодна з наведених конструкцій не може бути застосована, оскільки установки громіздкі (рис. 1, 2), та не захищені від розсіювання матеріалу і утворення пилу. Таким чином, виникає необхідність проектування власної конструкції устаткування розвантаження сипучих матеріалів.

Аналіз патентної документації [1 - 6] також доводить, що процес розвантаження бункерів або вагонів з сипучими матеріалами зазвичай здійснюється за допомогою пневматичних пристроїв.

Автори пропонують конструкцію автоматизованого пристрою для розвантаження бункера з сипучим матеріалом (рис.3).

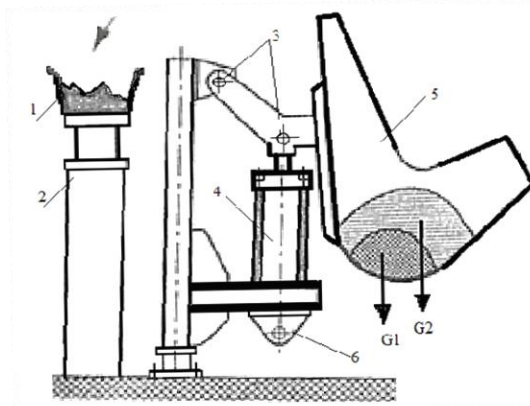


Рисунок 3. Автоматизований пристрій розвантаження бункера з сипучим матеріалом

Принцип роботи запропонованого пристрою: матеріал з поворотного бункера 5 висипається у лоток 1, вздовж якого транспортується за допомогою прямолінійної вібраційної системи 2. Модуль повороту складається з важеля, пневматичного циліндру 4, поворотного бункера 5, поворотного фланцю 6. У шарнірах важеля модуля повороту встановлено датчики зусилля зрізу пальців 3, за допомогою яких можна визначити масу матеріалу в бункері.

Функціональна схема системи керування для запропонованого пристрою для розвантаження бункера з сипучим матеріалом наведена на рис.4.

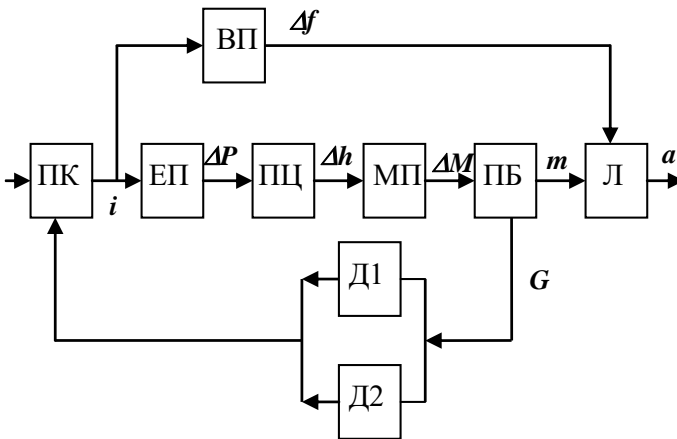


Рисунок 4. Функціональна схема системи керування автоматизованого пристрою для розвантаження бункера з сипучим матеріалом

За функціональною схемою можна визначити принцип роботи ланцюгів керування та послідовність перетворення сигналів. Пристрій керування ПК по сигналу оператора генерує струм  $i$ , який електричним перетворювачем ЕП перетворюється в різницю тисків (рушійний тиск)  $\Delta P$ . Різниця тисків у порожнинах пневмоциліндру ПЦ спричиняє переміщення штоку  $\Delta h$ , який взаємодіє з модулем повороту МП та створює перекидаючий момент  $\Delta M$ . Момент  $\Delta M$  діє навколо вісі обертання поворотного бункера ПБ та обумовлює дозоване висипання матеріалу масою  $m$  в лоток Л. Під впливом керуючого струму  $i$ , вібраційний привод ВП генерує коливання з частотою  $\Delta f$ , які обумовлюють переміщення сипучого матеріалу масою  $m$  по лотку Л з прискоренням  $a$ .

Наявність матеріалу в бункері контролюється двома датчиками Д1 та Д2, розташованими відповідно під склепінням та на днищі поворотного бункера ПБ. Сипучим матеріалам властиво скупчення та нарошування шарів на стінках та під склепінням бункерів, тому якщо хоча б один датчик Д1 або Д2 показує наявність матеріалу, система працює. Якщо сигнал від обох датчиків відсутній, система вимикається.

**Висновки.** При розвантаженні бункерів або вагонів з сипучими матеріалами зазвичай застосовуються пневматичні пристрої. Існуючі промислові установки громіздкі та не захищені від розсіювання матеріалу і утворення пилу. Авторами було проаналізовано існуюче промислове обладнання для розвантаження бункерів з сипучими матеріалами, проведено аналіз патентів та запропонована власна конструкція. Для запропонованої конструкції автоматизованого пристрою для розвантаження бункерів з сипучими матеріалами розроблено функціональну схему системи керування. В подальшому буде розроблено електричну принципову та пневматичну схеми пристрою розвантаження бункера з сипучими матеріалами. Для забезпечення транспортування сипучого матеріалу заплановано доповнити запропонований автоматизований пристрій розвантаження бункеру вібраційним транспортером.

## Посилання

1. Камерний живильник нагнітальній пневмотранспортної установки : пат. UA 2190569/C2 : В 65 G 65/34. № 2731452/13 ; заявл. 30.08.2000 ; опубл. 10.10.2002, Бюл. № 10. 6 с.
2. Arrangement for unloading loose materials : patent RU 2013336 : В 65 G 65/34. No. 4931452/13 ; applied on 29.04.1991 ; published on 30.05.1994. 5 p.
3. CHAMBER FEEDER OF PNEUMATIC TRANSPORTATION PLANT : patent RU 2255889 : В 65 G 53/40. No. 003120339/11 ; applied on 02.07.2003 ; published on 10.07.2006, Bulletin no. 19. 8 p.
4. Feeder for pressure pneumatic transport plant : patent RU 2261214. No. 003123474/11 ; applied on 23.07.2003 ; published on 27.09.2006, Bulletin no. 27. 6 p.

## БЛОК ЖИВЛЕННЯ З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

*Олексій Олексійович Юрко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8244-2376>

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,  
Кременчук

*Денис Владиславович Мосьпан*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2151-4858>

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,  
Кременчук

*Дмитро Володимирович Кухаренко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2845-6881>

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,  
Кременчук

Для реалізації автоматизованих лабораторних вимірювань як у науковій так і в навчальній діяльності використовуються блоки живлення з можливістю програмного керування, що дозволяє створювати багатофункціональні лабораторні комплекси за допомогою ПК. Існують як окремі автономні прилади, так і модулі, які не мають власної панелі керування і можуть працювати лише через програмний додаток з ПК. Загальний недолік такого обладнання – доволі значна вартість. В даній роботі наведена реалізація блоку живлення з цифровим керуванням на основі популярної та доступної елементної бази, що дозволить створити відносно недорогий та компактний прилад.

Для побудови блоку живлення з регулюванням напруги в діапазоні 0...25 В використаємо лінійний стабілізатор напруги, щоб отримати низький рівень пульсацій на виході блоку.

Напруга на виході лінійного стабілізатора визначається сумою опорної напруги  $U_{ref}$  та напруги на керуючому вході  $U_{adj}$ . Тобто опорна напруга визначає мінімально можливе значення вихідної напруги. Для лінійного стабілізатора LM317  $U_{ref} = 1,25$  В [1]. Можливий діапазон зміни вихідної напруги даного стабілізатора складає 1,25...37 В.

Для можливості регулювання напруги від 0 до максимального значення (приймаємо 25 В), необхідно напругу керуючого входу змістити на відповідний від'ємний потенціал  $-U_{ref}$ . Це можливо зробити за допомогою схеми складання-віднімання на операційному підсилювачі (ОАЗ, рис. 1). На додатній вхід для можливості програмного керування будемо подавати напругу пропорційну ЦАП ( $kU_{DAC}$ ), а на інверсний вхід – опорну напругу  $U_{ref}$ . Останню можна отримати за допомогою іншого стабілізатора LM317, керуючий вхід якого буде

під'єднаний до нульового потенціалу (DA1, рис. 1).

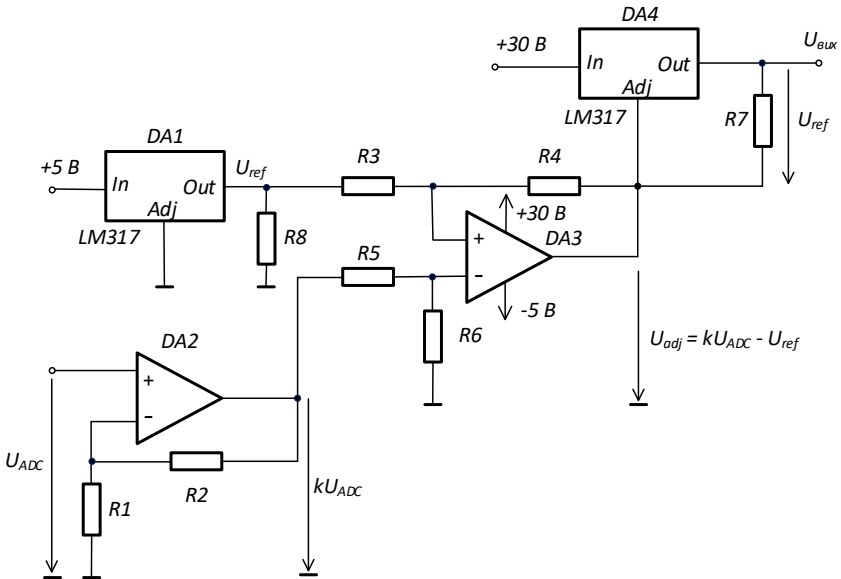


Рисунок 1 – Схема цифрового керування лінійним стабілізатором

Якщо резистори дільників схеми складання-віднімання будуть однаковими ( $R_3 = R_4 = R_5 = R_6$ ), то напруга на керуючому вході стабілізатора:

$$U_{adj} = kU_{DAC} \frac{R_6}{R_5} - U_{ref} \frac{R_4}{R_3} = kU_{DAC} - U_{ref},$$

а загальна напруга на виході лінійного стабілізатора:

$$U_{OUT} = U_{ref} + kU_{DAC} - U_{ref} = kU_{DAC},$$

тобто пропорційна лише напрузі ЦАП і відповідно мінімальне значення на виході лінійного стабілізатора  $U_{out} = 0$  В.

Для реалізації дії віднімання зі зменшенням потенціалу необхідно організувати двополярне живлення операційного підсилювача: +30 В, -5 В. Від'ємний потенціал можна реалізувати за допомогою мікросхеми перетворювача напруги LM2664, яка інвертує вхідну напругу зі струмом навантаження до 40 мА [2].

Як ЦАП оберемо мікросхему MCP4725, яка використовує напругу живлення +5 В, як опорну. Тоді максимальне значення з виходу ЦАП буде 5 В. Отже необхідно збільшити це значення до максимальної напруги виходу блоку живлення до 25 В.

Оскільки  $U_{OUT\max} = kU_{DAC\max}$ , то необхідний коефіцієнт посилення:

$$k = \frac{U_{OUT\max}}{U_{DAC\max}} = \frac{25}{5} = 5.$$

Застосуємо схему неінвертуючого підсилювача на операційному підсилювачі DA2 (рис. 1) з коефіцієнтом підсилення за напругою:  $k = 1 + R2 / R1$ .

Оберемо  $R1 = 10$  кОм, тоді:  $R2 = R1(k - 1) = 10(5 - 1) = 40$  кОм.

Оберемо значення з ряду E24:  $R2 = 39$  кОм. Тоді перерахований коефіцієнт підсилення:

$$k = 1 + \frac{R2}{R1} = 1 + \frac{39}{10} = 4,9.$$

Мікросхема MCP4725 – це 12 бітний ЦАП з кількістю рівнів дискретизації  $N = 2^{12} = 4096$ . Тоді крок дискретизації за напругою:

$$\Delta U = \frac{U_{VCC}}{N} = \frac{5}{4096} = 0,00122 \text{ В},$$

де  $U_{VCC} = 5$  В – опорна напруга ЦАП, що збігається з напругою живлення мікросхеми.

Значення дискретного рівня, що розраховується в мікроконтролері для подачі до ЦАП:

$$n = \frac{U_{DAC}}{\Delta U} = \frac{U_{DAC} \cdot 4096}{U_{VCC}} = \frac{U_{OUT} \cdot 4096}{k \cdot U_{VCC}} = \frac{U_{OUT} \cdot 4096}{4,9 \cdot 5} = U_{OUT} \cdot 167,18.$$

Тоді дискретність зміни напруги на виході ( $n = 1$ ) становить:

$$\Delta U_{DAC} = \frac{4,9 \cdot 5}{4096} = 0,00598 \approx 6 \text{ мВ}.$$

Для ефективної роботи лінійного стабілізатора необхідно підтримувати допустимий тепловий режим. Для цього скористаємося наступним способом: будемо підтримувати мінімально можливу різницю напруг між входом і виходом мікросхеми лінійного стабілізатора  $\Delta U_{LDO} = U_{IN} - U_{OUT}$  при будь якій напрузі виходу  $U_{OUT}$  [3]. Величину мінімального падіння напруги для працездатного стану мікросхеми можна визначити за графіками з технічної документації. Так при максимальному струмі 1,5 А та діапазоні температур 0...125 °С падіння напруги становить не більше 2,3 В, отже приймаємо з запасом  $U_{LDO} = 2,5$  В.

Підлаштовувати вхідну напругу лінійного стабілізатора до рівня  $U_{IN} = U_{OUT} + \Delta U_{LDO}$  будемо за допомогою імпульсного стабілізатора XL4005. Останній входить у режим стабілізації напруги при наявності в вході FB напруги  $U_{FB\ ST} = 0,8$  В.



Падіння напруги на лінійному стабілізаторі отримуємо за допомогою схеми складання-віднімання на операційному підсилювачі DA6 (рис. 2). На додатній вхід подається напруга  $U_{IN}$ , а на від'ємний – напруга  $U_{OUT}$ .

$$U_{FB} = k\Delta U_{LDO} = k(U_{IN} - U_{OUT}),$$

де  $k = \frac{R9}{R10} = \frac{R12}{R11}$ .

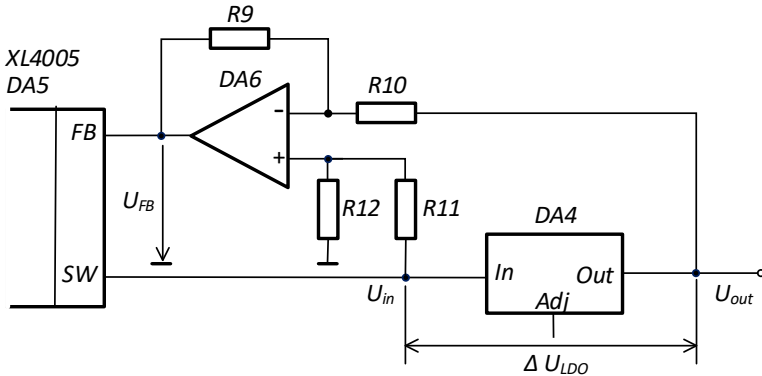


Рисунок 2 – Схема для зниження напруги на лінійному стабілізаторі

Тоді необхідно, щоб при різниці  $\Delta U_{LDO} = U_{IN} - U_{OUT} = 2,5$  В на виході операційного підсилювача напруга відповідала значенню стабілізації  $U_{FB\ ST} = 0,8$  В. Виходячи з цього отримуємо співвідношення:

$$U_{FB\ ST} = k\Delta U_{LDO} = \frac{R9}{R10}\Delta U_{LDO}.$$

Звідки:  $R10 = R9 \cdot \Delta U_{LDO} / U_{FB\ ST}$ .

Прийемо  $R9 = R12 = 100$  кОм, тоді  $R10 = R11 = 100 \cdot 2,5 / 0,8 = 312,5$  кОм. Оберемо з ряду E24  $R10 = R11 = 300$  кОм. Тоді імпульсний стабілізатор буде підтримувати падіння напруги на лінійному стабілізаторі на рівні:

$$\Delta U_{LDO} = \frac{R10}{R9} U_{FB\ ST} = \frac{300}{100} 0,8 = 2,4 \text{ В},$$

що перевищує мінімально допустиме значення на 0,1 В.

Загальна синтезована схема наведена на рис. 3. На схемі не показаний LC фільтр, який необхідно встановити після виходів 3, 6 імпульсного стабілізатора DA5. Відповідно до наведених позначень прийняті наступні параметри елементів:  $R1 = 10$  кОм,  $R2 = 39$  кОм,  $R3 = R4 = R5 = R6 = 10$  кОм,  $R7 = R8 = 240$  Ом,  $R9 = R12 = 100$  кОм,  $R10 = R11 = 300$  кОм.

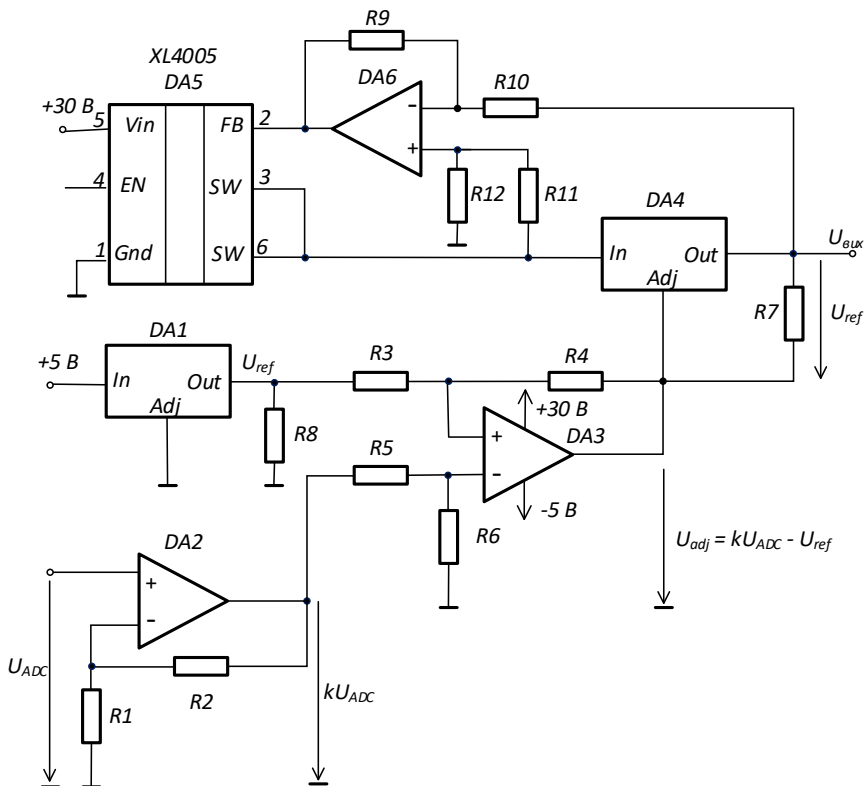


Рисунок 3 – Загальний вигляд схеми

Поєднання комбінації лінійного стабілізатора напруги з імпульсним стабілізатором дозволяє отримати блок живлення з низьким рівнем пульсацій та високим ККД. Результати розрахунків підтверджуються частковим моделюванням у середовищі Electronics Workbench.

### ПОСИЛАННЯ

1. LM317 3-Terminal Adjustable Regulator. SLVS044Y. Texas Instrument, 2020. 31 p.
2. LM2664 Switched Capacitor Voltage Converter. SNVS005E. Texas Instrument, 2014. 22 p.
3. 75 Watt, Single-Output Benchtop Power Supply. Circuit Note. CN-0508. Analog Devices, 2020. 8 p.

## ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ NON-CORE СЕРВІСІВ

*Наталія Миколаївна Польова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5140-2136>

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

*Роман Орестович Мудрецький*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

Контекст цифрової трансформації промисловості сприяє Четвертій промисловій революції. Дедалі ширша доступність таких технологій, як мобільні пристрої, штучний інтелект, хмара, аналітика та платформи, кардинально змінюють те, як ми живемо, працюємо та взаємодіємо – у тому, що було названо Четвертою промисловою революцією [1].

Аналіз доходів від non-core послуг у 16 найбільших світових телекомунікаційних компаній від GSMA Intelligence показав, що на тлі стагнації доходів від основного бізнесу, дві третини операторів відзначили нові напрямки як єдине джерело зростання доходів року. Показовим є те, що у двох третин операторів доходи від non-core бізнесу перевищили доходи від фіксованого зв'язку B2C сегмент дає основну частку нетелеком доходів, але драйвером зростання виступає B2B завдяки прискореній цифровізації всіх секторів економіки у світі (драйвери зростання - Cloud і кібербезпека).

За інформацією GSMA, нетелеком послуги все частіше пропонуються у вигляді інтегрованих рішень або пакетних пропозицій. Наприклад, у закордонних операторів Cloud, IoT, аналітика та кібербезпека можуть бути частиною пакету цифрової трансформації для корпоративних клієнтів, а розваги, фінансові послуги та електронна комерція як частина мультисервісної передплати [2]. Оператори з вищими темпами зростання у non-core бізнесі показали більше зростання в основному бізнесі, що підтверджує гіпотезу про те, що є позитивна синергія між non-core та core бізнесом у телекомі (додаткові сервіси допомагають скоротити відтік, збільшити ARPU та ін.).

Модель екосистем не розвинена на західних ринках, де телекоми вміють добре заробляти та впроваджувати інновації у core бізнесі. Як драйвер диверсифікації бізнесу у великих американських операторів можна відзначити напрямки медіа, геймінг, кіберспорт, хмарні технології та XR (розширена реальність).

Європейські оператори активно розвивають напрямок enterprise, пропонуючи безліч рішень і для малого бізнесу (IoT, Cloud, кібербезпека), фінтех, а також напрямок геймінгу.

Успішні кейси. Turkcell — провідний мобільний оператор Туреччини із загальною базою абонентів понад 53 млн у Туреччині та інших країнах. З заснування в 1994 році Turkcell зміг трансформуватися у повноцінного цифрового телеком оператора, слідуючи стратегії "DO-Digital Operator". Turkcell вдалося досягти не лише високого рівня диверсифікації бізнесу, але й зробити свої цифрові продукти основним драйвером зростання бізнесу (дохід від digital напряду зріс на 31% у 2021 році). R&D підрозділ Turkcell з 1000+ співробітників запустив такі успішні продукти, як Yaani (мобільний та десктопний браузер), VIP (OTT месенджер з 26 млн активних користувачів), Fizu (музика та відео), Lifebox (хмарне зберігання), Kopilot (додаток для водіїв авто), екосистему фінтех сервісів у кредитуванні (Financell), страхуванні (Turkcell Sigorta) та платежах (Paycell).

У 2021 році Turkcell посилив фокус на розвиток цифрових B2B сервісів та через дочірню компанію Lifecell. Ventures вже пропонує послуги цифрової трансформації іншим мобільним операторам на основі ліцензії або white label.

Telefónica – один із світових лідерів у галузі телекомунікацій з більш ніж 383 млн клієнтів у 14 країнах світу, заснований в Іспанії у 1924 році. У фокусі інновацій Telefónica — хмарні мережі, 5G, граничні обчислення, геймінг, медіа та розваги, програматик реклама, великі дані та штучний інтелект. Дочірня компанія Telefónica Tech, завдяки глибокій спеціалізації та великому вибору продуктів у Cloud, Big Data, IoT, кібербезпеки, стала одним із провідних постачальників послуг цифрової трансформації у світі. Більше половини підприємств доходів Telefónica приносить малий і середній бізнес. Telefónica використовує ресурси власної розробки та внутрішнього підприємництва, а також проінвестувала у понад 800 стартапів через інноваційний підрозділ Wayra та корпоративний фонд Telefónica Ventures.

Будучи батьківщиною моделі Суперап, країни Азії активно будують бізнес за моделлю екосистем, пропонуючи широкий вибір додаткових life-style сервісів на базі телекому. Наприклад, індійський оператор Jio відразу почав розвиток із платформної бізнес моделі.

За оцінками аналітичної компанії Twimbit, у 2021 році азіатські Телеком оператори показали 20% зростання доходів від non-connectivity послуг. В окремих телекомів, таких як Taiwan Mobile, частка доходів від non-connectivity навіть перевищує 50%.

Великі телеком оператори в Японії та Південній Кореї традиційно пропонують широкий спектр інноваційних цифрових послуг у B2C на базі 5G (медіа та геймінг, фінанси), а також зарекомендували себе як важливих гравців на ринку e-commerce.

Діо – індійський мобільний оператор, третій за кількістю абонентів та перший за обсягом трафіку у світі. Діо спочатку створювався в 2007 році як екосистемний гравець із широким вибором цифрових сервісів, що об'єднує елементом яких став мобільний зв'язок. Одночасно з розгортанням першої LTE мережі в Індії, в 2016 році Діо запустив одразу цілу серію додатків, яка на сьогоднішній день включає понад 15 таких популярних продуктів, як ДіоTV (ТВ), ДіоСінемa (кіно), ДіоSaavn (музика), ДіоChat (месенджер), ДіоMeet (відеоконференція), ДіоSwitch (обмін файлами), ДіоGate (розумний будинок), ДіоHealthHub (здоров'я), ДіоMoney (платежі), ДіоMart (рітейл) та ін. Діо відрізняє високий рівень проникнення додаткових сервісів, креативний та client-centered маркетинг, а також фокус на власну розробку (із залученням партнерів для окремих проєктів як випуск ДіоPhone Next разом із Google).

Softbank Corp - третій за величиною стільниковий оператор Японії з 57 млн. абонентів. Наслідуючи стратегію “Beyond Carrier”, Softbank виходить за рамки бізнесу класичного оператора і пропонує понад 200 сервісів у напрямках електронної комерції, фінансів (PayPay), ІoT, геймінгу, музики, доставки їжі, інтернет-медіа та соціальних мереж через дочірні компанії Yahoo Japan Corporation та Line Corporation. Платформа фінансових сервісів PayPay від SoftBank займає найбільшу частку ринку QR платежів Японії, а non-core бізнеси Softbank у сумі забезпечують до 30% доходів компанії. З капіталом понад \$100 млрд венчурний фонд групи Softbank (Vision Fund) є найбільшим технологічно орієнтованим інвестиційним фондом у світі.

На просторі СНД екосистемний підхід найуспішніше розвивають Vodafone, Kyivstar.

Екосистема Vodafone включає понад 30 цифрових сервісів за такими напрямками, як фінтех (Vodafone Банк), медіа та розваги (KION, Vodafone Медіа), розумний будинок, smart city, travel, mobility, безпека, Cloud, Big Data, маркетинг та ін. Кількість екосистемних клієнтів (згідно з визначенням Vodafone, які активно і усвідомлено використовують більше 2 сервісів компанії) перевищує 12 млн, а нові напрямки дають Vodafone вже понад 50% зростання загальних доходів бізнесу. Для виходу в нові ніші Vodafone робить ставку як на in-house (штат розробників понад 5 тис. осіб), так і на неорганічне зростання через партнерства та інвестиції (купівля міноритарного пакета до 20-30% або M&A). У фокусі компанії в найближчі роки - фінтех, travel, Cloud, entertainment, wellness, мікромобільність, продукти для окремих сегментів (дитячі бандли) та ін.

Отже найбільш популярними новими напрямками бізнесу операторів є:

	Core	Non-core
B2B	- Мобільний зв'язок, обмін повідомленнями та даними - Фіксований зв'язок та ШПД - Уніфіковані комунікації - SD-WAN - Виділені лінії, приватні мережі MPLS та IP-VPN	- Інтернет речей - Хмари та граничні обчислення - Кібербезпека - Аналітика великих даних - Цифрова реклама та маркетинг - IT-послуги - B2B контент та e-sports
B2C	- Мобільний зв'язок, обмін повідомленнями та даними - Фіксований зв'язок та ШПД	- Медіа та розваги - МФС - Розумний будинок та ЖКГ - Електронна комерція - Телемедицина - Геймінг та e-sports - Life-style сервіси

У сегменті B2C найбільш популярними додатковими сервісами залишаються фінтех і entertainment [3].

Однак у довгостроковій перспективі багато телеком оператори роблять фокус саме на B2B сегменті, тому що відчувають, що тут у них є такі конкурентні переваги та можливості:

- стабільні та потенційно більші доходи, ніж у B2C;
- синергія з основним бізнесом;
- існуюча клієнтська база, з якою вже є багаторічні договірні відносини;
- вибудована система агентів та каналів продажів;
- прискорена цифровізація корпоративного сектору після пандемії (великий потенціал у сегменті цифрових продуктів для МСБ).

## ПОСИЛАННЯ

1. Anwar, S. T., "Ntt docomo and m-commerce: A case study in market expansion and global strategy,"; Thunderbird International Business Review, vol. 44, no. 1, pp. 139-164, 2002.
2. Bergvall-Kåreborn, B., D. Howcroft, and D. Chincholle, "Outsourcing creative work: A study of mobile application development,"; 2010.
3. Selander, Lisen; Henfridsson, Ola; and Svahn, Fredrik, "TRANSFORMING ECOSYSTEM RELATIONSHIPS IN DIGITAL INNOVATION" (2010). *ICIS 2010 Proceedings*. 138. [https://aisel.aisnet.org/icis2010\\_submissions/138](https://aisel.aisnet.org/icis2010_submissions/138).

## ON TYPICAL FLAWS OF THE TRANSFORMER MODELS FOR INRUSH CURRENT EVALUATION

Sergey Zirka

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7607-1436>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

Yuriy Moroz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7696-1324>  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

### 1 INTRODUCTION

For many decades, the main, if not the only, equivalent circuit of a single-phase transformer was its T-model, Fig. 1. To avoid ambiguity and take into account the topology of the core and windings, we will use the terms *inner* and *outer* windings, instead of the primary and secondary windings. So, inductances  $L_{S1}$  and  $L'_{S2}$  are the so-called "leakage inductances" of the inner and outer windings, respectively,  $r_1$  and  $r'_2$  are their resistances. In order to reproduce hysteretic (quasi-static) properties of the core material and to account for the dynamic core losses and saturation, the magnetizing branch  $L_m$  in Fig. 1 is represented by an ATP-inductor DHM [1], which implements, starting with 2019 version, a Dynamic Hysteresis Model (DHM) [2].

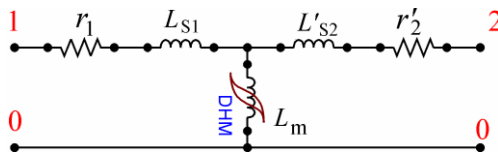


Figure 1 – A conventional equivalent circuit of a single-phase transformer

Although the *T*-model does not "disclose the actual distribution of magnetic fluxes" within the transformer [3], it is widely used to describe its operation under the *normal* conditions and is a dominant transformer model in textbooks and papers.

Shortcomings of the *T*-model are revealed when the transformer core approaches saturation. Examples include inrush current and ferroresonance events, transformer operations under geomagnetically induced currents and those occurring in generator transformers during an out-of-phase

synchronization. Each of these operations has its own characteristics and is considered separately. In this paper, we confine ourselves to considering inrush currents, which remain a subject of ongoing publications. Unfortunately, a lot of these papers focus on secondary details, mostly on hysteresis modeling [4], [5] and miss the fact that using the  $T$ -model in the inrush current evaluation is fraught with serious flaws.

The same can be said about the models of three-phase transformers [6], [7], [8], which neglect the recommendation in [9] that each wound limb must be shunted by an air branch (the latter divides the iron branches into legs and yokes).

The first disadvantage of the  $T$ -model is the artificial subdivision of the leakage transformer inductance  $L_S (= L_{S1} + L'_{S2})$  into individual (physically non-existing) "leakage inductances" of individual windings. As will be shown in Section 2, such a subdivision can lead to underestimated inrush current peaks calculated for the inner winding and to overestimated current peaks for the outer winding.

In the shell and core type transformers (their legs and yokes are saturated differently), these errors are masked by another inherent drawback of the  $T$ -model, namely by the fact it contains only a *single* magnetization branch. To circumvent this masking effect and to better explain the errors due to the leakage subdivision, a toroidal core transformer is first considered in Section 2. Section 3 explains the necessity of introducing an additional magnetizing branch, which converts the  $T$ -model into a  $\pi$ -type structure devoid of the mentioned disadvantages.

Although this paper is devoted to generalized transformer models, simple analytical estimates of inrush current peaks are provided in Section 3 to facilitate subsequent explanations.

## 2 TOROIDAL TRANSFORMER MODEL

Our intention in this section is to show the errors in inrush current predictions due to the "leakage subdivision". To avoid the problem of different magnetization levels of the leg and yokes, consider a transformer with a *single* magnetization branch, that is, a long toroidal core with two infinitely thin windings wound tightly over the entire core. The absence of the yokes and a large length  $l$  of the core allow one to straighten it out mentally into a ferromagnetic saturable rod, Fig. 2, whose ends are joined by a magnetic closure having an infinitely large magnetic permeability ( $\mu = \infty$ ).



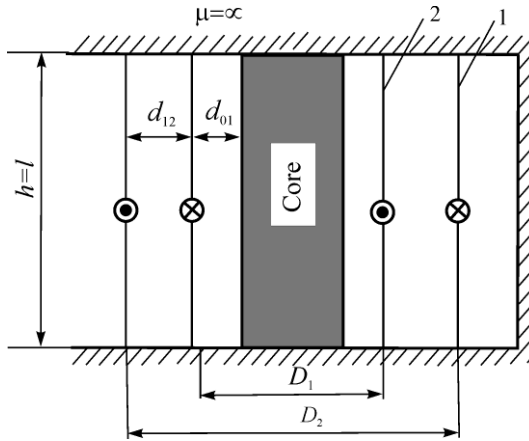


Figure 2 – Toroidal transformer "unwrapped" into a straight wound rod

Neglecting the winding resistance and assuming an idealized voltage source,  $v(t) = V_m \sin \omega t$ , switched to the inner or outer winding (each having  $N$  turns), the inrush current peak  $I_m$  in the device of Fig. 2 can be calculated fairly accurately using inductance  $L_{sat}$  of the completely saturated wound core [10], [11], [12]:

$$I_m = \frac{V_m}{\omega L_{sat}} \left[ 2 - \frac{\omega (B_S - B_0) NA}{V_m} \right] \quad (1)$$

where

$$L_{sat} = \frac{\mu_0 N^2}{h} \times \frac{\pi d_{eqv}^2}{4} \quad (2)$$

Here,  $A$  is the cross section of the core steel,  $B_0$  is its initial flux density;  $B_S$  ( $= 2.0 - 2.03$  T) is the saturation flux density of grain-oriented steel;  $h$  and  $d_{eqv}$  are the height and mean diameter of the excited winding.

It should be recalled that the leakage inductance  $L_S$  is determined by the width  $d_{12}$  of the leakage channel between the inner winding 1 and the outer winding 2.

When the excited coil is the *inner* winding 1 (when  $d_{eqv} = D_1$ ), the open-circuit outer winding 2 "does not exist" [13] and the leakage channel does not participate in the magnetization process. This means that inductance  $L_S$  is not involved in the inrush current evaluation and *no* part of  $L_S$  can be included in the current path between terminals 1 and 0 of the inner

winding in Fig. 3. However, a necessary element of the magnetization branch is inductance  $L_{01}$  which represents the insulation clearance  $d_{01}$  between the inner winding 1 and the grounded core.

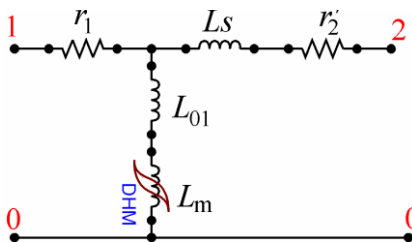


Figure 3 – An equivalent circuit of a toroidal transformer

When the excited coil is the outer winding 2, i.e.  $d_{eqv} = D_2$ , the space between winding 2 and the core includes the leakage channel (of width  $d_{12}$ ) and the innermost clearance (of width  $d_{01}$ ). Therefore, the inrush current path between terminals 2 and 0 in Fig. 3 should include the *whole* inductance  $L_S$  plus the just mentioned inductance  $L_{01}$ .

It should be clear that moving any part of inductance  $L_S$  into the loop of the inner winding 1, that is, returning to the model in Fig. 1 would result in underestimation of the true current peak in the inner winding 1 and, respectively, in overestimation of the current peak in the outer winding 2.

For the *toroidal* transformer considered in this section, the  $\Gamma$ -type model in Fig. 3 is equally suitable for inrush current evaluation and modeling the rated operation. This is because the core length  $l$  used in the core loss evaluation is equal to the winding height  $h$  employed in (2). Quite different situation takes place in transformers with legs and yokes considered in the next section.

### 3 THE CORE AND SHELL TYPE TRANSFORMERS

It is crucial to note that the core length  $l$  employed at the transformer design stage (it is used for the core loss evaluation) is several times greater than the height  $h$  of the winding used in the inrush current prediction. This makes inductance  $L_m$  in the general purpose models of Figs. 1 and 3 appreciably smaller than inductance  $L_{sat}$  in (2). Therefore, these models would always overestimate the inrush current significantly regardless of which winding is energized. The reason can be explained by different saturation depths of the wound leg and yokes.

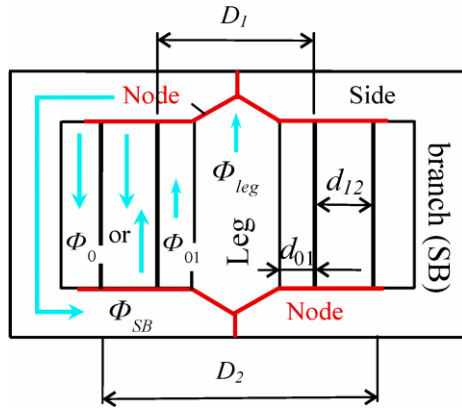


Figure 4 – Magnetic flux paths in a shell-type transformer with two concentric windings

When a transformer is energized, the core leg can reach very deep saturation. In this case, the magnetic flux density in the wound leg and the adjacent air channel(s) can reach values of the order of 3 T and higher. This is due to the fact that most of the leg is in a "tube" formed by the magnetizing winding. Regardless of the degree of saturation of the leg, no or a small part of its flux can escape from the tube.

The saturation of the side branches (SBs) of the core (they compose of the lateral limbs and the related yokes) remain moderate in the sense that the flux density in the SBs does not usually exceed 2 T. This is due to the fact that, as the SBs saturate, the magnetic permeability of their material approaches the vacuum permeability ( $\mu_0$ ), resulting in arising shunting magnetic fluxes, designated as  $\Phi_0$  in Fig. 4. The lengths of these air paths are shorter than that of the saturated SBs. Thus, the shunting fluxes  $\Phi_0$  keeps the SBs from further saturation. Regarding the space occupied by  $\Phi_0$ , it depends on the winding which is energized. When the exited winding is the inner one, the flux in the leakage channel flows downward and merges with the flux flowing beyond the windings. When exiting the outer winding, the flux in the leakage channel flows upward and merges with flux  $\Phi_{01}$ .

These flux paths are reflected in the magnetic network in Fig. 5 [12] where  $F_1$  and  $F_2$  are sources of magneto-motive force of the inner and outer windings, respectively. The shaded elements represent hysteretic reluctances of the leg ( $\mathfrak{R}_{leg}$ ) and side branches ( $\mathfrak{R}_{SB}$ ), whereas unshaded elements designate linear reluctances of the paths in air (the subscripts of the  $\mathfrak{R}_{01}$ ,  $\mathfrak{R}_{12}$  and  $\mathfrak{R}_0$  are the same as those of the magnetic fluxes).

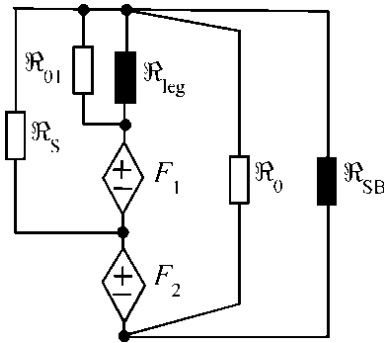


Figure 5 – Magnetic equivalent networks of a two-winding transformer

Using the duality transformation [14], [15], the magnetic network in Fig. 5 is converted into its electrical equivalent shown between points 1 and 2 in Fig. 6.

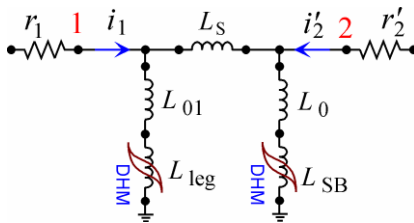


Figure 6 –  $\pi$ -shaped electric equivalent circuit of a two-winding transformer

In deep saturation, the final slope  $dB/dH$  of  $B$ - $H$  curve of any material from the DHM library is equal to the magnetic constant  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m. It is important that the segment with slope  $\mu_0$  lies at the level of the technical saturation of transformer steel (near 2 T), but not at 1.7-1.8 T sometimes taken carelessly. Therefore, the model behavior in saturation is determined by inductances  $L_{01}$  and  $L_0$ . Their proper choice makes the model *reversible*, that is, capable of replicating inrush currents measured on terminals of *both* the windings.

At this point one should be cautious about uncritical use of  $\pi$ -models with equal magnetizing inductances of the leg and yoke branches. (This model version is suggested for the case of insufficient information about transformer design [16]). This simplification, as well as the absence of

inductances  $L_{01}$  and  $L_0$ , makes the  $\pi$ -model symmetrical that contradicts different magnetization curves for the leg and yoke in saturation first observed in [17] and then reprinted in Fig. 6.16 of [18].

The difference between two magnetizing branches at large flux linkages results in different magnetization curves and inrush current values determined for terminals of the whole transformer. Such curves calculated for the transformer in [12] are shown in Fig. 7 where flux linkages  $\Psi_1$  and  $\Psi_2$  are integrals of the voltages at points 1 and 2 of the model in Fig. 6.

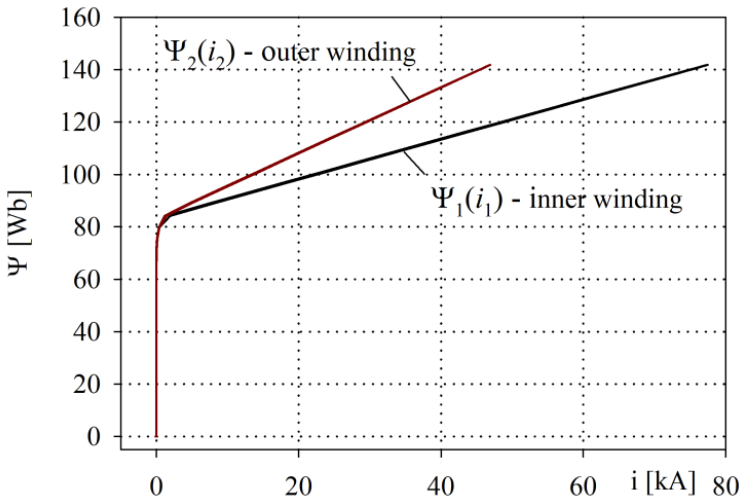


Figure 7 – Magnetization curves calculated from terminals of inner and outer windings

In their saturation regions, the  $\Psi$ - $i$  curves in Fig. 7 can be characterized by differential inductances,  $L_{sat1} = d\Psi_1/di$  and  $L_{sat2} = d\Psi_2/di$ . The methods of their measurements are proposed in [19], [20] and [21] where inequality  $L_{sat2} > L_{sat1}$  was clearly demonstrated.

To account for the winding thicknesses, the model in Fig. 6 is provided by two groups of three inductances as shown in Fig. 8. This technique was proposed in [22] and then used in [23], [24] where inductances  $L_p$  are shown to be proportional to one sixth of the thickness of the corresponding winding.

When introducing inductances  $L_p$ , the values of  $L_{01}$  and  $L_0$  of the model are recalculated so as to maintain the reversibility of the model. This keeps unchanged the magnetization curves in Fig. 7 and thus inrush currents.

In concluding the paper, we can evaluate the influence of the hysteresis properties of the core material on the transformer behavior during inrush current events. For definiteness, the transformer is demagnetized thoroughly before each energization. Fig. 9 shows inrush currents calculated with the models in Fig. 6 and 8 excited from the inner and outer windings (assuming opposite winding open-circuited).

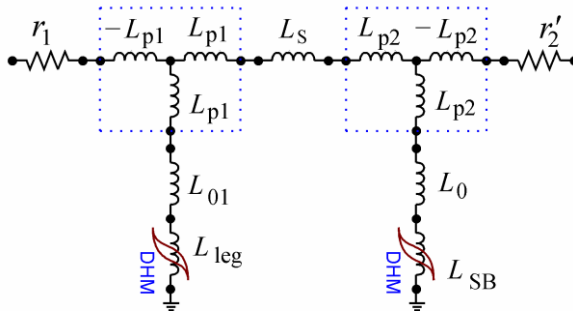


Figure 8 –  $\pi$ -equivalent circuit of a two-winding transformer, which accounts for the winding thicknesses

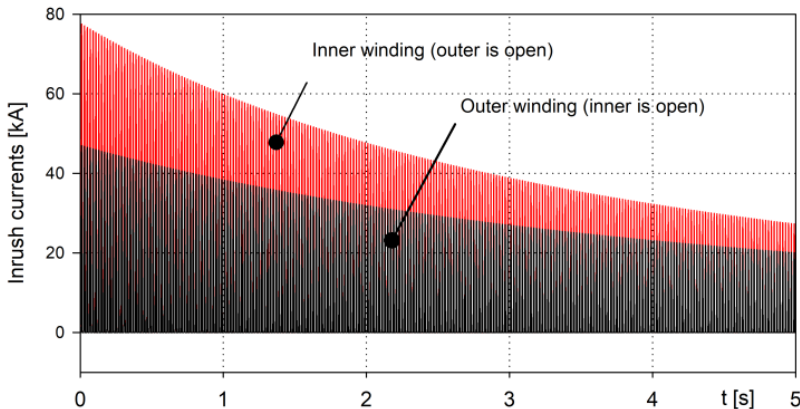


Figure 9 – Inrush currents on terminal of the inner and outer windings

It was found with certainty that both the current peaks in Fig. 9 and the rate of their decay practically do not depend on the hysteresis

properties of the core and on the core loss at all. This is consistent with conclusions made in the recent modeling of ferroresonance processes in small voltage transformers [25] and in studying effects of geomagnetically induced currents in large 400 MVA units [26]. At the same time, accounting for material saturation is found necessary in all of these cases. For this reason, the saturation curve is included in all materials contained in the DHM library.

## 4 CONCLUSION

We have attracted attention to typical mistakes made in modeling transformer inrush currents. It is explained that the main mistake is the use of the convenient  $T$ -model and their three-phase derivatives. Their disadvantages are rooted in using separate leakage models of primary and secondary circuits, as well as in inability to reproduce different magnetization levels of the legs and yoke. We show the benefits of the  $\pi$ -model, but at the same time, caution against its oversimplification. Although we use an advanced hysteresis model to describe processes in the legs and yokes, it is shown that accounting hysteresis and core losses is completely optional in modeling inrush currents. These model properties have no visible impact neither on the current peaks nor their decay in time.

## REFERENCES

1. H. Kr. Høidalen, L. Prikler, F. Peñaloza, ATPDraw, version 7.0 for Windows, User's Manual, 2019.
2. S. E. Zirka, Y. I. Moroz, N. Chiesa, R. G. Harrison, and H. Kr. Hoidalen, "Implementation of inverse hysteresis model into EMTP – Part II: Dynamic model," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 30, no. 5, pp. 2233-3241, Oct. 2015. doi: 10.1109/TPWRD.2015.2416199.
3. A. Boyajian, Impedance characteristics of transformers. Ch. IV in Transformer Engineering L.F. Blume, G. Camilli, A. Boyajian, V.M. Montsinger, N.Y. John Wiley & Sons, 1938.
4. H. Altun, S. Sünter, Ö. Aydoğmuş, "Modeling and analysis of a single-phase core-type transformer under inrush current and nonlinear load conditions," *Electrical Engineering*. doi: 10.1007/s00202-021-01283-9.
5. A. Tokić, I. Uglešić, and G. Štumberger, "Simulations of transformer inrush current by using BDF-based numerical methods," Hindawi Publishing Corp., Math. Problems in Eng., vol. 2013, Article ID 215647. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/215647>.
6. J. Pedra, L. Sainz, F. Córcoles, R. Lopez, and M. Salichs, "PSPICE computer model of a nonlinear three-phase three-legged transformer,"

*IEEE Trans. Power Del.*, vol. 19, no. 1, Jan. 2004. pp. 200-207. doi: 10.1109/TPWRD.2003.820224.

7. A. D. Theocharis, J. Miliadis-Argitis, and T. Zacharias, "Three-phase transformer model including magnetic hysteresis and eddy currents effects," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 24, no. 3, pp. 1284–1294, Jul. 2009. doi: 10.1109/TPWRD.2009.2022671.

8. P. S. Moses, M. A. S. Masoum, and H. A. Toliyat, "Dynamic modeling of three-phase asymmetric power transformers with magnetic hysteresis: No-load and inrush conditions," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 4, pp. 1040–1047, Dec. 2010. doi: 10.1109/TEC.2010.2065231.

9. C. M. Arturi, "Transient simulation of a three-phase five-limb step-up transformer following an out-of-phase synchronization," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 6, no. 1, pp. 196–207, Jan. 1991. doi: 10.1109/61.103738.

10. N. Chiesa, B. A. Mork, H. K. Høidalen, "Transformer model for inrush current calculations: Simulations, measurements and sensitivity analysis," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 25, no. 4, 2010, pp. 2599–2608. doi: 10.1109/TPWRD.2010.2045518.

11. S. V. Kulkarni and S. A. Khaparde, *Transformer Engineering: Design and Practice*. New York: Marcel Dekker, 2004.

12. S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, N. Chiesa, and H. K. Høidalen, "Topology-correct reversible transformer model," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 27, no. 4, pp. 2037–2045, Oct. 2012. doi: 10.1109/TPWRD.2012.2205275.

13. S. Jazebi, F. de Leon, N. Wu. "Enhanced analytical method for the calculation of the maximum inrush currents of single-phase power transformers," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 30, no. 6, pp. 2590–2599, Dec. 2015. doi: 10.1109/TPWRD.2015.2443560.

14. E. C. Cherry, "The duality between interlinked electric and magnetic circuits and the formation of transformer equivalent circuits," *Proc. Phys. Soc. B* 62. pp. 101–111, 1949. doi: 10.1088/0370-1301/62/2/303.

15. S. Jazebi, S. E. Zirka, M. Lambert, A. Rezaei-Zare, *et al.*, "Duality derived transformer models for low-frequency electromagnetic transients—Part I: Topological models," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 31, no. 5, pp. 2410-2419, 2016. doi: 10.1109/TPWRD.2016.2517327.

16. F. de León, P. Gómez, J. A. Martínez-Velasco, and M. Rioual, "Transformers," Chapter 4 in *Power System Transients*. Parameter Determination, J. A. Martínez-Velasco (ed.), CRC Press, 2009.

17. M. Kh. Zikherman, "Magnetization characteristics of large transformers," *Elektrichestvo*, no. 3, pp. 79-82, 1972. [in Russian].

18. H.W. Dommel, *Electromagnetic transients program reference manual (EMTP Theory Book)*; Bonneville Power Administration, Portland, OR, USA, 1986.



19. S. Calabro, F. Coppadoro and S. Crepez, "The measurement of the magnetization characteristics of large power transformers and reactors through DC excitation", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 1, no. 4, pp. 224-232, Oct. 1986. doi: 10.1109/TPWRD.1986.4308052.

20. S. Jazebi, F. de León, A. Farazmand, and D. Deswal, "Dual reversible transformer model for the calculation of low-frequency transients," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 28, no. 4, pp. 2509-2517, Oct. 2013. doi: 10.1109/TPWRD.2013.2268857.

21. W. Sima, B. Zou, M. Yang, F. de León, "New method to measure deep-saturated magnetizing inductances for dual reversible models of single-phase two-winding transformers," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 36, no. 1, pp. 488-491, Feb. 2021. doi: 10.1109/TEC.2020.3023596.

22. H. Edelmann, "Descriptive determination of transformer equivalent circuits," *Archiv für elektrische Übertragung*, vol. 13, no. 6, pp. 253-261, 1959. [in German].

23. S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, "Accounting for the influence of the tank walls in the zero-sequence topological model of a three-phase, three-limb transformer," *IEEE Trans Power Del.*, vol. 29, no. 5, pp. 2172–2179, Oct. 2014. doi: 10.1109/TPWRD.2014.2307117.

24. J. Zhao, S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, "Structure and properties of the hybrid and topological transformer models," *Int. J. Electr. Power & Energy Systems*, vol. 118, 2020, 105785. doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105785.

25. S. E. Zirka, Y. I. Moroz, A. V. Zhuykov, D. A. Matveev, *et al.*, "Eliminating VT uncertainties in modeling ferroresonance phenomena caused by single phase-to-ground faults in isolated neutral network," *Int. J. Electr. Power & Energy Systems*, 2021, vol. 133. Paper 107275. doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107275.

26. S. E. Zirka, Y. I. Moroz, J. Elovaara, M. Lahtinen, *et al.*, "Simplified models of three-phase, five-limb transformer for studying GIC effects," *Int. J. Electr. Power & Energy Systems*, vol. 103, pp. 168-175, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.05.035>.

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОСУВАННЯ МЕДИЧНОГО ЗАКЛАДУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМІКСІВ

Олександр Петрович Крупський

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

В умовах медичної реформи та змін фінансування, медичні заклади змушені шукати нові способи привернення уваги пацієнтів до себе і своїх співробітників, та ефективного просування своїх послуг. У сучасному цифровому епосі, коли люди отримують велику кількість інформації щоденно, необхідно знайти інструменти які дадуть змогу привернути увагу саме до свого закладу. Одним з таких інструментів є комікс. Цей креативний інструмент маркетингу та просування послуг орієнтовано на покоління Y та Z. Дослідження, проведені у 2019 році, показали, що близько половини респондентів (46%) у віці від 18 до 29 років (1990-2001 роки народження) вважали себе прихильниками коміксової культури [15]. Ці результати особливо цікаві, оскільки це саме те покоління, яке має відмінні очікування від своєї роботи і створює нові виклики для традиційних поглядів роботодавців [5, 7]. На рисунку 1 наведено вибірку статей із бази даних Scopus за період 1936–2022 рр., які використовують ключові слова «comics studies» або «comics» у своїх назвах, ключових словах або анотаціях.

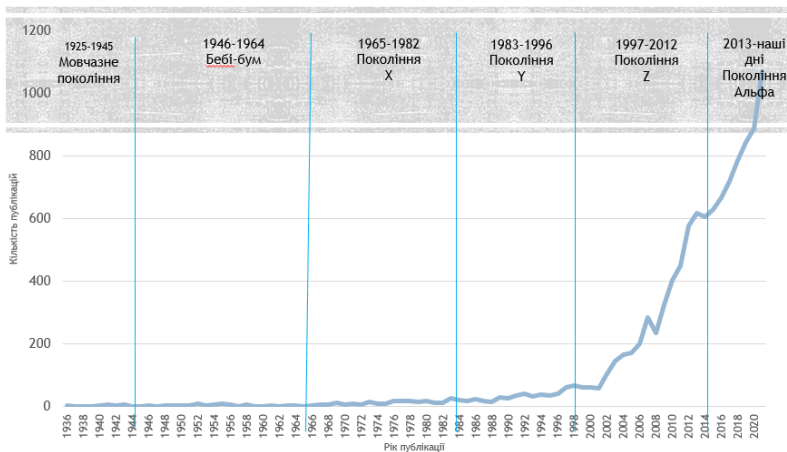


Рисунок 1. Динаміка публікацій за темою «Комікс», складено авторами на основі [9]

Як бачимо, стрибок зацікавленості в дослідження впливу комікс-культури на різні аспекти життя приходиться на 2002 рік (покоління Z) і саме для цього покоління є характерною нова модель мислення – якщо раніше людина отримував основну інформацію через лінійний текст, то тепер людина не стільки думає через текст, скільки через візуальні образи [13]. Також можна говорити про «соціальний запит» який зумовив спочатку «входження» коміксу у повсякдення, а потім звичку до сприйняття інформації, яка буде структурована визначним способом [2]. Відомі методи комунікації з громадськістю старіють, вони відстають від темпу розвитку суспільства, більше не відповідають сучасним вимогам життя. Багато рекламістів вчасно усвідомили той факт, що на мислення молоді людини впливає безліч зовнішніх факторів – Інтернет, мережеві комунікації, комп'ютерні ігри, мобільні дані. Через усе це серед молодих людей дедалі більше явно простежується «іконічний» стиль мислення. Порівняно зі своїми старшими товаришами, представники покоління Y і, особливо, Z важко можуть сконцентрувати увагу на чомусь одному, стикаються з проблемами вербалізації своїх думок та емоцій. Все більше вчених приділяють увагу питанням керівництва підлеглими, які народились після 1997 року [5, 14], через культурологічні та психо-фізіологічні особливості «представників покоління».

У даному дослідженні ми розглянемо особливості використання коміксів у медичному маркетингу.

Комікси – це форма візуального мистецтва, що поєднує малюнки та текстову інформацію для розповіді різноманітних історій [4]. Їх популярність зростає у сучасному світі, особливо серед молоді. Комікси успішно використовуються в різних галузях, таких як реклама, менеджмент, освіта та розваги [1, 8, 17, 18]. В останні роки все більше медичних закладів виявляють інтерес до використання коміксів як засобу комунікації з пацієнтами [10, 11, 12, 16].

Однією з основних переваг використання коміксів є їх здатність передати складну медичну інформацію зрозумілим та доступним способом. Медичні поняття та процедури можуть бути складними для сприйняття для багатьох пацієнтів, особливо для тих, хто не має медичної освіти. Комікси дозволяють візуалізувати цю інформацію за допомогою малюнків та простих пояснень, що сприяє легкому розумінню та запам'ятовуванню. Вони можуть пояснити складні медичні терміни, процедури та ризики у зрозумілій формі, що допомагає пацієнтам зробити осмислені рішення щодо свого здоров'я.

Комікси мають потужний емоційний вплив. Вони можуть створювати емоційний зв'язок з пацієнтами та викликати позитивні емоції, що допомагає збудити інтерес та зацікавленість. Люди часто більш

зацікавлені та схильні приділяти увагу інформації, яка їх емоційно зворушує. Комікси можуть створювати позитивну асоціацію з медичним закладом, лікарями та іншими співробітниками, а також сприяти розповсюдженню позитивних вражень в референтній групі.

Додатковою перевагою коміксів є їх можливість створювати належну ідентифікацію та персоніфікацію. Вони можуть створювати персонажі, які відображають різні ситуації, проблеми та рішення, з якими зіштовхуються пацієнти. Це дозволяє пацієнтам легше ідентифікувати себе з персонажами та відчувати, що медичний заклад розуміє їхні потреби та проблеми. Ідентифікація з персонажами може підсилити відчуття співпереживання та сприяти більшій взаємодії з медичним закладом [6].

Використання коміксів у медичному маркетингу має свої обмеження та виклики. Популярність коміксів серед пацієнтів може залежати від їх віку, культурного контексту та інтересів. Деякі групи пацієнтів можуть бути менш готовими до сприйняття коміксів як серйозного джерела інформації про медичні послуги. Також, важливо враховувати культурні особливості та мовні бар'єри, які можуть вплинути на ефективність комунікації за допомогою коміксів. Крім того, створення якісних та змістовних коміксів вимагає належної експертизи та співпраці між медичними фахівцями та художниками. Важливо забезпечити точність та достовірність медичної інформації, яку передають комікси, а також враховувати етичні аспекти, особливо при зображенні пацієнтів та медичних процедур.

Необхідно також враховувати ефективність коміксів у досягненні поставлених медичним закладом маркетингових цілей. Для оцінки результативності коміксів можна використовувати різні показники, такі як залучення нових пацієнтів, збільшення обсягу послуг або задоволення пацієнтів. Важливо проводити відповідні дослідження та аналізувати дані, щоб оцінити ефективність використання коміксів у медичному маркетингу.

Отже, використання коміксів як інструменту маркетингу та просування медичних закладів має свої переваги та можливості. Вони дозволяють передавати складну медичну інформацію зрозумілим та доступним способом, створюють емоційний зв'язок з пацієнтами та сприяють належній ідентифікації. Однак, використання коміксів також має свої виклики, такі як варіація в сприйнятті залежно від віку та культурних особливостей, потреба у належній експертизі та співпраці, а також потреба у вимірюванні ефективності. Не меншим викликом стосовно використання коміксів у повсякденній праці є економічна культура фахівця, яку необхідно формувати ще у навчальному закладі та підтримувати протягом всього життя [3].

Для успішного використання коміксів у медичному маркетингу, медичним закладам варто враховувати ці особливості. Важливо визначити цільову аудиторію та дослідити її вподобання та потреби, щоб створити комікси, які будуть ефективними для даної групи пацієнтів. Для оцінки ефективності використання коміксів в медичному маркетингу, необхідно збирати дані та аналізувати їх. Можна використовувати показники, такі як: залучення нових пацієнтів, збільшення обсягу послуг або задоволення пацієнтів, щоб визначити ефективність коміксів. Дослідження та аналіз даних допоможуть медичним закладам налаштувати свої стратегії маркетингу та вдосконалити використання коміксів.

## ПОСИЛАННЯ

1. Гудошник О. В. Documentary comics у сучасному науковому дискурсі та українському комікс-просторі. *Communications and communicative technologies*. 2019. №. 19. С. 32-40.

2. Гудошник О. В. Трансмедіальні наративи коміксової журналістики: світовий та український досвід. *Communications and Communicative Technologies*. 2020. №20. С. 32-41. <https://doi.org/10.15421/292005>.

3. Стасюк Ю. М. Формування економічної культури молодого фахівця. *Особистість у просторі культури: Матеріали Всеукраїнського науково-практичного симпозіуму*. 2009. Т. 24. С. 100-102.

4. Abbott L. L. Comic art: Characteristics and potentialities of a narrative medium. *Journal of popular culture*. 1986. Vol. 19. №. 4. P. 155-176.

5. Aldjic K., Farrell W. Work and Espoused National Cultural Values of Generation Z in Austria. *European Journal of Management Issues*. 2022. №30(2). P. 100–115. <https://doi.org/10.15421/192210>.

6. Cornoldi C. et al. Problem solving and working memory updating difficulties in a group of poor comprehenders. *Journal of Cognitive Education and Psychology*. 2012. Vol. 11. №. 1. P. 196-208. <https://doi.org/10.1891/1945-8959.11.2.196>.

7. Ganner J., Kerschbaumer L., Tanzer C. Enhancing and Restricting Factors of Formal Voluntary Engagement in Tyrol and the Impact of the Pandemic. *European Journal of Management Issues*. 2021. №29(2). P. 73–82. <https://doi.org/10.15421/192107>.

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*. 2023. Vol. 31. №1. P. 40-49. <https://doi.org/10.15421/192304>. [in Ukrainian]

9. Hudoshnyk, O., & Krupskyi, O. P. Science and comics: from popularization to the discipline of Comics Studies. *History of Science and Technology*. 2022. №12(2). P. 210-230. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-2-210-230>.

10. Kearns C. et al. Using comics and curiosity to drive pandemic research on a national scale. *Journal of Visual Communication in Medicine*. 2021. Vol. 44. №. 1. P. 12-22. <https://doi.org/10.1080/17453054.2020.1823206>.

11. Kearns C., Kearns N. The role of comics in public health communication during the COVID-19 pandemic. *Journal of visual communication in medicine*. 2020. Vol. 43. №. 3. P. 139-149. <https://doi.org/10.1080/17453054.2020.1761248>.

12. Masel E. K. et al. Using medical comics to explore challenging everyday topics in medicine: lessons learned from teaching medical humanities. *Annals of Palliative Medicine*. 2020. Vol. 9. №. 4. P. 12-12. <http://dx.doi.org/10.21037/apm-20-261>.

13. Mathewson J. H. Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science education*. 1999. Vol. 83. №. 1. P. 33-54. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199901\)83:1%3C33::AID-SCE2%3E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199901)83:1%3C33::AID-SCE2%3E3.0.CO;2-Z).

14. Romat, Y., & Biliavska, Y. (2020). gamification and its perception by generation «Z». *Scientific Notes of Ostroh Academy National University, "Economics" Series, 1*, 23–28. [https://doi.org/10.25264/2311-5149-2020-17\(45\)-23-28](https://doi.org/10.25264/2311-5149-2020-17(45)-23-28). [in Ukrainian]

15. Watson A. Fans of comic books in the U.S. 2019, *by age group*. STATISTA. 2019. URL: <https://www.statista.com/statistics/1005439/comic-book-fans-us-by-age/>.

16. Wegner G. Reflections on the boom of graphic pathography: The effects and affects of narrating disability and illness in comics. *Journal of Literary & Cultural Disability Studies*. 2020. Vol. 14. №. 1. P. 57-74.

17. Zaglewski T. From white eagles to turbopoles. The specifics of superhero narratives in Polish comic books. *Journal of Graphic Novels and Comics*. 2021. Vol. 12. №. 5. P. 574-588. <https://doi.org/10.1080/21504857.2020.1723659>.

18. Zamora L. P., Bravo S. S., Padilla A. G. C. Production of Comics in POWTOON as a Teaching-Learning Strategy in an Operations Research Course. *European Journal of Contemporary Education*. 2021. Vol. 10. №. 1. P. 137-147. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1294667.pdf>.

## ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЗЕЛЕНОГО МАРКЕТИНГУ

*Анастасія Костянтинівна Албатова*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7953-0839>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Петрович Крупський*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Зелений маркетинг – це просування екологічно безпечних, тобто екологічно стійкіших продуктів і технологій [9]. Він стосується розроблення та поширення рішень, що мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище. Зелений маркетинг – комплексне поняття, яке є функцією від вимушеної необхідності створити бізнес-стратегії, спрямовані на соціальну відповідальність та орієнтовані на людей, що віддають перевагу екологічно чистим продуктам. Polonsky and Rosenberger [6] вважають, що зелений маркетинг – це цілісний, комплексний підхід, який постійно переглядає те, як фірми можуть досягати корпоративних цілей і задовольняти потреби споживачів, зводячи до мінімуму довгостроковий екологічний збиток. Peattie [5] стверджує, що зелений маркетинг використовується для розроблення маркетингових заходів, спрямованих на зменшення негативного соціального та екологічного впливу наявних продуктів і виробничих систем та для просування менш шкідливих продуктів і послуг. Зелений маркетинг являє собою набір маркетингових стратегій і заходів, визначених й створених для полегшення операцій з товарами та/або послугами з метою задоволення потреб і бажань екологічно стійких споживачів. Отже, спосіб виробництва, комерціалізації, розповсюдження та продажу продуктів та/або послуг має враховувати інтереси споживачів у сфері охорони довкілля та сталого розвитку [8]. Дедалі більше поняття «зелений маркетинг» пов'язують з ідеями циркулярної економіки [4].

Зелений маркетинг знаходить собі застосування в різних екологічних бізнесах:

1. Створення екологічно чистих продуктів;
2. Просування зелених переваг наявних продуктів;
3. Пакування вашої продукції сталими способами;
4. Скорочення довгоруїнівного пакування;
5. Використання перероблених матеріалів у виробництві;
6. Використання зеленої енергії;
7. Використання стійких бізнес-практик;

8. Скорочення виробничих відходів;
9. Використання екологічно чистих методів;
10. Виготовлення багаторазових або перероблюваних продуктів тощо.

У своєму блозі Alejandro Rioja [7] запропонував такі переваги зеленого маркетингу (рис. 1).

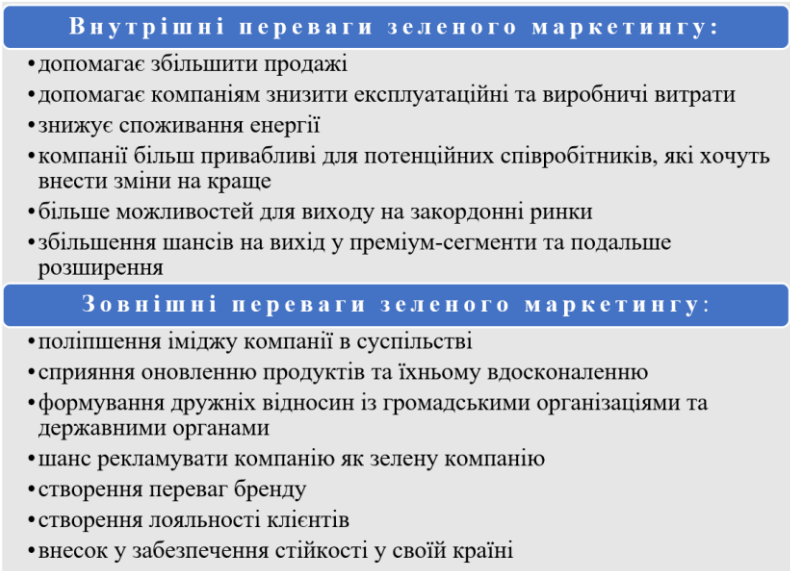


Рис. 1. Переваги зеленого маркетингу

Однак, недоліки зеленого маркетингу залишаються поза дослідницькими інтересами багатьох науковців. Але серед недоліків зеленого маркетингу потрібно відзначити:

1. Greenwashing: зелений маркетинг часто можна використовувати як інструмент, щоб ввести споживачів в оману, роблячи неправдиві або перебільшені заяви про екологічні переваги продукту. Це може призвести до втрати довіри та скептицизму серед споживачів.

2. Обмежений вибір продуктів: «зелений» маркетинг може зумовити скорочення асортименту доступних продуктів і послуг. Компанії можуть зосередитися, насамперед, на просуванні екологічно чистих варіантів, нехтуючи іншими вподобаннями або потребами споживачів.

3. Відсутність галузевих стандартів. Відсутність чітких і стандартизованих визначень або керівництв із зеленого маркетингу може призвести до непослідовної практики і плутанини серед споживачів.



Це заважає їм відрізнити справжні екологічно чисті продукти від тих, які просто продаються як такі.

4. Підвищена складність: реалізація стратегій зеленого маркетингу часто потребує значних досліджень, планування та ресурсів. Компаніям необхідно проводити оцінку життєвого циклу, обирати екологічно чисті матеріали, оптимізувати ланцюжки постачань і дотримуватися різних екологічних норм. Ця складність може створювати проблеми для підприємств, особливо малих і середніх підприємств з обмеженими ресурсами.

5. Обмежена обізнаність споживачів. Незважаючи на зростаючу популярність зеленого маркетингу, багато споживачів, як і раніше, мають обмежені знання про екологічні проблеми та методи сталого розвитку. Ця відсутність обізнаності може підірвати ефективність екологічних маркетингових кампаній і ускладнити для компаній донесення істинної цінності їхніх екологічно чистих продуктів або ініціатив.

6. Сприйнята втрата продуктивності або якості: деякі споживачі можуть сприймати екологічно чисті продукти як нижчі з погляду якості або продуктивності, порівнюючи з традиційними продуктами. Таке сприйняття може стати перешкодою для впровадження стійких продуктів, навіть якщо вони настільки ж ефективні, як і їхні неекологічні аналоги.

7. Обмежений споживчий попит: незважаючи на дедалі більшу обізнаність про екологічні проблеми, попит на екологічно чисті продукти та послуги все ще може бути відносно низьким. Багато споживачів віддають перевагу таким факторам, як ціна, зручність і лояльність до бренду, а не екологічним міркуванням. Цей обмежений попит може ускладнити для компаній обґрунтування інвестицій в ініціативи зеленого маркетингу.

8. Можливість непередбачуваних наслідків: ініціативи в галузі екологічного маркетингу можуть ненавмисно призвести до негативних наслідків для довкілля. Наприклад, заохочення використання певних екологічно чистих матеріалів або продуктів може збільшити попит на них, що призведе до надмірної експлуатації природних ресурсів або збільшення забруднення, пов'язаного з виробництвом.

9. Відсутність прозорості в ланцюжках поставок. Зелений маркетинг часто фокусується на підкресленні стійкості та екологічності кінцевого продукту без надання прозорої інформації про весь ланцюжок постачання. Відсутність прозорості ускладнює для споживачів оцінку реального впливу продукту на навколишнє середовище, наприклад, джерел сировини, виробничих процесів і транспортування.

10. Недостатнє регулювання і правозастосування. У багатьох

юрисдикціях регулювання і правозастосування щодо заяв про екологічно чистий маркетинг можуть бути непослідовними або неадекватними. Така відсутність нагляду дає змогу компаніям робити екологічні заяви, що вводять в оману або необґрунтовані, без серйозних наслідків. Це підриває довіру до зеленого маркетингу і підриває довіру споживачів до екологічно чистих продуктів та ініціатив.

11. Складність вимірювання та порівняння впливу на довкілля: екологічний маркетинг часто спирається на екологічні заяви та сертифікати, щоб продемонструвати позитивний вплив продукту або послуги. Однак вимірювання та порівняння реального впливу різних продуктів на довкілля може бути складним і суб'єктивним. Відсутні стандартизовані методології та показники для оцінювання та порівняння екологічних характеристик різних продуктів, що ускладнює для споживачів можливість робити усвідомлений вибір на основі точної інформації. Це може призвести до плутанини і скептицизму серед споживачів щодо реальних екологічних переваг ініціатив зеленого маркетингу.

12. Насичення ринку: зі зростанням популярності зеленого маркетингу ринок може насититися численними екологічно чистими продуктами та послугами. Це насичення може ускладнити для компаній диференціацію і виділитися серед конкурентів, що призведе до посилення конкуренції та потенційного зниження норми прибутку.

13. Обмежена масштабованість: реалізація екологічних ініціатив і маркетингових стратегій може зіткнутися з обмеженнями масштабованості. Деякі екологічно безпечні методи, як-от пошук стійких матеріалів або використання поновлюваних джерел енергії, можуть мати обмежену доступність або вищі витрати, що ускладнює масштабування бізнесу підприємствами за збереження своїх екологічних методів.

14. Споживчий скептицизм: критичне ставлення до нових продуктів і послуг, викликане переконаністю в їхній концептуальній непотрібності. Наприклад, до продуктів біотехнологічних розробок [1].

Однак, майбутнє зеленого маркетингу виглядає багатообіцяюче, оскільки споживачі стають дедалі більш екологічно свідомими та вимагають сталих продуктів і послуг. Крім того, розвиток компаній часто ускладнюється, якщо вони не дотримуються принципів зеленої економіки та соціальної відповідальності [3, 2]. Очікується, що ця тенденція збережеться, і підприємства, які віддають пріоритет екологічній стійкості, матимуть значну перевагу на ринку. Крім того, зростання цифрового маркетингу та електронної комерції дало змогу компаніям охопити ширшу аудиторію, зокрема екологічно свідомих споживачів з усього світу. Інструментом успішного виведення на ринок

нових зелених технологій у сучасних умовах виступає маркетингове управління. Сильними сторонами зеленого маркетингу є орієнтованість на розвиток іміджу бренду та репутації виробника; реалізація корпоративної соціальної відповідальності, яка перевищує планку законодавчих вимог; збільшення конкурентних переваг на ринку; підвищення рентабельності виробництва та експлуатації.

## ПОСИЛАННЯ

1. Holei Y., Stasiuk Y., Krupskyi O. Research on world trends in biotechnology development. *Innovative Economy*. 2022. №. 1. P. 12-22. <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.1.2>. (in Ukrainian)
2. Horák J. et al. Bioenergy production from sunflower husk in Ukraine: potential and necessary investments. *Journal of Business Economics and Management*. 2023. Vol. 24. №. 1. P. 1–19–1–19.
3. Karpiuk, Z., Krupskyi, O., & Stasiuk, Y. (2023). Prospects for the development of social responsibility based on the experience of global pharmaceutical companies. *Science Notes of KROK University*. 2023. №1(69), P. 136–151. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-69-9-136-151>. (in Ukrainian)
4. Lygina, O., Urazgaliyeva, M., Kalaganova, N., & Rykova, I. Waste Management in the Context of Transition to a Circular Economy: the Case of Kazakhstan. *European Journal of Management Issues*. 2021. Vol.29. №2. P. 93-100. <https://doi.org/10.15421/192109>.
5. Peattie K. Towards sustainability: the third age of marketing. *The Marketing Review*. 2001. Vol. 2. P. 129-146. <https://doi.org/10.1362/1469347012569869>.
6. Polonsky M.J., Rosenberg P.J. Reevaluating green marketing: a strategic approach. *Business Horizons*. 2001. Vol. 44. № 5. P. 21-30. [https://doi.org/10.1016/S0007-6813\(01\)80057-4](https://doi.org/10.1016/S0007-6813(01)80057-4).
7. Rioja A. What Is Green Marketing And How To Do It? [Benefits & Tips] *Alejandro Rioja*. 2020. [Electronic resource] URL: <https://alejandro-rioja.com/what-is-green-marketing/>.
8. Vural C.A. et al. *Green Marketing. Encyclopedia of Sustainable Management*. S. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo, R. Abreu, Eds. Springer. Cham. 2020.
9. Wahab S. Sustaining the environment through green marketing. *Review of Integrative Business and Economics Research*. 2018. Vol. 7. P. 71-77. URL: [http://www.sibresearch.org/uploads/3/4/0/9/34097180/riber\\_7-s2\\_h17-044\\_71-77.pdf](http://www.sibresearch.org/uploads/3/4/0/9/34097180/riber_7-s2_h17-044_71-77.pdf).

## ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЕРАТОРІВ ЯК ЧИННИК АВАРІЙНОСТІ

*Олексій Володимирович Шевяков*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8348-1935>

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

**Вступ.** З розвитком та ускладненням техніки зростає значення людського фактора на виробництві. Необхідність вивчення цього фактора (тобто фізіологічних, психологічних, психофізіологічних можливостей людини) при розробці та вдосконаленні технологічних процесів, при організації виробництва та експлуатації людино-машинних систем стає очевидною. Від успішності вирішення цього завдання залежить ефективність та надійність створюваної техніки [1]. Зростання ролі людини та масштабів сфери психофізіологічної активності суб'єкта-професіонала в галузі техніки походить від індивідуальної активності до міжособистісних взаємодій фахівців та їх соціальної активності [2, 3].

Аналізуючи найзагальніші компоненти діяльності оператора енергоблоку АЕС, ми ставили за мету конкретизацію концептуальної моделі керованого процесу, яка дає оператору можливість співвіднести різні частини технологічного процесу загалом та діяти ефективно. Надійність діяльності оператора у різних ситуаціях забезпечується сформованістю окремих концептуальних моделей діяльності.

Розгляд уявних моделей оперативного персоналу АЕС зазвичай уявляється так: устаткування АЕС – це інформаційний простір, де у часовому режимі різних експлуатаційних ситуацій розгортається прояв технологічного процесу. Мисленнєва модель обладнання АЕС має просторово-часові характеристики уявних процесів. Уявно оператор може представити реактор, турбіну або будь-яке інше обладнання в згорнутому або розгорнутому вигляді.

Нині аварійність з вини операторського персоналу АЕС значно зросла: у низці виробничих енергетичних об'єднань кожна друга аварія викликана неправильними діями персоналу. При традиційному підході до аналізу аварій справжні причини нерідко залишаються нез'ясованими, а розроблені протиаварійні заходи – неефективними. Це зумовлено тим, що зазвичай детальному аналізу піддаються оперативні ситуації напередодні аварії, неправильні дії оператора, які безпосередньо призвели до аварії або посилили її розвиток, а також супутні обставини. Сам оператор, який перебував на робочому місці, його психологічні та психофізіологічні характеристики, як правило, залишаються поза увагою. Тим часом безліч фактів свідчать про

можливість розвитку несвідомих психоемоційних реакцій операторів АЕС у процесі діяльності, що нерідко призводить до розвитку помилок управління, передаварійних та аварійних ситуацій. Зокрема, оператори АЕС подвійно оцінюють успішність виконуваних ними дій: з точки зору актуальної успішності (як дія реально протікає) і потенційної успішності (як хотілося б, щоб вона протікала). Друга оцінка пов'язана із системоутворюючим фактором – орієнтацією на майбутній результат дії.

**Мета та задачі** – визначення особливостей операторської діяльності та провідних факторів формування її психофізіологічної напруженості у фахівців атомних електростанцій. Завданням дослідження була апробація методичного підходу до діагностики психофізіологічного стану та отримання критеріїв сформованості складових такого стану у операторів атомної електростанції.

**Матеріали і методи.** Дослідження здійснювалось в упродовж 2020–2022 років на базі Хмельницької атомної електростанції (ХАЕС) України. Для з'ясування специфіки діяльності автором здійснено контент-аналіз посадових інструкцій провідних інженерів-операторів з управління, а також складання та аналіз ергономічних контрольних карток.

Проведено спеціальні дослідження, які мали на меті отримання емпіричного матеріалу про процес, засоби та умови діяльності, а також про психофізіологічний стан операторів у реальному масштабі часу, для чого було визначено кілька окремих завдань:

- 1) дослідження динаміки реактивної тривожності (за Спілбергером-Ханінім);
- 2) вивчення динаміки самопочуття, активності, настрою (методика САН);
- 3) вивчення стійкості концентрації уваги операторів протягом зміни (коректурна проба Бурдона).
- 4) дослідження динаміки фізіологічних та психофізіологічних показників (тривалість кардіоінтервалів, артеріальний тиск, латентні періоди сенсомоторних реакцій, критична частота злиття світлових миготінь (КЧЗСМ), динамометрія).

Було обстежено операторів блочного щита управління (БЩУ) у кількості 21 особи (усі чоловіки) віком від 25 до 45 років, що становить 67% від загальної кількості оперативного персоналу першого блоку. Обстежено три зміни.

Вибір методів дослідження функціонального стану операторів ґрунтується на показниках валідності та надійності, а також виходячи з тривалості їх проведення (2-5 хвилин), що дозволяє не відволікати оператора від процесу керування тривало. У виробничих умовах

дослідження повторювалися чотири рази протягом зміни, за винятком коректурної проби, яка апробована лише з однією зміною тричі протягом зміни.

Отримані результати опрацьовувалися з використанням загальноприйнятих методів варіаційної статистики. При цьому окремо обстежено операторів енергоблоків (10 осіб), віком від 24 до 49 років, неправильні дії яких, на думку спецкомісії, стали причиною помилок управління та передаварійних ситуацій (експериментальна група). До контрольної групи увійшли оператори віком від 25 до 45 років, які пройшли планове психофізіологічне обстеження в період професійної підготовки в навчально-тренувальному центрі та успішно працюють операторами енергоблоків.

**Результати.** Як показує аналіз посадових інструкцій операторів, діяльність персоналу АЕС можна схарактеризувати як очікування аварійно небезпечних відхилень параметрів устаткування (табл. 1). Саме за їх виникненні і за неможливості ліквідації невідповідностей автоматики повинні починати діяти оператори.

Таблиця 1  
Компоненти діяльності оператора енергоблоку АЕС

Найменування одиниці діяльності	Результати виконання одиниці діяльності	Фактори, що ускладнюють виконання одиниці діяльності
Прийм та переробка оперативної інформації	Формування концептуальної моделі оперативної ситуації	Проектування, виготовлення системи відображення інформації без урахування ергономічних вимог, невміння взаємодіяти з інформаційною моделлю, формувати образно-концептуальну модель.
Аналіз оперативної ситуації	Оцінка ступеня відхилення значень параметрів від заданих. Виявлення причин відхилення	Динаміка розвитку відхилення. Обсяг інформації, яку слід переробляти. Невідповідність психофізіологічних та особистісних особливостей оператора вимогам діяльності. Кількість причинно-наслідкових зв'язків.
Прийняття рішення	Алгоритм керуючих впливів	Рівень складності алгоритма керуючих впливів. Дефіцит часу
Реалізація прийнятого рішення	Досягнення відповідності реальних значень параметрів та вимог до них	Невідповідність блокового щита керування ергономічним вимогам. Дефіцит часу. Психофізіологічна невідповідність оператора режиму діяльності. Несформованість професійних навичок

Процес засвоєння професійних знань та навичок операторської діяльності супроводжується формуванням складної, ієрархічно організованої функціональної системи. Цей процес детермінований психофізіологічними та особистісними особливостями операторів у період навчально-тренувальної діяльності, тому ефективність навчання операторів визначається тим, як враховуються індивідуально-психологічні особливості, та можливістю напрямів корекції професійно-важливих психофізіологічних якостей (ПВПЯ) у період профпідготовки, тобто індивідуалізацією навчання.

Індивідуальні бальні значення динаміки функціонального стану операторів ХАЕС, а також усереднені методами первинної статистичної обробки дані щодо функціонального стану «екіпажу» (септетів) операторів наведені у таблицях 2 та 3.

Таблиця 2  
 Динаміка показників САН операторів Хмельницької АЕС (М ± m)

Оператори, група	Показники функціонального стану												
	Самопочуття (бали)				Активність (бали)				Настрій (бали)				
	9 го-дин	11 го-дин	13 го-дин	16 го-дин	9 го-дин	11 го-дин	13 го-дин	16 го-дин	9 го-дин	11 го-дин	13 го-дин	16 го-дин	
Зміна 1	Е	4,5± 0,5	4,4± 0,3	4,3± 0,2	4,1± 0,2	4,0± 0,3	4,0± 0,4	4,0± 0,3	3,5± 0,5	4,0± 0,5	3,8± 0,3	3,7± 0,5	3,5± 0,5
	К	6,0 ± 0,7*	6,0 ± 0,7*	5,9 ± 0,6*	5,5 ± 0,9*	5,3 ± 0,7*	5,4 ± 0,6*	5,4 ± 0,6*	5,0 ± 0,8*	5,3± 0,4*	5,1± 0,5*	5,1 ± 0,6*	5,0± 0,8*
Зміна 2	Е	5,6 ± 0,9	5,3 ± 0,4	5,0 ± 0,7	4,5 ± 0,3	5,4 ± 0,5	5,1 ± 0,6	4,7 ± 0,6	4,6 ± 0,6	5,0 ± 0,4	5,1 ± 0,5	4,8 ± 0,3	4,6 ± 0,3
	К	6,3± 0,5*	6,2± 0,3*	6,0± 0,3*	6,5± 0,5*	6,4± 0,2*	6,0± 0,3*	6,5± 0,5*	6,5± 0,5*	6,1 0,3*	6,1± 0,2*	6,7± 0,3*	6,5± 0,4*
Зміна 3	Е	3,8± 0,5	3,7± 0,3	3,5± 0,5	3,4± 0,4	3,8± 0,5	3,6± 0,5	3,5± 0,5	3,3± 0,5	3,5± 0,5	3,4± 0,5	3,3± 0,5	3,2± 0,5
	К	5,4 ± 0,6*	5,2 ± 0,5*	4,7 ± 0,3*	4,7 ± 0,3*	5,3 ± 0,5*	5,0 ± 0,5*	5,1 ± 0,3*	4,9 ± 0,5*	5,5 ± 0,4*	5,0 ± 0,6*	5,0 ± 0,5*	4,8 ± 0,4*

Примітки: 1. Достовірність міжгрупової різниці: 0,95 (\*); 0,99 (\*\*); 0,999 (\*\*\*) . 2. Е-експериментальна група, К-контрольна група операторів.

З представлених даних видно, що усереднені показники самопочуття помірно знижувалися від початку до кінця зміни, становлячи від 6,0 балів (зміна 1, початок роботи) до 4,5 балів (зміна 2, кінець роботи) за 7-бальною шкалою.

Таблиця 3

Динаміка фізіологічних та психофізіологічних показників операторів зміни 2 ХАЕС (M±m)

Показник, група	Перед початком роботи	Під час роботи			Після роботи
		на початку	в середині	наприкінці	
Е R-R, інтервал, с К	0,8±0,2 1,0±0,2*	0,7±0,2 0,9±0,1*	0,6±0,1 0,8±0,3*	0,6±0,2 0,8±0,2*	0,5±0,2 0,7±0,3*
АТС, Е мм. рт. ст. К	130±5 125±5	130±5 125±5	140±5 130±5	140±5 130±5	140±5 135±5
АТд, мм рт. ст. Е К	75±5 70±5	75±5 70±5	75±5 70±5	85±5 75±5	85±5 80±5
Пульсовий тиск, Е мм. рт. ст. К	55±5 55±5	55±5 55±5	65±5 60±5	55±5 55±5	55±5 55±5
М'язова сила, кг Е К	55±5 65±5*	53±4 63±5*	48±5 59±3	45±5 56±4*	35±5 47±5*
Витривалість, Е с К	28±5 35±5*	25±5 34±5*	23±3 33±5*	20±3 30±5*	18±5 27±5*
ЛП ПЗМР, Е мс К	205±5 180±5**	213±7 185±5**	220±9 190±5**	235±8 195±5**	245±8 200±5**
ЛП ПСМР, Е мс К	180±9 160±5**	192±5 165±5**	205±5 170±5**	208±5 180±5**	211±7 180±5**
КЧЗСМ, Е Гц К	45±5 55±5**	42±5 53±5**	40±5 51±5**	40±5 50±5**	35±5 50±5**

Примітка. ЛП ПЗМР, ЛП ПСМР – латентні періоди простих зорово- і слухомоторних реакцій відповідно, КЧЗСМ – критична частота злиття світлових миготінь.

Динаміка змін показників активності є складнішою картиною, яку можна інтерпретувати як виражене стійке зниження для зміни 2 (від 5,4 балів на початку зміни до 4,5 балів наприкінці), як недостатньо виражене зниження для зміни 1 (від 5,3 балів на початку зміни до 4,9 балів наприкінці, причому середньогрупова активність «екіпажу» підтримувалася на стабільному рівні протягом 4-х годин). Таку ж



тенденцію виявлено й для зміни 3 (розмах коливань активності операторів становить від 5,3 до 4,8 балів).

Показники динаміки настрою коливаються найменшою мірою і стійко й помірно знижувалися від початку до кінця зміни подібним чином для всіх трьох «екіпажів»: розмах коливань настрою від 5,4 балів (зміна 3, початок роботи) до 4,6 балів (зміна 2, кінець зміни).

Наголошуємо на виявленій середньою мірою тенденції наростання реактивної тривожності від початку до кінця зміни, особливо для «екіпажів» 2 і 3. Розмах усереднених значень тривожності становив від 21 бала в зміні 1 до початку роботи до 31 бала в зміні 2 наприкінці роботи.

Динаміка концентрації уваги з коректурних проб досліджувалася лише для однієї зміни операторів о 9 годині (початок роботи), 13 годині (через чотири години діяльності) й о 16 годині (кінець зміни). При цьому фіксувалися показники продуктивності за одну хвилину протягом п'ятихвилинного обстеження, показники допущених помилок та стійкості концентрації уваги. Можна відзначити, що до початку зміни загальна картина характеризувалася розкидом індивідуальних відмінностей за стійкістю від 79 знаків до 663. Через чотири години діяльності констатовано мінімум стійкості концентрації уваги (63 знаки) у оператора 5 при максимумі оператора 3 (636). До кінця зміни максимум стійкості концентрації уваги відзначений у оператора 7 (1035 знаків) при мінімумі оператора 4 (69 знаків). Виявлено тенденції збільшення стійкості уваги від початку до кінця зміни (оператори 2, 3, 7), зниження стійкості (оператори 4, 5) щодо стабільної стійкості (оператори 1, 6).

Методами вторинної статистичної обробки нами розраховані коефіцієнт лінійної та рангової кореляції між реактивною тривожністю та самопочуттям. Встановлено, що коефіцієнт Пірсона коливається від  $-0,87$  до  $0,70$ , у середньому становлячи величину  $0,03$ , що свідчить про низьку кореляцію між досліджуваними показниками. Коефіцієнт Спірмена коливається від  $-0,2$  до  $0,16$  (в середньому  $0,2$ ), підтверджуючи виявлену слабку позитивну кореляцію досліджених показників.

Середня тривалість R - R - інтервалів зменшується до кінця роботи, що відповідає почастишанню серцевої діяльності на 38%. Чутливими до навантаження виявилися показники м'язової сили (зменшення на кінець зміни на 36%), витривалості (зменшення на 38%). Характер зміни психомоторних функцій відбивають показники ЛП ПЗМР (збільшення на 15%) та ЛП ПСМР (збільшення на 18%), а психофізичних функцій – показник КЧЗСМ (зменшується на 22% до кінця зміни). Результати, подані в табл.3, свідчать про слабку тенденцію

підвищення до кінця роботи значень артеріального тиску (на 7 - 9%).

З усієї сукупності (31 особа) обстежуваних операторів 10 операторів робили серйозні помилки управління, які призводили до передаварійних ситуацій, інші – становили контрольну групу.

Досліджуючи їх психологічні, фізіологічні та психофізіологічні характеристики, а також успішність освоєння та реалізації операторської діяльності, ми отримали дані, що свідчать про різну професійну придатність операторів експериментальної та контрольної груп (табл. 2, 3). Найбільшою мірою вони виражені за показниками, що відображають рівень розвитку концентрації уваги, психофізичних та психомоторних характеристик ( $p < 0,01$ ). У меншій мірі, хоч і з високою ймовірністю, виражені відмінності в показниках методики САН, реактивної тривожності, динамометрії та гемодинаміки ( $p < 0,05$ ).

У цілому, характеризуючи динаміку показників функціонального стану «екіпажів» (септетів) операторів ХАЕС, можна назвати такі емпірично виявлені тенденції:

1. Середні групові показники самопочуття, активності, настрою, що виявилися в динаміці змінної діяльності, характеризуються середніми та високими значеннями та мають помірно виражену тенденцію до зниження від початку до кінця зміни. При цьому слід відзначити факт виявлення стабілізації показників активності протягом 4 годин безперервної діяльності операторів, зафіксованих у двох змінах з трьох обстежених.

2. Показники реактивної тривожності характеризуються середньо вираженою тенденцією наростання від початку до кінця зміни.

3. Динаміка показників концентрації уваги виявила неоднорідну картину протилежних тенденцій. Оператори з найвищою стійкістю концентрації уваги на початку зміни через чотири години безперервної діяльності знизили її до величин, що зіставляються з показниками операторів, що характеризуються мінімумом стійкості концентрації уваги на початку зміни. Останні, у свою чергу, збільшували абсолютні значення стійкості концентрації уваги. Очевидно, цей факт відбиває особливості розподілу-узгодження функцій управління всередині операторського колективу.

4. Динаміка фізіологічних та психофізіологічних показників виявила характерну для операторів автоматизованих систем управління картину помірно втоми.

5. Порівняльний аналіз фізіологічних, психологічних та психофізіологічних характеристик операторів експериментальної та контрольної груп вказує на те, що «винуватцям» передаварійних ситуацій властиві низькі показники самопочуття, активності, настрою, що поєднуються з тривогою за стан свого здоров'я, труднощами у

колективному виконанні роботи та соціальних контактах, а також прагненні уникати ситуацій, що вимагають прийняття відповідальних рішень та психофізіологічної напруги.

**Висновки.** При вирішенні кадрових проблем на атомних електростанціях, що характеризуються складною високоавтоматизованою системою управління, доцільним є врахування техніко-технологічних факторів у зв'язку з психофізіологічними особливостями оперативного персоналу.

Комплекс методів дослідження функціонального стану операторів ХАЕС можливо використовувати для оптимізації професійного відбору та підготовки фахівців-операторів, що може дати соціально-економічний ефект від зниження аварійності та витрат на профпідготовку. Доданками цього ефекту будуть підвищення ефективності та якості операторської діяльності, продуктивності та надійності виконання виробничих завдань, збільшення професійного довголіття, зниження травматизму та професійно обумовленої захворюваності оперативного персоналу атомних електростанцій.

Одночасно з цим можна говорити про підвищення ефективності всієї людини – машинної системи в цілому, маючи на увазі насамперед показники керованості, засвоєння, обслуговування та використання, тобто складові ергономічності.

Таким чином, отримані дані можуть бути корисними при визначенні динаміки психофізіологічного стану фахівців атомних електростанцій та у перспективі мають розглядатись як мішені соціально-медичної підтримки персоналу при створенні диференційованих психореабілітаційних програм.

## Посилання

1. Kim T.K. A test as parametric statistic. *Korean J Anesthesiol.* 2015. Vol.68, №6. P.540-546. [Електронний ресурс] <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>. (дата звернення: 02.04.2022).

2. Shevchenko O., Burlakova I., Sheviakov O., Agarkov O., Shramko I. Psychological foundations of occupational health of specialists of economic sphere. *Медицинські перспективи.* 2020. Т. 25. №2. С. 163-167.

3. Sheviakov O., Gerasimchuk O. Psychological aspects of formation of professional health safety of specialists System. *International security studios managerial, economic, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects.* International collective monograph. Tbilisi, Georgia. 2023. Georgian Aviation University. №60. "International Educations and scientists Foundation". P. 1133-1147.

## КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ РОБОТИЗАЦІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ

*Тетяна Михайлівна Кадильникова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0817-9466>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Сергій Володимирович Коровніченко*

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Сучасний стан машинобудування в Україні характеризується застосуванням робототехнічних технологій, що обумовлює високу продуктивність виробництва та суттєву залежність від процесів автоматизованого керування процесами. Аналітичний огляд системотехнічних методів рішення проблеми автоматизації та управління в машинобудуванні дозволяє встановити, що скорочення строків та витрат на реалізацію модернізації виробництва потребує розробки нових методів моделювання та оптимізації процесів технічної підготовки всього робототехнічного комплексу.

Центральним завданням при цьому є процедура розгляду варіантів проєктів з оцінкою альтернатив за вибраними критеріями, що передбачає, перш за все, на початковому етапі, саме створення цих проєктів.

Створення проєктів – це багатопланове завдання завдяки необхідності обліку та оцінювання великої кількості сполучень економічних, технічних, фінансових та організаційних, що індивідуально до конкретного структурного елементу виробництва. Загальною задачею при цьому є створення методології управління проєктами з урахуванням особливостей застосування робототизації.

У якості методологічної основи розробки концепції управління проєктами роботизації в машинобудуванні прийнято підхід, запропонований в [1], який передбачає пошук рішень з дотриманням наступних принципів:

- узгодженість цілей  $H$ ;
- задоволеність всіх учасників  $Z$ ;
- єдність основи  $U$ ;
- неповна детермінованість і стохастичність  $I$ ;
- повнота системи  $Q$ ;
- розвиток  $D$ ;
- комплексність підходу  $Y$ .

Згідно з цими принципами концепцію удосконалення управління проєктами роботизації виробництва пропонується будувати на

відповідних постулатах:

– основна мета концепції, а саме роботизації, має бути сумісною з цілями інших концепцій, що визначають функціонування різних складових виробництва (принцип узгодженості цілей);

– реалізація проекту не повинна погіршувати умови виконання основних завдань виробництва та функціонування інших систем, що забезпечують досягнення мети (принцип задоволеності всіх учасників);

– методологія застосування термінів повинна інтегрувати досвід традиційних методів проведення роботизованих дослідницьких та виробничих робіт [2, 3], а також створювати нові поняття, терміни і визначення як похідні від застосування нового інструментарію для виробництва (принцип єдності основи);

– відсутність у практиці однозначних точних значень показників ефективності робототехнічних комплексів має компенсуватись розробкою науково обґрунтованих методик оцінювання ефективності застосування роботів у проектах машинобудування з урахуванням ризиків (принцип неповної детермінованості да стохастичності) на основі аналітичного або сценарного підходів [4, 5];

– рівень деталізації проробки основних положень концепції щодо технічного, кадрового та організаційного забезпечення має відповідати рівню деталізації складових виробництва, для якого вона розробляється (принцип повної системи);

– спрямованість на інноваційний розвиток та створення на їх основі спеціалізованих систем виробничого призначення і роботизованих технологій, використання новітніх досягнень у галузі управління проектами, що має збільшити ефективність їх використання при виконанні головних завдань (принцип розвитку);

– впровадження концепції управління проектами роботизації в машинобудуванні повинно мати комплексну позитивну дію на науково-виробничу діяльність та стимулювати використання робототехнічних комплексів, розвиваючи при цьому нові форми використання отриманої технічної інформації (принцип комплексності підходу).

З цих постулатів, із залученням теорії концептуального моделювання [6], модель управління проектом роботизації машинобудування  $K$  буде мати вигляд:

$$K = \{H; Z; U; I; Q; D; Y\}.$$

Виходячи з множини принципів як переліку взаємопов'язаних завдань, які мають розв'язок з урахуванням властивостей їх елементів і причинно-наслідкових зв'язків, властивих предмету дослідження та

суттєвих для досягнення мети моделювання, можна здійснити управління на протязі життєвого циклу технологічної системи за схемою «точно в строк» та «в границях кошторису».

Для його реалізації була поставлена задача дослідження математичних залежностей, які описують стан об'єкту управління з позицій аналізу виробничої потужності. Концепція розвитку виробничої системи дозволила одержати аналітичний опис процесу розвитку машинобудівного виробництва за допомогою послідовної зміни кривих розвитку.

Математичний вид емпіричних кривих розвитку з достатньою точністю описуються рівнянням Ферхюльста [7]:

$$S = (KP \exp(rt+x)/(K+P \exp(rt+x))+y,$$

де  $S$  – виробнича потужність підрозділу,  $K$  – максимальний рівень виробничої потужності,  $P$  – початкове значення виробничої потужності,  $r$  – стратегія, що передбачає перехідний процес приросту потужності за час виконання проекту,  $x$ ,  $y$  – коефіцієнти зсуву по осі абсцис (час) та ординат (виробнича потужність), відповідно.

Для визначення граничних умов для побудови кривої розвитку застосовується каскад рівнянь:

$$\begin{aligned}
 k \int_{t_1}^{t_{min}} V(t)dt &= \int_{t_1}^{t_{ok}} M(t)dt \\
 &\downarrow \\
 V(t_{max}) &= S_{t_{max}} \cdot F + M(t_{max}) - M(t_1) \\
 &\downarrow \\
 K &= K_u \int_{t_{min}}^{t_{max}} E(t)dt + \int_{t_{min}}^{t_{max}} A(t)dt + \int_{t_1}^{t_{max}} \Delta K(t)dt \\
 &\downarrow \\
 C &= V^* - (S_{t_{max}}F + \Delta M(t^*) - \Delta M(t_{t_{max}})),
 \end{aligned}$$

де  $t_{min}$  – найбільш ранній строк проекту;  $t_{max}$  – найбільш пізній строк здійснення проекту;  $t_{ok}$  – розрахунковий строк окупності капіталовкладень, який визначений в акті введення додаткових виробничих потужностей в момент  $t_1$ ;  $t_1$  – строк попередньої реконструкції;  $V(t)$  – функція зміни об'єму випуску продукції у часі;  $k$  – коефіцієнт зміни наведених витрат з моменту  $t_1$ ;  $M$  – виробнича потужність цеху;  $S$  – функція зміни від мінімуму до максимуму числа обладнання (робітв)

в цеху або на виробничій ділянці;  $F$  – річний дійсний (ефективний) фонд часу роботи одиниці обладнання за рік,  $K$  – капіталовкладення в проєкт для моменту часу  $t_{\max}$ ;  $K_u$  – доля від чистого прибутку ( $E$ ), яка спрямована на технічне переозброєння виробництва та одержана в інтервалі  $(t_{\min}; t_{\max})$  як від реалізації проєкту, що здійснюється в момент  $(t_1)$ , так і від суми організаційно-технічних заходів по технічному переозброєнню окремих робочих місць цеху або дільниць в інтервалі  $(t_1; t_{\max})$ ;  $A$  – амортизаційні відрахування;  $C$  – потрібний приріст виробничої потужності для забезпечення об'єму випуску  $V^*$  до моменту часу  $t^*$ .

У каскаді рівняння вирішуються послідовно, а саме, результат першого рівняння підставляється у друге, і так далі. Програма MatLab в якості основної математичної моделі в запропонованому каскадному методі використовує нові залежності - криві розвитку за допомогою вирішення рівнянням Ферхюльста.

Очевидно, що основна (каскадна) модель управління проєктами роботизації в машинобудуванні має передбачати п'ять класичних фаз виконання: вимоги, проєктування, реалізація, тестування, експлуатація.

Розглянемо особливості виконання зазначених фаз, маючи за мету розробку моделей управління проєктами роботизації як теоретичного інструментарію підвищення їх ефективності.

Фаза визначення вимог до проєкту роботизації має включати наступні чинники: об'єкт, робоча зона, яка може сягати десятків квадратних метрів; вид виробничої діяльності, до якої залучаються засоби робототехніки; вимоги до продуктивності; законодавче забезпечення.

Фаза розробки проєкту роботизації має включати формування експлуатаційних характеристик обладнання, яке необхідно застосовувати в технологічних процесах, розробку відповідних технологій їх використання, а також оцінку ризиків, пов'язаних з їх застосуванням. Виробничим вихідним документом цієї фази має бути перелік моделей для управління процесами та оцінки їх ризиків.

Фаза реалізації проєкту роботизації має включати розробку (вибір існуючих) організаційних структур виробництва та їх приладового забезпечення, а також розробку моделей для організації та моніторингу виробничих процесів.

Фаза тестування проєкту роботизації має включати управління процесами випробувань. Якщо результати тестування виявились незадовільними, передбачається ітераційний процес для вдосконалення управління проєктом на попередній фазі його реалізації.

Фаза експлуатації проєкту роботизації має містити відомості про розроблені організаційні структури та необхідне ресурсне забез-

печення для роботизованих комплексів, дозвільну документацію на їх проведення робіт та їх планування. Науковими результатами цієї фази мають бути моделі організаційних структур для роботизованих комплексів та моделі управління процесами їх виконання.

Застосування класичної каскадної технології, де основним результатом має бути матеріальний продукт, передбачає управління процесами створення проєктів та технологій їх застосування, управління процесами впровадження, а також управління процесами удосконалення нормативно-законодавчої бази у галузі машинобудування.

### Посилання

1. *Рач, В. А.* Принципи формування концепцій [Текст] / *В. А. Рач* // Вісник Державної служби України. – 2000. – № 3. – С. 93–95.
2. Бушуєва Н. С. Управління проєктами та програмами організаційного розвитку: навч. посіб. / Н.С. Бушуєва, Ю.Ф. Ярошенко, Р.Ф. Ярошенко. – К.: Саммит-Книга, 2010. – 200 с.
3. Організаційна поведінка / Д. Гелрігел, Дж. В. Слокум-молодший, Р.В. Вудмен, Н.С. Бренінг; Пер. з англ.. І. Тарасюк, М. Зарицька, Н. Гайдукевич. – К.: Вид-во «Основи», 2011. – 726 с.
4. Бушуєв С. Д. Управление проєктами. Основы профессиональных знаний и система оценки компетентности проектных менеджеров: монографія / С. Д. Бушуєв, Н. С. Бушуєва // Українська асоціація управління проєктами. – К., 2006. – 202 с.
5. Бурименко Ю. И. Основы теории систем и системного анализа: учеб. пособ. [для вузов], рек. МОНУ / Бурименко Ю. И. – Одесса: Optimum, 2005. – 135 с.
6. Керівництво з питань проєктного менеджменту. (PMBOK Guide PM); за ред. С. Д. Бушуєва – К.: Ділова Україна, 2000. – 197 с.
7. Ross C. Differential Equations. Fn introduction with Mathematica / C. Ross. - New York, 1995. – 260 p.



## РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Юлія Володимирівна Костюк*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5423-0985>

Державний торговельно-економічний університет, Київ

Сучасний світ характеризується стрімким розвитком інформаційних технологій та необхідністю швидкої та ефективної обробки великого обсягу даних. Інформаційні системи стали невід'ємною складовою багатьох сфер життя, включаючи бізнес, науку, управління та багато інших. Розробка інтелектуальних компонентів в інформаційних системах є актуальною та перспективною задачею. Інтелектуальні компоненти, засновані на сучасних методах та технологіях, дозволяють автоматизувати складні розумові процеси, приймати рішення на основі аналізу великого обсягу даних, прогнозувати тенденції та забезпечувати оптимальне функціонування інформаційних систем.

Метою роботи є розробка інтелектуальних компонентів для інформаційних систем, які дозволяють ефективно вирішувати завдання обробки, аналізу та управління даними. Для досягнення цієї мети використовуються сучасні методи та підходи, зокрема методи штучного інтелекту, нейроінформатики та математичного моделювання. Робота присвячена опису розроблених інтелектуальних компонентів та їхньому впровадженню в інформаційні системи. Вона також розглядає практичну значимість цих компонентів у різних сферах застосування, включаючи бізнес-аналітику, управління ресурсами, прогнозування та прийняття рішень. Огляд сучасних досягнень в галузі розробки інтелектуальних компонентів із зазначених областей дозволяє визначити ключові виклики та перспективи подальшого розвитку. Дослідження спрямовані на вирішення цих викликів та впровадження інтелектуальних компонентів в інформаційні системи для підвищення їхньої ефективності та продуктивності.

У контексті сучасних економічних відносин значно зростає складність управління підприємством. Це пояснюється збільшенням його самостійності та розвитком переважно горизонтальних зв'язків з зовнішнім середовищем - постачальниками, споживачами, податковими інспекціями, банками, страховими компаніями, біржами, інвестиційними фондами. Для прийняття раціональних рішень потрібна всебічна інформація про виробничо-господарську, фінансову, постачальницько-збутову діяльність та зовнішні зв'язки суб'єкта господарювання [1, 2].

При цьому основними завданнями управління підприємством є такі неформалізовані проблеми, як оцінка і діагностика його стану,

пошук і визначення закономірностей в інформаційних даних, прогнозування результатів діяльності, розробка раціональних траєкторій функціонування економічних об'єктів. Кількість показників, що застосовуються в цих завданнях, є великою. Вони формують цільові функції, які можуть бути траєкторними і ситуаційними. Характер зміни цих показників, як правило, непередбачуваний, тому задачі визначення раціонального управління відносяться до класу недостатньо формалізованих і слабкоструктурованих і не можуть бути повністю вирішені точними методами. Для їх вирішення доцільно залучити досвід людини, накопичений в базах знань експертних систем. Для забезпечення підтримки прийняття рішень в таких умовах необхідний подальший розвиток комплексної автоматизації управлінської діяльності підприємства з використанням сучасних інформаційних технологій, математичного моделювання та методів штучного інтелекту [2, 4, 5].

Якість роботи інформаційної системи, яка належить до класу складних, безпосередньо залежить від відповідності її організаційної і технічної підсистем, що постійно взаємодіють між собою. Досвід впровадження інформаційних систем показує, що до тих пір, поки ці дві підсистеми не будуть максимально відповідати одна одній, всі спроби забезпечити якісне їх функціонування будуть неможливі. І навпаки, при певному рівні програмно-технічної складової, наприклад, при розвитку діалогових режимів взаємодії, графічних і мультимедійних засобів, автоматизовані системи починають працювати з кращою ефективністю. Якісну роботу інформаційної системи можна досягти, якщо блок програмно-технічної складової буде реалізовано з використанням методів штучного інтелекту, що забезпечить його гнучку і адаптивну взаємодію з організаційною підсистемою. У сучасний час досягнуто певних успіхів у створенні інформаційних систем у сфері виробничого, фінансового менеджменту, комплексного бухгалтерського обліку та фінансового аналізу, маркетингу, збуту та реалізації готової продукції. Варто відзначити, що в цьому напрямку роботи вони є актуальними внаслідок ряду обставин [5]. Серед них значний рівень розвитку фундаментальних досліджень досяг у галузях інформаційних технологій, інструментальних засобів штучного інтелекту та нейроінформатики.

Підходи до побудови інформаційних систем аналізу та діагностики стану підприємства описані в ряді робіт. На українському ринку запропоновано багато програмних продуктів, які відносяться до класу фінансово-аналітичних систем. Вони відрізняються як спектром використовуваних показників, так і підходами до вирішення основних завдань аналізу фінансово-господарської діяльності

підприємств. Однак, як показує аналіз, у цих розробках недостатньо використовуються сучасні математичні методи, нейромереві та гібридні моделі, що дозволяють з більшою точністю та якістю здійснювати функції діагностики, аналізу та прогнозування економічних показників [5].

Також існує велика кількість зарубіжних інформаційних систем діагностики діяльності підприємства. Вивчення цих розробок показує, що їхньою основною недоліком є те, що вони мають самостійне значення і не пов'язані з діючими інформаційними системами підприємства. Це не дозволяє враховувати динаміку зміни інформаційної бази, відображати реальні процеси управління на підприємстві.

Підбиваючи підсумок аналізу проблеми, можна стверджувати, що на сьогодні існує ряд нерозв'язаних проблем. На етапі досліджень і розробки знаходяться питання адаптивності, створення інтелектуальних компонентів діагностики діяльності підприємства, методів прогнозування стану об'єкта управління, розробки гібридних моделей експертних систем, технологій видобування знань, визначення закономірностей і групування інформаційних даних, інтелектуального імітаційного моделювання, створення нових методів проектування та експлуатації інформаційних систем, інтелектуальних людино-машинних інтерфейсів, створення нейрокомп'ютерів і нейроімітаторів для застосування в інформаційних системах. Слід особливо зазначити недостатню кількість робіт зі створення єдиного підходу до формування ієрархічних гібридних моделей оцінки стану підприємства, що включають різні методи представлення знань, зокрема аналітичні, логіколінгвістичні, нейромереві. Тому розробка моделей, методів, алгоритмів і програмних комплексів для розв'язання невизначених задач, а також імітаційних систем, що включають гібридні блоки аналізу, прогнозування і раціонального вибору алгоритмів прийняття рішень та їх застосування при проектуванні інформаційних систем промислового призначення, є сучасною актуальною проблемою.

Для розв'язання поставлених завдань використовують методи системного аналізу і дослідження операцій, теорія штучного інтелекту, нейромереві технології і методи нейроінформатики, теоретичні основи побудови інформаційних систем, математичне програмування, евристичні процедури прийняття рішень, модульне програмування, обчислювальні експерименти, проведені в режимі імітаційного моделювання, методи експертних оцінок, дисперсійний, регресійний і кореляційний аналіз [4, 5, 6].

Основними компонентами інформаційно-інтелектуальної системи є: блок формування задачі, блок розв'язувачів, блок навчання системи, блок представлення і збереження результатів, підсистема

підготовки даних, блок довідників та керуючий модуль. Блок формування задачі відповідає за визначення конкретної задачі аналізу фінансово-господарської діяльності (ФГД) підприємства, яку необхідно вирішити. В цьому блоку здійснюється збір і аналіз вимог користувача, а також визначення цілей і завдань системи [4, 5, 7].

У блоку розв'язувачів розташовані інтелектуальні компоненти системи, які виконують аналіз і обробку даних, застосовують методи і моделі для вирішення поставлених завдань. Ці компоненти можуть використовувати алгоритми системного аналізу, штучного інтелекту, нейронні мережі та інші методи аналізу даних.

Блок навчання системи відповідає за оновлення і покращення інтелектуальних компонентів системи шляхом навчання на нових даних. Навчання системи дозволяє підвищити її точність та адаптивність до змін у ФГД підприємства.

У блоку представлення і збереження результатів здійснюється представлення отриманих результатів аналізу ФГД підприємства. Результати можуть бути представлені у вигляді звітів, графіків, діаграм та інших форм візуалізації даних. Також результати можуть бути збережені для подальшого використання та аналізу. Підсистема підготовки даних: Цей блок відповідає за збір, очищення, структурування та підготовку даних для аналізу. У цьому блоку можуть застосовуватися методи обробки даних, включаючи фільтрацію, перетворення, агрегацію та інші процедури для забезпечення якості даних, необхідних для аналізу.

Блок довідників містить довідкову інформацію, таку як довідники показників, методів аналізу, моделей та інших відповідних даних, необхідних для роботи системи.

Керуючий модуль відповідає за управління роботою всієї системи, координацію компонентів, обробку запитів користувачів, управління доступом та інші адміністративні функції.

Програмне втілення системи складається з наступних модулів: 1) екран розділення режиму роботи; 2) модуль формування задачі; 3) модуль формування бази знань для продукційної експертної системи (ЕС); 4) машина виводу на основі бази знань продукційної ЕС; 5) модуль формування навчальних і тестових вибірок для нейромережевого аналізу; 6) модуль формування навчальних і тестових вибірок для задач нейромережевого прогнозування часових рядів; 7) конструктор / інтерпретатор формул; 8) процедура формування шляху виводу за графом зв'язків задач і запуску рішення для кожної задачі; 9) екран відображення результатів задачі; 10) додаткові процедури. Як вже зазначалося, особливістю моделі сукупності задач у вигляді графа зв'язків є наявність процедур пошуку рішення "за замовчуванням",

що дозволяє програмному комплексу функціонувати в умовах неповної інформації та низької кваліфікації користувача. Особливості програмного втілення продукційної ЕС: можливість діалогового побудови правил, наявність процедур масштабування, можливість функціонування цього модуля окремо від ІС як оболонки ЕС [7].

Розробка інтелектуальних компонентів інформаційних систем є важливим напрямом розвитку сучасних технологій. Основні висновки, що можна зробити щодо цієї теми, включають наступне:

1) Інтелектуальні компоненти внесли значний внесок у розвиток інформаційних систем. Вони надають можливість системам аналізувати, розуміти інформацію, виробляти прийняття рішень та навіть виконувати завдання, що вимагають інтелектуального мислення.

2) Одним з ключових підходів до розробки інтелектуальних компонентів є машинне навчання. Цей підхід дозволяє системам навчатися на основі даних та досвіду, без явного програмування. Машинне навчання дозволяє системам розпізнавати патерни, здійснювати прогнозування та покращувати свою продуктивність з часом.

3) Розробка інтелектуальних компонентів дозволяє системам розпізнавати образи та голосові команди. Це може бути корисним у багатьох сферах, включаючи робототехніку, медицину, безпеку та інтерфейси користувача.

4) Інтелектуальні компоненти також можуть бути використані для аналізу великих обсягів даних. Вони допомагають виявляти корисну інформацію, патерни та тенденції в даних, що допомагає приймати кращі рішення та зробити прогнози.

5) Інтелектуальні компоненти можуть автоматизувати рутинні та повторювані процеси в інформаційних системах. Це зменшує навантаження на людей, дозволяє зосередитися на більш складних задачах та підвищує ефективність роботи.

6) Розробка інтелектуальних компонентів також вимагає уваги до етичних аспектів. Застосування штучного інтелекту повинно бути здійснене відповідно до принципів прозорості, приватності та безпеки. Необхідно також вирішувати етичні дилеми, пов'язані з автономними системами та впливом на робочу силу.

7) Інтелектуальні компоненти можуть також включати в себе системи розпізнавання образів, які можуть використовуватися для автоматичного розпізнавання об'єктів на зображеннях та відео. Це може бути корисним для багатьох галузей, включаючи медицину, автомобільну промисловість, безпеку та багато інших. Вони прискорюють розвиток цих галузей та відкривають нові можливості для інновацій.

Розробка інтелектуальних компонентів інформаційних систем - це важлива задача, що дозволяє покращити ефективність і

функціональність інформаційних систем. Такі компоненти можуть включати в себе різноманітні алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту, що дозволяє автоматизувати процеси прийняття рішень, прогнозування подій та виявлення закономірностей в даних. Одним з найбільш популярних напрямків розробки інтелектуальних компонентів є розробка систем аналізу даних та машинного навчання. Такі системи дозволяють автоматично виявляти закономірності в даних та будувати прогнози на основі цих даних. Крім того, такі системи можуть використовуватися для класифікації даних, кластеризації даних, аналізу тексту та багатьох інших завдань. Подальше дослідження та розвиток у цій галузі можуть привести до нових інновацій та досягнень, що покращують якість та результативність інформаційних систем у різних сферах діяльності.

### Посилання

1. Олійник, А. О. Інтелектуальний аналіз даних : навч. посіб. / А. О. Олійник, С. О. Субботін, О. О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. – 271 с.
2. Субботін С. О. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб. / С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с.
3. Руденко, О. Г. Штучні нейронні мережі / О. Г. Руденко, Є. В. Бодяньський. – Харків : Компанія СМІТ, 2006. – 404 с.
4. Ситник В.Ф. Інтелектуальний аналіз даних (дейтамайнінг) / В.Ф. Ситник, М. Т. Краснюк. – К: КНЕУ, 2007. – 376 с.
5. Вітлінський В. В. Штучний інтелект у системі прийняття управлінських рішень / В. В. Вітлінський // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. – 2012. – №1. – С. 97–118.
6. Математичні моделі та новітні технології управління економічними та технічними системами [Текст] : монографія / за заг. ред В. О. Тимофєєва, І.В. Чумаченко – Харків: ФОП Панов А. М., 2018. – 314 с.
7. Клебанова Т. С. Нечітка логіка та нейронні мережі в управлінні підприємством: монографія / Клебанова Т. С., Чаговець Л. О., Панащенко О. В. – Х.: ІНЖЕК, 2011. – 239 с.

## РОЛЬ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ У ПРОЦЕСІ ПІДБОРУ ПЕРСОНАЛУ В КРИЗОВИХ УМОВАХ

*Лілія Валеріївна Джига*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1402-086X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Петрович Крупський*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Сучасні умови господарювання відзначаються високим рівнем конкуренції між учасниками бізнесу і стають дедалі складнішими з урахуванням економічних, політичних, трудових чинників. Наявність професійних кадрових ресурсів у відповідній кількості є важливим фактором, що впливає на рівень конкурентоспроможності підприємства [1]. З метою ефективного управління персоналом на підприємстві в умовах кризових явищ має бути створена команда професійних фахівців з персоналу, робота яких починається саме з підбору персоналу [8, 13].

В кадровій політиці кожного підприємства чи не найважливішу роль відіграє процес підбору персоналу. Основою підприємства є його персонал, адже саме завдяки йому здійснюються всі трудові процеси, з яких складається виробничий процес. Те, як людина адаптується до праці на новому робочому місці, та буде виконувати норми і правила, прийняті на підприємстві, залежить подальша ефективність її роботи [3].

Підбір персоналу – невід’ємна частина в системі управління персоналом, яка є потрібною кожній компанії та яка вимагає використання великої частки ресурсів підприємства – інформаційних, людських, фінансових. Та найголовніше, що вимагає процес підбору персоналу – це час. За недостатньо організованої процедури підбору персоналу менеджер з персоналу витрачає багато часу, у зв’язку з чим компанія втрачає гроші, які ідуть на пошуки достойного кандидата та кошти, які втрачаються внаслідок недоотримання прибутку, втрати клієнта, ресурсів тощо [4]. Тільки правильно підібрані працівники можуть якісно виконати свою роботу, тому організації процесу підбору персоналу слід надавати велике значення.

Через невизначеність внаслідок пандемія COVID-19, а потім початку війни в Україні, багато підприємств були вимушені або тимчасово припинити свою діяльність, або взагалі ліквідувались. Ті, хто зміг відновити свою діяльність відмовилися значно скоротили свій

штат з метою скорочення витрат та уникнення збитків. Згодом підприємства, що знаходили потребу споживачів у своїх товарах чи послугах, відчули необхідність у кадрах через відновлення докризових показників діяльності [7]. Однак слід пам'ятати що пандемія COVID-19 «вплинула» на процес та якість навчання по всьому світу, і як наслідок роботодавці (рекрутери) змушені оцінювати знання, вміння, та навички претендентів на робоче місце, які не тільки мають молодий вік, але ще й навчались в умовах кризи [12, 14].

У роботодавців постало питання, як набирати працівників, коли люди відчувають загрозу; як відбирати працівників, коли через заходи фізичного дистанціювання з ними не можна зустрічатися віч-на-віч. За даних обставин у цих організацій не було іншого вибору, як орієнтувати свою практику на віртуальні методи підбору та відбору, що могло стати ще одним серйозним викликом для практиків управління людськими ресурсами, а також для претендентів на роботу [9].

Сучасну епоху характеризують як період загальної цифровізації, коли соціальні мережі є чи не єдиним легальним і недорогим способом отримання інформації про кандидатів. Процес підбору персоналу можливо полегшити, автоматизувати та пришвидшити через взаємодію з потенційними кандидатами на вакантну посаду за використання соціальних мереж. Соціальні мережі повинні використовуватися не тільки співробітниками відділу зв'язків з громадськістю, а і кадровими службами [11].

У кадровому менеджменті все ширшого застосування набуває соціальний рекрутинг. Під соціальним рекрутингом нині розуміють процес підбору персоналу за допомогою використання соціальних мереж з метою більш ефективного пошуку кандидатів на вакантні посади та взаємодії з ними.

Причини поширення тренду соціального рекрутингу:

- 1) невідповідність характеристик кандидата в резюме з реальною картиною;
- 2) бажання охопити більшу аудиторію кандидатів;
- 3) потреба у розширенні бази кандидатів;
- 4) високі витрати під час підбору персоналу за традиційними методами [5].

Климентова Т.А. зазначає, що соціальні мережі дуже корисні та ефективні в процесі підбору персоналу. Основна їх перевага полягає в тому, що менеджер з персоналу може встановити контакт як з тими кандидатами, які активно шукають роботу, так і хто вже має роботу, але дуже цікавий для компанії (хедхантинг). Використання соціальних мереж дозволяє залучати висококваліфікованих спеціалістів та створювати базу кандидатів на майбутнє. З інформації у соціальних



джерелах можна визначити, який психологічний профіль кандидата, яка саме людина стоїть за добре оформленим резюме і частково перевірити достовірність інформації з резюме [10].

Дослідження GlobalLogic інформує, що у 2022 р. в Україні зросла кількість користувачів соціальних мереж у порівнянні з 2021 р. Якщо у 2021 р. їх кількість становила 60%, то у липні 2022 р. вона зросла до 76,6%. Варто проаналізувати найбільш популярні соціальні мережі в Україні та які знає майже кожна людина у світі.

Такі соціальні мережі, як Facebook та Instagram були розроблені переважно для розваг. Сьогодні у Facebook зареєстровано близько 15,45 млн українських користувачів, а у Instagram – понад 16,1 млн. Розробка Facebook та Instagram відбувалась з акцентом на інтереси молодих людей, однак у теперішній час і зрілі, досвідчені люди приєднуються до них досить активно. Причина – бажання іти в ногу із часом та можливість реалізуватись за рахунок медіа. За рахунок даних соціальних мереж уже кілька останніх років підприємцям вдається просувати свій бізнес, створювати нові бренди та знаходити необхідних працівників.

Найбільш професійно спрямованою соціальною мережею є LinkedIn. В LinkedIn присутня зовсім інша аудиторія, більш професійна та кваліфікована, зайнята «нетворкінгом», підбором професійної інформації, встановлення необхідних ділових зв'язків. LinkedIn більш дорогий, ніж Facebook та Instagram, та призначений для тих, хто має серйозний намір просувати свою торгову марку, регулярно публікувати вакансії та розміщувати рекламу. Саме тому в даній соцмережі зареєстровано помітно менше українців – близько 4 млн (рис. 1) [2].

Twitter також займає певне місце серед соціальних мереж, де можливо здійснювати підбір персоналу та пошук роботи. Telegram – мережа для спілкування, яку багато людей знаходять зручною з точки зору створення комунікаційних груп, опитувальників, чат-ботів. Чат-боти – це програма, що здатна автоматично підбирати необхідні відповіді на запити користувачів, виконуючи ряд запрограмованих дій. Цей інструмент було першочергово створено для представників покоління Z, але легкість користування забезпечує його доступність для всіх. Представники цього покоління вже зараз починають виходити на ринок праці і своє повсякдення життя вони не уявляють без смартфонів. Тому наявність подібних додатків може допомогти їм у пошуку роботи [6].

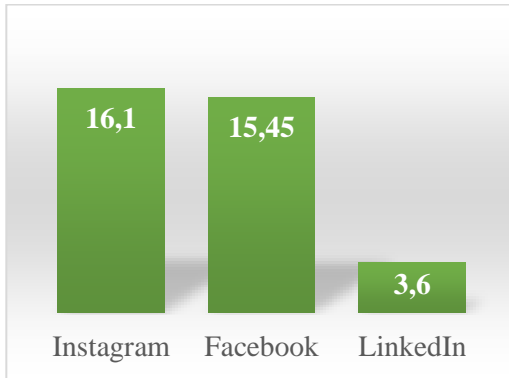


Рис. 1. Кількість користувачів соціальних мереж в Україні у 2022 р., млн осіб [2]

Пропонуємо виділити сильні сторони соціальних мереж у процесі підбору персоналу, серед яких:

1. Широкий доступ до кандидатів: Соціальні мережі надають можливість підбору персоналу з великого пулу потенційних кандидатів. Це дозволяє рекрутерам знаходити талановитих фахівців з різних галузей та легко взаємодіяти з ними.

2. Збір додаткової інформації: Соціальні мережі дозволяють отримати додаткову інформацію про кандидатів, яка не вказана в резюме або листі мотивації. Рекрутери можуть переглядати профілі соціальних мереж, щоб оцінити професійні навички, інтереси, репутацію та соціальну активність кандидата.

3. Покращення бренду роботодавця: Активна присутність роботодавця в соціальних мережах дозволяє створити позитивний імідж компанії та показати свої цінності та культуру. Це може привернути талановитих кандидатів, які бажають працювати в організації зі схожими цінностями.

4. Зв'язок зі спільнотою професіоналів: Соціальні мережі надають можливість зв'язатися зі спільнотами професіоналів, які спеціалізуються в певних галузях або сферах діяльності. Це дозволяє рекрутерам залучити та обговорити можливості зі спеціалістами, які можуть бути зацікавлені в новій роботі.

5. Зниження витрат на рекрутинг: Використання соціальних мереж може знизити витрати на рекрутинг, оскільки деякі платформи надають безкоштовні або недорогі інструменти для пошуку та залучення кандидатів. Це може економити кошти, які раніше були витрачені на традиційні методи пошуку працівників.

Поряд з сильними сторонами також місце мають слабкі сторони соціальних мереж у процесі підбору персоналу:

1. Непрофесійні профілі: На соціальних мережах можуть бути багато непрофесійних профілів, що ускладнює відбір кандидатів з потенційно великої кількості профілів.

2. Обмеження доступу до інформації: Не всі кандидати мають публічно доступні профілі або можуть використовувати певні соціальні мережі. Це може призвести до обмеження доступу до інформації про певних кандидатів та зменшення можливостей оцінки їх потенціалу.

3. Переповненість інформацією: Соціальні мережі можуть бути переповнені інформацією, що ускладнює знаходження потрібних даних про кандидатів та їх оцінку. Рекрутерам може бути складно розрізнити корисну інформацію від надмірної або неактуальної.

4. Недостовірна інформація: Інформація, розміщена на соціальних мережах, не завжди є достовірною. Кандидати можуть надавати неправдиву інформацію або представляти себе кращими, ніж є насправді. Це може ускладнити процес оцінки та прийняття рішення щодо підбору.

5. Приватність і конфіденційність: Використання соціальних мереж в процесі підбору персоналу може порушувати приватність кандидатів та конфіденційність їх особистої інформації. Рекрутери мають дотримуватися правил та етики використання особистих даних, але існує ризик, що ця інформація може використовуватися неправильно або попадати в несанкціоновані руки.

Враховуючи ці сильні та слабкі сторони, важливо бути обережним і збалансованим у використанні соціальних мереж в процесі підбору персоналу. Варто встановити чіткі критерії та методи оцінки кандидатів, використовувати додаткові джерела інформації для перевірки достовірності та сприяти збереженню конфіденційності та приватності кандидатів. Крім того, соціальні мережі слід використовувати як додатковий інструмент у процесі підбору, а не як єдиний джерело інформації, що допоможе збалансувати переваги та обмеження, які вони можуть мати.

Таким чином, можливо відзначити, що соціальні мережі є новим інструментом для підбору персоналу, що має широкий спектр можливостей. Крім особистої інформації, що, до речі, також має велике значення при відборі кандидатів, з'являється все більше професійних даних про людину. Організації активно просувають у соціальних мережах свої бренди, підвищують лояльність працівників до організації та розширюють базу кандидатів на вакантні посади.

COVID-19 та війна поставили перед менеджерами та фахівцями з управління персоналом великі виклики, але вони також відкрили

двері до можливостей, які варто знати та розуміти, які можуть допомогти організаціям спрямовувати свої майбутні дії. Це підштовхнуло організації до перегляду своїх стратегій управління персоналом і виходу за рамки традиційних моделей управління людськими ресурсами. Тому вже сьогодні слід позиціонувати нові інформаційні технології як важливого партнера для виживання та активно залучати їх у діяльність для забезпечення стійкості свого бізнесу.

Процес підбору персоналу є важливою складовою у системі управління персоналом. Сучасні умови вимагають від фахівців з управління персоналом сучасних рішень, які сьогодні можливо знайти у активному використанні соціальних мереж та інформацію, що вони містять. Більше того, сучасне молоде покоління «народжені з телефоном в руках», тому для залучення найбільш привабливих для організації кадрів слід залучати їх саме за допомогою соціальних мереж.

## Посилання

1. Гриневич Л. В. Система прийняття рішень щодо подолання дисбалансу професійного розподілу людського капіталу продуктивних сил регіону. Вісник Хмельницького національного університету: Економічні науки. 2019. №3. С. 63-66. URL: <http://journals.khnu.km.ua/vesnik/wp-content/uploads/2021/11/vknu-es-2019-n3-270.pdf#page=63>

2. Жила Н. Найпопулярніші соцмережі в Україні під час війни – дослідження GlobalLogic. Mezha: веб-сайт. 2022. URL: <https://mezha.media/2022/08/06/naypopuliarnishi-sotsmerezhi-v-ukraini-pid-chas-viyny-doslidzhennia-global-logic/amp/> (дата звернення: 16.05.2023)

3. Кириченко В. В., Крупский А. П. Особенности восприятия организационной культуры персоналом промышленного предприятия. Вісник Харківського університету. Серія «Психологія». 2004 № 617. С.55-60.

4. Кузьмін О.Є. Теоретичні та прикладні засади менеджменту: навч. посіб. 2-ге вид. доп. і перер. О.Є. Кузьмін, О.Г. Мельник. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», «Інтелект-Захід». 2006. 352 с.

5. Маккензі Л. 5 способів, як соціальні мережі можуть допомогти вам знайти потрібний талант. Ranktracker: веб-сайт. 2022. URL: <https://www.ranktracker.com/uk/blog/5-ways-social-media-can-help-you-find-the-right-talent/> (дата звернення: 16.05.2023)

6. Мутерко Г. М. Інноваційний метод пошуку персоналу. Підприємництво і торгівля. 2021. № 30. С. 48–52. <https://doi.org/10.36477/252-1256-2021-30-08>.

7. Проблеми на ринку праці в Україні у 2022. ДОПОМОГА Україне: веб-сайт. 2022. URL: <https://dopomoga.org.ua/blog/poisk-kandidatov/problemi-na-rinku-praczi-v-ukra%D1%97ni-u-2022/> (дата звернення: 12.04.2023)

8. Gunawan, C. I., Pudjiastuti, A. Q., & Yulita. Analysis of Human Resource Management in The Administration of Food Barns during the COVID-19 Pandemic in East Java, Indonesia. *European Journal of Management Issues*. 2022. Vol.30. №2. P. 75-82. <https://doi.org/10.15421/192207>.

9. Hamouche S. Human resource management and the COVID-19 crisis: Implications, challenges, opportunities, and future organizational directions. *Journal of Management & Organization*. 2021. P. 1-16. <https://doi.org/10.1017/jmo.2021.15>.

10. Klimentova, T. A. Recruitment in Social Networks. *HR-tv.ru*. 2018. URL: <https://hrtv.ru/articles/podbor-personala-v-sotssetjah.html> (дата звернення: 12.04.2023)

11. Краев V., Tikhonov A. Modern recruitment approaches in personnel selection. *Revista ESPACIOS*. 2020. Vol. 41. Issue 12. URL: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n12/20411212.html> (дата звернення: 12.04.2023)

12. Nugroho I. et al. Higher education leadership and uncertainty during the COVID-19 pandemic. *Journal of Socioeconomics and Development*. 2021. Vol. 4. №. 1. P. 1-7. <https://doi.org/10.31328/jsed.v4i1.2274>.

13. Otoo, F. N. K. Examining the Influence of Human Resource Development Practices on Organizational Commitment of Small and Medium Scale Enterprises. *European Journal of Management Issues*. 2022. Vol.30. №4. P. 195-204. <https://doi.org/10.15421/192217>.

14. Zayed N. M. et al. An Investigation into the Effect of Knowledge Management on Employee Retention in the Telecom Sector. *Administrative Sciences*. 2022. Vol. 12. №. 4. P. 138. <https://doi.org/10.3390/admsci12040138>.

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ МЕДИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В УКРАЇНІ

*Антоніна Андріївна Байцуренко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9405-1051>

Комунальне некомерційне підприємство «Дніпровський центр первинної медико-санітарної допомоги № 5» Дніпровської міської ради, Дніпро

*Олександр Петрович Крупський*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Медичний менеджмент – це сфера управління охороною здоров'я, яка включає планування, організацію, спрямування та контроль ресурсів організацій охорони здоров'я для досягнення конкретних цілей і завдань у цій сфері. З іншого боку, медичний менеджмент розглядають як сукупність принципів, методів, засобів і форм управління медичним закладом, які забезпечують зростання ефективності надання медичних послуг та збільшення прибутку медичного закладу. Основними завданнями є покращення якості медичних послуг, оптимізація використання ресурсів, як матеріальних, так і нематеріальних, розвиток та навчання медичного персоналу, та досягнення довгострокових цілей організації. Розробка та впровадження медичного менеджменту цілком залежить від локальної нормативної бази та підтримки уряду країни, що робить практику управління подібними організаціями одночасно частково залежною та відносно вільною від регулювання [12].

Варто зазначити, що модель забезпечення медичних послуг в Україні базується на системі загальної державної медицини [9]. В рамках подібного розподілу держава забезпечує безкоштовний доступ всіх громадян до базових медичних послуг, а також фінансує його з надходжень бюджету та коштів медичного страхування. Особливості впровадження медичного менеджменту залежать від ретроспективної основи розвитку такого напрямку діяльності відповідно до особливостей кожної країни, адже тут треба враховувати алгоритм політичної дії, соціальні особливості, рівень фінансування, доходів громадян, та ін.

Історичний розвиток медичного менеджменту в Україні можна поділити на три основні фази, що проходили під впливом геополітичного стану країни, прийнятті відповідної нормативно-правової бази та ступеню децентралізації процесу управління медичними закладами. Так, перший етап проходив, коли Україна була складовою частиною СРСР та розділяла з низкою інших країн єдину встановлену систему охорони здоров'я. Відповідно до низки прийнятих тоді

законодавчих актів впроваджувалася єдина Семашківська система, що на той час характеризувалася низкою застарілих факторів, які нівеливали спроби еволюційного шляху сфери медичного менеджменту. Слід визнати, що система мала низку переваг: раннє виявлення та повна діагностика з поточним контролем професійних, хронічних та спадкових хвороб; налагоджена і доступна система лікування захворювань в санаторних умовах; єдина державна санітарна служба. Була розбудована спеціалізована система медичної допомоги для дітей, що дозволило суттєво зменшити дитячу смертність. Серед негативних факторів можна виділити фінансування відповідно до кількості місць в медичному закладі, та високий рівень корупції [11].

Другий етап розпочався із затвердженням Україною незалежності, а отже відмовою від радянських стандартів та пошуком нових шляхів розвитку. Він був перехідним та займав проміжок часу з 1991 року до початку 2000-х років. Загалом, почалася активна реформа охорони здоров'я, було створено Міністерство охорони здоров'я України та здійснювалися спроби створення нових структур управління медичними закладами. Разом з тим треба сказати, що ґрунтовних змін в системі охорони здоров'я не вдалося досягти через низку геополітичних та внутрішньодержавних причин, серед яких тяжкий перехідний період держави та боротьба за становлення на міжнародній арені [8, С. 3].

Незважаючи на деструктивний політичний вплив, нестачу медикаментів та недостатнє фінансування, медичний менеджмент почав зароджуватися та поступово розвиватися відповідно до можливостей, що відкрилися перед медичними закладами країни. Головним здобутком раннього періоду перехідного етапу є видання нового закону про реформу охорони здоров'я у 1993 році [10]. Він був спрямований на децентралізацію медичної системи та надання більшого контролю регіональним і місцевим органам влади, що дозволило розширити практику медичного управління.

У 2000-2010 роках в Україні відбулися важливі зміни в управлінні охороною здоров'я, де однією з ключових ініціатив стало запровадження загальнообов'язкового медичного страхування, яке мало на меті забезпечити більш повне та справедливе охоплення населення медичними послугами. У 2001 році розроблена «Національна стратегія охорони здоров'я», яка визначає новий шлях розвитку медичної сфери, а отже й практики її управління. Також було встановлено чіткі правила медичного ліцензування та акредитації, що дозволило покращити медичну практику та підняти рівень довіри до лікарів [2].

Відповідно до встановлених стандартів, система менеджменту медичних закладів стала більш керованою та менш обмеженою

одночасно. Описані закони, які були створені на основі практики західних партнерів України, регулювали нові можливості для управління системою охорони здоров'я, а отже, ставили довготривалі цілі та виклики.

У 2011 році уряд прийняв новий план реформування системи охорони здоров'я, спрямований на подальшу децентралізацію та надання більших повноважень місцевим органам влади. План також передбачав заходи з підвищення якості медичної допомоги, розширення доступу до основних лікарських засобів, посилення профілактики та контролю за захворюваннями, та ін. Наразі можливо прослідкувати еволюцію медичного менеджменту через описану нормативну базу, адже закони чітко підкреслювали фактор децентралізації та встановлення чітких норм, що давало можливість правильно спрямувати пріоритети в рамках управлінської діяльності [1, С. 136].

Нинішній етап розвитку медичного менеджменту характеризується активним впровадженням нових систематичних реформ та ідентифікація системи охорони здоров'я України як такої, що прагне до європейських стандартів. У 2017 році уряд створює нову основу медичної сфери держави – Національну службу здоров'я, яка стала координаційним центром з надання послуг медичного спрямування. Основні показники охорони здоров'я в Україні за період 2009-2021 рр. наведено у таблиці 1.

Необхідно відмітити, що заходи, які були впроваджені в рамках останньої медичної реформи, призвели до суттєвого дефіциту серед медичних сестер. У дослідженні Стрюкова В. В. із колегами, наголошується що: з 2016 по 2020 роки спостерігається негативна тенденція щодо зменшення чисельності медичних сестер, так за п'ять років укомплектованість осіб зменшилась на 5,85 %, також спостерігається зменшення укомплектованості на 4678,25, кількість медичних сестер зменшилась на 5523 особи, внаслідок різкого зниження забезпеченості населення повною зайнятістю – зменшилась на 12,35 штатних посад (з 90,74 до 78,39) на 10 тис. населення [16]. Кількість медичних сестер зменшилася на 21,6%. Усе це призводить до професійного вигорання медичних працівників [14, 15] і, як наслідок, збільшення кількості професійних помилок і захворювань [17].

Дедалі більшу вагу викликає закон “Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення” [6], ті, хто прагне залишитися на ринку медичних послуг, повинні відповідати стандартам та вимогам як держави, так і ринку медичних послуг. Створення та підтримання корпоративної ідентичності та корпоративного стилю, як стратегічних інструментів медичного закладу, всі ці питання вимагають специфічних знань від «нових» менеджерів медичного закладу,



але на практиці цей інструмент використовується лише декларативно [7, 13].

Таблиця 1  
 Основні показники охорони здоров'я за 2009-2021 рр. [3, 4, 5]

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Кількість лікарів усіх спеціальностей (без зубних лікарів), тис.	225	225	224	217	217	186	186	187	186	186	185	180	144
Кількість середнього медичного персоналу, тис.	467	467	459	441	441	379	372	367	360	345	330	309	261
Кількість лікарняних закладів <sup>3</sup> , тис	2,8	2,8	2,5	2,4	2,2	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,2
Кількість лікарняних ліжок, тис	431	429	412	404	398	336	333	315	309	302	295	275	245
Кількість лікарських амбулаторно-поліклінічних закладів, тис.	8,8	9,0	8,2	8,3	10,8	9,8	10,0	10,2	10,4	10,5	10,6	10,6	8,2
Планова ємність амбулаторно-поліклінічних закладів <sup>3</sup> , тис. відвідувань за зміну	1000	993	999	1023	1037	912	912	915	923	926	920	929	831

Отже, медичний менеджмент України пройшов тривалий шлях формування та пристосування до міжнародних норм і стандартів, з метою розвитку державного сектору охорони здоров'я та

забезпечення конкурентоспроможності на світовій арені. В даний час цей процес включає чітко визначені цілі та практики управління медичними закладами, що сприяють досягненню основних завдань, а саме надання якісних послуг пацієнтам та задоволення їх потреб.

## ПОСИЛАННЯ

1. Барзилович А. Д. Реформування системи охорони здоров'я в Україні: стратегічні аспекти. Інвестиції: практика та досвід. 2020. № 2. С. 134-140. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2020.2.134>.
2. Верховна рада України. Основи законодавства України про охорону здоров'я. Редакція від 27.10.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12>.
3. Державна служба статистики України. Статистичний збірник України. Україна у цифрах, 2021. К., 2022. 48 с. URL: [https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/zb/08/zb\\_Ukraine%20in%20figures\\_21u.pdfn](https://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/08/zb_Ukraine%20in%20figures_21u.pdfn).
4. Державна служба статистики України. Статистичний збірник України. Україна у цифрах, 2018. К., 2019. 45 с. URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2019/zb/07/Ukr\\_cifra\\_2018\\_u.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/07/Ukr_cifra_2018_u.pdf).
5. Державна служба статистики України. Статистичний збірник України. Україна у цифрах, 2015. К., 2016. 239 с. URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2014/zb/07/zb\\_ukr\\_2014.zip](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2014/zb/07/zb_ukr_2014.zip).
6. Закон України «Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення» від 19 жовтня 2017 року, № 2168-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2168-19#Text>.
7. Крупський О. П., Стасюк Ю. М. Організація корпоративного стилю медичного закладу: функції та складові. *Time Description of Economic Reforms*. 2023. №. 1. С. 87-95. <https://doi.org/10.32620/cher.2023.1.11>
8. Лехан В.М., Крячкова Л.В., Заярський М. І. Аналіз реформ охорони здоров'я в Україні: від здобуття незалежності до сучасності. *Здоров'я нації, Україна*. 2018. №4(52). С. 5-11. URL: <http://repo.dma.dp.ua/4987/>
9. Литвиненко М. В. Принципи національної системи охорони здоров'я в Україні. Теорія та практика державного управління. 2015. Т. 2. №. 49. С. 198-206. URL: [https://library.nlu.edu.ua/POLN\\_TEXT/NADU/TPDU/TPDU-49-2015.pdf#page=198](https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/NADU/TPDU/TPDU-49-2015.pdf#page=198).
10. Основи законодавства України про охорону здоров'я: Закон України від 19 листоп. 1992 року № 2801-XII // *Відомості Верховної*

Ради України 1993, № 4. – С. 19.

11. Турчіна М. О. Медичне законодавство в Україні в радянський період. Дисертація на здоб. наук. ступ. канд. юр. наук. Харків, 2016. URL: [https://library.nlu.edu.ua/POLN\\_TEXT/AVTOREF\\_2016/Turchina\\_2016.pdf](https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/AVTOREF_2016/Turchina_2016.pdf).

12. Шкільняк М. М., Желюк Т. Л., Васіна А. Ю., Дудкіна О. П., Попович Т. М., Овсянюк-Бердадіна О.Ф. Модернізація менеджменту системи охорони здоров'я в умовах проведення медичної реформи. Вісник Тернопільського національного економічного університету. 2018. №4. С.168-180. URL: <http://visnykj.wunu.edu.ua/index.php/visnykj/article/view/819/933>.

13. Baharun R. et al. Innovation in healthcare performance among private brand's healthcare services in small and medium-sized enterprises (SMEs). *Acta Polytechnica Hungarica*. 2019. Vol. 16. № 5. P. 151-172. URL: [http://acta.uni-obuda.hu/Baharun\\_JingMi\\_Streimikiene\\_Mardani\\_Shakeel\\_Nitsenko\\_92.pdf](http://acta.uni-obuda.hu/Baharun_JingMi_Streimikiene_Mardani_Shakeel_Nitsenko_92.pdf).

14. Bogodistov, Y., Reck, F. M., Moormann, J., Krupskyi, O. P. Wandel im Gesundheitswesen: Analyse der Auswirkungen auf Ärzte und Patienten am Beispiel der Ukraine. *Das Gesundheitswesen*. 2020. Vol.82. №.03. P. 236-241. <http://dx.doi.org/10.1055/a-0894-4775>.

15. Hromtseva O. V. Notion of professional burnout of medical workers and research of its phenomenology. *European Journal of Management Issues*. 2019. Vol. 27. №. 3. P. 63-72. <https://doi.org/10.15421/191907>.

16. Striukov V.V., Grynko T.V., Krupskyi O.P., Vazov R.G. Current state and strategic directions of development of state management of nursing education in Ukraine. *Medicni Perspektivi*. 2022. Vol.27. №1. P. 174-183. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2022.1.254469>.

17. Zaghini F. et al. The role of occupational stress in the association between emotional labor and burnout in nurses: A cross-sectional study. *Applied nursing research*. 2020. Vol. 54. P. 151277. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2020.151277>.

## **CRM СИСТЕМИ, ЯК ВАЖЛИВИЙ ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ТА ВЗАЄМОДІЇ З КЛІЄНТАМИ**

*Наталія Миколаївна Польова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5140-2136>

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

*Гайк Володимирович Григорян*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

*Олексій Сергійович Патлаха*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

CRM (Customer Relationship Management) системи є важливим управлінським інструментарієм розвитку в умовах інноваційної економіки. У сучасному бізнес-середовищі, що підкоряється стрімкій зміні технологій та вимог клієнтів, підприємства потребують ефективного інструменту для управління взаєминами з клієнтами, забезпечення персоналізованого обслуговування та збільшення конкурентоспроможності. CRM системи надають компаніям цей інструментарій, дозволяючи збирати та аналізувати дані про клієнтів, покращувати комунікацію та співпрацю з ними, оптимізувати внутрішні процеси та створювати стратегії орієнтації на клієнта.

Однією з основних переваг CRM систем є їхній внесок у збір та аналіз даних про клієнтів. CRM системи дозволяють підприємствам збирати, зберігати та обробляти різноманітні дані про клієнтів, включаючи інформацію про їхні попередні замовлення, покупки, взаємодію з компанією та їхні особисті вподобання. Ці дані можуть бути використані для розуміння потреб та поведінки клієнтів, що дозволяє компаніям створювати персоналізовані пропозиції та рекламні кампанії, а також прогнозувати майбутні вимоги клієнтів. Наприклад, на основі аналізу даних про покупки та переваги клієнтів, компанії можуть розробляти індивідуальні пропозиції та просувати нові продукти та послуги [1]. Такий підхід дозволяє підприємствам бути більш гнучкими та адаптивними до змін у попиті та забезпечувати високу задоволеність клієнтів.

Другою перевагою CRM систем є покращення взаємодії з клієнтами. Це досягається завдяки централізованому зберіганню інформації про клієнтів та можливості персоналізації комунікації. CRM системи дозволяють підприємствам встановлювати та підтримувати довгострокові стосунки з клієнтами, надаючи їм індивідуальне обслуговування та забезпечуючи відповіді на їхні потреби в реальному часі.

Завдяки функціональності CRM систем, таким як управління контактами, електронна пошта, соціальні мережі та мобільний доступ, компанії можуть спілкуватись з клієнтами швидко та ефективно [1]. Покращена комунікація з клієнтами сприяє збереженню їхньої вірності, збільшенню задоволеності та залученню нових клієнтів.

Крім того, CRM системи допомагають підприємствам оптимізувати внутрішні процеси. Вони дозволяють автоматизувати та упорядковувати робочі процеси, пов'язані з продажами, маркетингом та обслуговуванням клієнтів. За допомогою CRM систем, компанії можуть спростити процес замовлення та виконання покупки, зменшити час реакції на запити клієнтів та покращити координацію між різними відділами компанії. Наприклад, з використанням CRM систем можна автоматизувати процес надання пропозицій клієнтам, відстежувати стан виконання замовлень та оцінювати ефективність рекламних кампаній [2]. Впровадження CRM систем дозволяє підприємствам підвищити ефективність роботи, скоротити час на виконання операцій та збільшити загальну продуктивність.

Нарешті, CRM системи допомагають підприємствам реалізувати стратегію орієнтації на клієнта в умовах інноваційної економіки. Вони дозволяють підприємствам створювати довгострокові та персоналізовані стосунки з клієнтами, пропонувати індивідуальні рішення та послуги, а також сприяють розвитку нових продуктів та послуг шляхом збирання фідбеку та співпраці з клієнтами [1]. Завдяки CRM системам, компанії можуть проводити тестування ринку, просувати нові продукти та послуги та здійснювати персоналізовану маркетингову комунікацію з клієнтами. Впровадження CRM систем дозволяє підприємствам бути більш адаптивними, ефективними та конкурентоспроможними в інноваційному бізнес-середовищі.

За допомогою CRM систем підприємства можуть впровадити цілісний підхід до управління взаєминами з клієнтами і покращити різні аспекти своєї діяльності. Доповнюючи попередній огляд, далі розглянемо додаткові переваги та можливості, які надають CRM системи.

1. Підвищення продуктивності продажів: CRM системи надають інструменти для ефективного керування продажами. Вони дозволяють стежити за поточним станом угод, прогнозувати продажі та аналізувати результативність продажних команд. За допомогою автоматизації процесів продажу, підприємства можуть оптимізувати роботу своїх продавців, використовувати ефективніші стратегії продажу та покращити конверсію потенційних клієнтів у фактичні угоди.

2. Управління маркетинговими кампаніями: CRM системи дозволяють підприємствам планувати, реалізовувати та аналізувати

ефективність маркетингових кампаній. Вони забезпечують інструменти для управління контактами з потенційними клієнтами, розсилки електронної пошти, взаємодії зі спільнотами в соціальних мережах та інше. Такий підхід дозволяє підприємствам просувати свої продукти та послуги, підвищувати увагу до бренду та залучати нових клієнтів.

3. Покращення обслуговування клієнтів: CRM системи дозволяють підприємствам надавати краще обслуговування своїм клієнтам. Вони забезпечують централізоване зберігання інформації про клієнтів, таку як контактні дані, історія взаємодії, попередні замовлення та запити на обслуговування. Це дозволяє працівникам звертатися до повної та актуальної інформації про клієнтів, що полегшує комунікацію та персоналізацію обслуговування.

Загалом, CRM системи виступають управлінським інструментарієм розвитку підприємств в умовах інноваційної економіки. Вони дозволяють компаніям збирати та аналізувати інформацію про клієнтів, поліпшувати взаємодію з ними, оптимізувати внутрішні процеси підприємства та реалізовувати стратегію орієнтації на клієнта. Впровадження CRM систем допомагає підприємствам стати більш конкурентоспроможними, забезпечити високу задоволеність клієнтів та досягти успіху в умовах інноваційної економіки.

### Посилання

1. Chen, I. J., & Popovich, K. (2003). Understanding customer relationship management (CRM): People, process and technology. *Business Process Management Journal*, 9(5), 672-688.
2. Mithas, S., Krishnan, M. S., & Fornell, C. (2005). Why do customer relationship management applications affect customer satisfaction? *Journal of Marketing*, 69(4), 201-209.
3. Rigby, D. K., & Ledingham, D. (2004). CRM done right. *Harvard Business Review*, 82(11), 118-129.

## ЦИФРОВА ТЕХНОЛОГІЯ «AR@VR» ЯК НАПРЯМОК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ АВІАКОМПАНІЇ

*Надія Олегівна Коваленко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1651-9750>

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

Через епідемію COVID-19 фізична взаємодія людей стала обмежена, світові компанії звернулися до технологій доповненої та віртуальної реальності, це стало новим поштовхом до цифрової трансформації. Використання інформаційних технологій стають основними передумовами розвитку і успішного функціонування сучасної авіакомпанії на ринку. За останні роки імідж став вагомим управлінським ресурсом, який впливає на ефективне функціонування авіакомпанії, залучаючи більшу кількість клієнтів і, як наслідок, збільшуючи дохідність, конкурентоспроможність і прибутковість [1].

Впровадження інформаційних технологій є підтвердженням здатності авіакомпанії ефективно управляти споживчою цінністю авіаційних послуг та перевезень.

Вплив ІТ на підвищення конкурентоспроможності підприємств досліджувався такими вітчизняними та зарубіжними науковцями, однак, питання впровадження сучасних інформаційних систем в процес управління авіакомпанією в умовах економічної невизначеності майже не розглядалось, тому потребує додаткового дослідження й обґрунтування.

Метою статті є дослідження напрямків підвищення ефективності бізнес-процесів авіакомпанії шляхом впровадження цифрової технології «AR@VR».

Завдання статті: охарактеризувати напрямки впровадження цифрової технології «AR@VR» в управління бізнес-процесами підприємств цивільної авіації; обґрунтувати переваги впровадження цифрової технології «AR@VR» як елементу підвищення ефективності комерційної діяльності авіакомпанії; розробити етапи програми впровадження цифрової технології «AR@VR» в діяльність авіаційної компанії.

В процесі дослідження використані статистичні дослідження у галузі цивільної авіації за період 2021-2023 рр., теоретико-методологічні джерела вітчизняних та закордонних науковців та практиків з впровадження ІТ та практичної реалізації інформаційних методів щодо оцінки, управління і розвитку комерційної діяльності підприємств: Войтко С. М. [2], Кінаш І. А. [3], Рибалко Л. П. [4], Стефанова Н. А. [5], Семенова А. В. [6].

Для вирішення поставлених у статті завдань була використана система методів наукового дослідження, а саме: аналізу і синтезу – для обґрунтування теоретичних положень дослідження ефективності впровадження цифрової технології «AR@VR» в діяльність авіаційної компанії; завдяки методам порівняння та формалізації встановлено напрями підвищення ефективності бізнес-процесів авіакомпанії від впровадження цифрової технології; метод програмного моделювання дозволив розробити етапи програми впровадження цифрової технології «AR@VR» в діяльність авіаційної компанії.

Маркетингова діяльність авіакомпанії є невід’ємною частиною організаційної культури компанії та полягає у вивченні ринку для виявлення існуючої і прогнозної величини попиту для розробки конкретних програм, мета яких полягає в зміцненні позицій організації на ринку, збільшення продажів і отриманні прибутку.

З 2020 р. по сьогодні авіаційний бізнес потерпає щонайбільшу кризу по всьому світу та українські авіакомпанії не є виключенням. Через військове вторгнення у лютому 2022 року авіакомпанії України змушені перевести свій бізнес разом із парком повітряних суден до Європи, що вимагає пошуку нових інструментів адаптації та діяльності. Через карантинні обмеження та періодичні локдауни, авіакомпанії наразі використовують меншу кількість маркетингових інструментів, впроваджуючи такі, які дозволяють залишати комунікацію зі своєю цільовою аудиторією, ставати з ними у ближчі відносини, а також, роблять акцент на створенні нових продуктів [7].

Базовими маркетинговими інструментами, які сьогодні використовує українські авіакомпанії є соціальні мережі, власні сайти, інтерв’ю та благодійність [8]. За допомогою них формується фірмовий стиль авіакомпанії, а також, відбувається стимулювання збуту та повернення уваги споживачів. Розглянемо кожен інструмент окремо.

Соціальні мережі. Основним маркетинговим інструментом компанії є соціальні мережі, які вона активно розвиває. Соціальні сторінки авіакомпаній у Instagram та Facebook є наповненими, інформативними, різноманітні та гарно оформленими. В основному інформація, яка розміщується на сторінках цих соціальних мереж є однаковою, але сформульована та організована по різному, оскільки, вони розраховані на різні цільові аудиторії, Instagram – це соціальна мережа, за допомогою якої можна мати вплив на більш молоду аудиторію віком від 18-35 років, а Facebook розрахований на більш дорослішу аудиторію віком від 35 років та старше.

Проаналізувавши контент соціальних сторінок українських авіакомпаній можна зробити висновок, що вони є не тільки інформативними, а також, розважальні, пізнавальні та корисні. За сторінками



Instagram слідкують в середньому 33500 - 100000 користувачів, а за Facebook – 26688-50000, що дає великі маркетингові та бізнес можливості [8].

Власний сайт. Ведення власного сайту авіакомпанії є не менш продуктивним ніж соціальних мереж. Сайт компанії є приємно візуально оформленим, наявна чітка структура, велика кількісно відфільтрованої, потрібної інформації для пасажирів. Відвідавши сайт компанії можна знайти відповіді майже на всі питання.

На головній сторінці сайту, як правило, у класичному варіанті, знаходиться пошукова система авіаквитків, де можливо обрати місто вильоту, місто прибуття, дати, кількість дорослих, які бажають здійснити політ, дітей від 2-х до 12-ти років та окремо дітей до 2-х років. У правому верхньому кутку сайту надається можливість обрати мову сайту (українська, російська, англійська), валюта оплати, якою відвідувач хоче скористатися, та іконка входу до особистого кабінету, а також, можливість його створити. Зверху у центрі сторінки знаходяться найважливіші розділи сайту, які знадобляться пасажиру при замовленні квитка: всі рейси, онлайн-табло, пасажиром, контакти та CityBreak. Зліва сторінки можна відкрити усі інші розділи сайту: Weekend For U, усі рейси, мій квиток, новини, наш флот, кар'єра, вантажоперевезення, наші напрямлення та контакти.

Варто зазначити, що сайт має кількісний та зручний функціонал, привабливий інтерфейс, уся інформація на сайті є чітко структурована, грамотно оформлена та несе в собі корисний зміст. З недоліків, найчастіше, відсутня пошукова система на самому сайті для швидкості знаходження інформації.

Інтерв'ю. Для кращого розуміння споживачами про стан авіакомпанії, її відношення до теперішніх умов, клієнтів, майбутні плани, генеральний директор періодично дає глибинні інтерв'ю різним блогам, наприклад, розповідь генерального директора про правила виживання авіакомпанії під час кризи, відповіді на питання звідки компанія отримує гроші, куди можна полетіти, нові перспективи та напрямки польотів

Також, відділ реклами та фірмового стилю компанії організовує відео-інтерв'ю зі співробітниками (пілоти, пілотеси, бортпровідники), які відповідають на питання, що найбільше цікавлять пасажирів, розповідають власні цікаві історії з робочої діяльності, з якими труднощами зустрічаються та чому так сильно люблять свою роботу. Такі міні-інтерв'ю проводяться, також, у соціальних мережах, як вже зазначалося.

Розробка успішних маркетинг-стратегії нерідко стає одним з головних викликів для бізнесу. Будь-яка геніальна ідея може не

спрацювати, якщо неправильно представити її аудиторії. Онлайн-маркетинг дозволяє значно скоротити витрати на просування продукту і в той же час стати ближче до споживача, але, оскільки, електронні медіа стрімко розвиваються, досягти успіху зможе тільки той гравець ринку, який застосує інноваційний маркетинговий інструментарій першим [10].

Світ змінюється кожен день і digital-маркетинг трансформується разом з ним, адаптуючись під нові тенденції. На тлі глобальних подій, пов'язаних з пандемією, відбувається активний перехід бізнесу в онлайн. У той же час, з огляду на непрості умови, маркетологи змушені оптимізувати рекламні бюджети або перерозподіляти їх між каналами.

Проаналізувавши тренди digital-маркетингу у 2023 р. пропонується застосування нових інструментів у маркетинговій діяльності авіакомпанії «Sky Up» задля формування позитивного іміджу: технологія AR&VR, автоматизація закупки таргетованої реклами, застосування концепції Internet of Things.

Технологія AR&VR. Технології доповненої реальності (Augmented Reality) і віртуальної реальності (Virtual Reality) відкривають абсолютно нові можливості для взаємодії з аудиторією та залучення споживачів. Для цілей Digital-маркетингу можна використовувати QR-мітки, AR-ігри, спеціальні додатки, цифрові анімації, окуляри віртуальної реальності. Застосування подібних технологій демонструє, що бренд можна вважати передовим і здатним запропонувати клієнтові цікавий досвід, що запам'ятовується.

Програма впровадження цифрової технології «AR@VR» в управління діяльністю АК «Sky UP» містить наступні етапи, рис. 2.

Для авіакомпанії «Sky Up» технологія AR&VR допоможе виконати наступні цілі:

1. Стати першою авіакомпанією на українському авіаційному ринку, яка застосовуватиме дану технологію задля виконання маркетингових задач;
2. Привернути увагу існуючої та потенційної аудиторії;
3. Визначити рівень зацікавленості споживачів тою чи іншою країною;
4. Відкрити нові рейси на основі результатів технології AR&VR;
5. Надати змогу споживачам подорожувати під час пандемії та закритих кордонів за допомогою віртуальної реальності (VR);
6. Підвищити обізнаність аудиторії в місцевості того чи іншого міста перед реальною подорожжю.

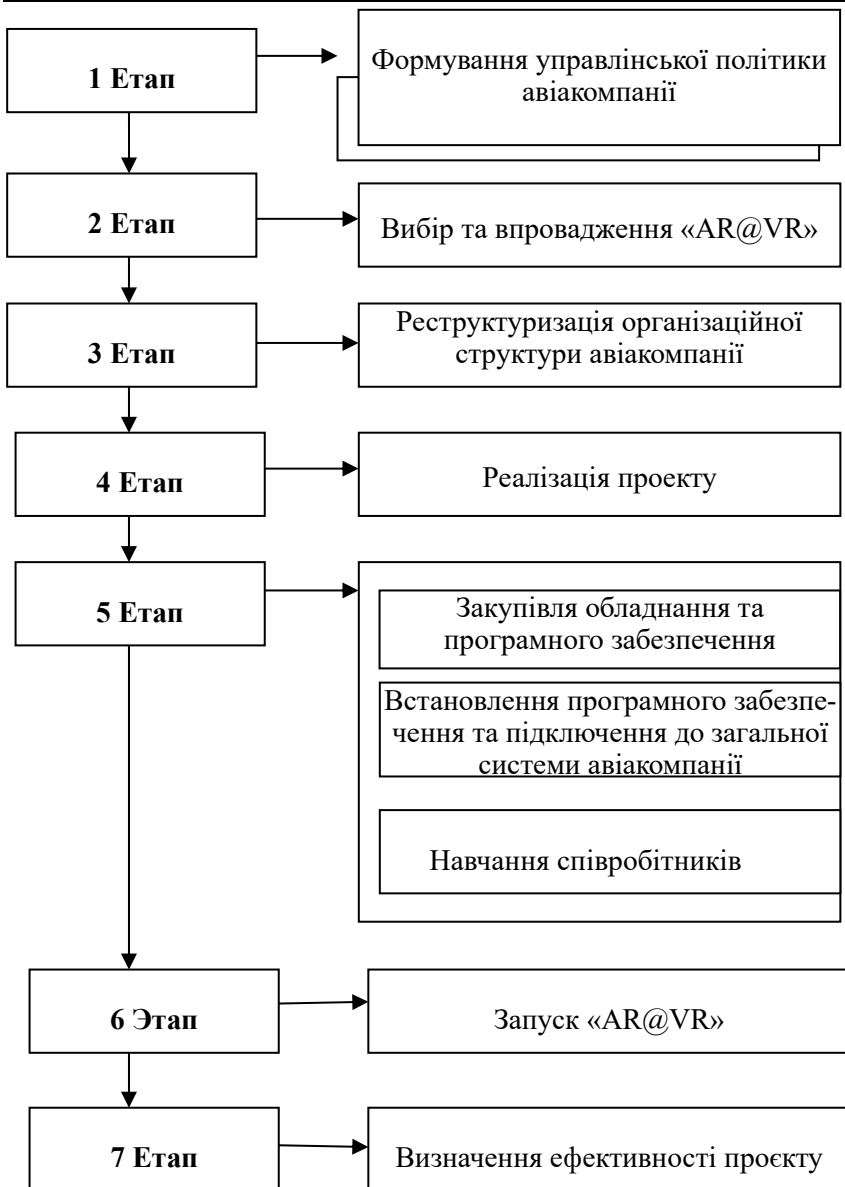


Рисунок 2. Програма впровадження цифрової технології «AR@VR» в управління бізнес-процесами авіакомпанії.

Джерело: сформовано автором

За допомогою технології, споживачу буде надана можливість через мобільний додаток, який потребуватиме оновлення, вибрати запропоновані країни та міста, в які авіакомпанія вже відкрила рейси, або тільки має намір це зробити, та здійснити туди повноцінну подорож, обираючи маршрут, вид екскурсії та погодні умови. В першому випадку технологія підсилить інтерес та збільшить кількість заохочених відвідати ту чи іншу країну.

У другому випадку «Sky Up» зможе проаналізувати рівень зацікавленість аудиторії та на основі результатів відкрити нові рейси. Під час віртуальної прогулянки, також, буде надана можливість переглянути інформацію про більшість зустрічних закладів: готелів, ресторанів, музеїв, галерей, кав'ярень і т. і., наприклад, цінкові пропозиції, меню, екскурсійні проєкту та обмеження, а також, будуть відмічені основні пам'ятні місцевості та споруди з зазначенням короткої довідки про її історію.

Доповнена реальність – це інтерактивний інструмент, що дозволяє брендам створювати фантастичний контент. Бренди вже усвідомили силу маркетингу доповненої реальності, успішно використовували AR в своїх маркетингових кампаніях, домагаючись більшої наочності, більшого задоволення і, як наслідок, зростання доходів [11].

Інтегрована «AR@VR» – це аналітична система для компаній великого бізнесу з потребою спільної роботи необхідної кількості користувачів у єдиній інформаційній базі.

Функціональні можливості «AR@VR» для авіакомпаній:

1. Управління базою даних. Збір всіх даних щодо працівників, персоналу, постачальників, клієнтів у єдину базу авіакомпанії, докладна характеристика про кожному співробітника, клієнта й контактних осіб, розширена аналітика, можливість швидкого введення й доступу до інформації.

2. Управління контактами із клієнтами, облік історії контактів із клієнтами, реєстрація потреби клієнтів, оперативна передача інформації між співробітниками, планування контактів, зустрічей.

3. Управління робочим часом (тайм-менеджмент). Планування й контроль за виконанням доручень, координація роботи в часі між співробітниками, система нагадувань.

4. Управління продажами. Управління етапами продажу на основі єдиних шаблонів проведення продажу клієнтові, створення типових шаблонів із продажу унікальних для компанії, механізм оперативного управління й аналізу циклу продажів - "лінійка продажів".

5. Управління маркетингом. Виділення сегментів клієнтів, можливість формувати розсилання електронних листів, проводити телефонні дзвінки як по сегментах клієнтів (за допомогою майстрів), так

і індивідуально. Можливість проводити компанію по пошуку нових клієнтів - «холодні дзвінки» із завантаженням клієнтської бази із зовнішніх файлів різних форматів.

6. Управління фінансовою звітністю. Автоматизація фінансово-бухгалтерської діяльності та надання її результатів керівництву авіакомпанії.

7. Полегшення виконання рутинних операцій, інтеграція по електронній пошті, шаблони звітів, автоматичне виставлення рахунків на оплату й відправлення їх по електронній пошті, пошук двійників клієнтів, групова обробка клієнтів, фільтри.

6. Юзабіліті. Відображення інформації на "робочих столах", можливість вибору необхідних у роботі інформаційних блоків, приховання непотрібної або надлишкової інформації, що спливають інформаційні банери.

7. Гнучка зміна системи в залежності від потреб авіакомпанії.

8. Інтеграція з іншими системами.

9. Аналітичні звіти. Багатофакторний аналіз контактів і продажів, аналіз стану роботи із клієнтами, «лінійка продажів», звіти по виконавської дисципліни співробітників, розширений аналіз клієнтської бази та ін.

10. Захист інформації. Розмежування прав доступу до інформації для користувачів на рівні об'єктів, а також обмеження по можливості роботи в програмі: через Інтернет, тільки в офісі, через Інтернет і в офісі.

Сервіс автоматизації маркетингу допомагає підтримувати високу клієнтоорієнтованість а, отже, лояльність клієнтів. Програма дозволяє автоматизувати всі бізнес-процеси авіакомпанії відповідно до концепції управління, включаючи відділи закупівель, продажів, виробництва, управління, маркетингу, сервісного обслуговування й служби якості, а також управляти бізнес-процесами на всіх етапах взаємодії між структурними підрозділами, співробітниками та клієнтами й усередині авіакомпанії.

Впровадження цифрових технологій «AR@VR» і методів оптимізації бізнес-процесів дозволяють удосконалити загальний процес управління авіакомпаній, надаючи їм суттєву конкурентну перевагу на ринку авіаційних перевезень Імплементация цифрових технологій «AR@VR» в діяльність авіакомпанії має ряд переваг, зокрема, це підвищення продуктивності праці працівників та управлінського апарату, швидкість прийняття адміністративних рішень, обробка великого масиву інформації за короткий період, поява нових бізнес-процесів та моделей, підвищення якості та швидкості обслуговування клієнтів. Представлені етапи програми впровадження цифрових

технологій «AR@VR» в діяльність авіакомпанії дозволить інтегрувати її у бізнес-процеси з метою підвищення ефективності маркетингової та комерційної діяльності авіакомпанії з можливістю підвищення рівня конкурентоспроможності.

Метою подальших досліджень є визначення суми капіталовкладень для впровадження запропонованої програми та визначення впливу на фінансово-економічні показники діяльності.

## ПОСИЛАННЯ

1. Український авіаційний портал. Режим доступу: URL: [www.aviation.com.ua](http://www.aviation.com.ua).

2. Войтко С. М. Автоматизовані системи управління як ефективні засоби прийняття управлінських рішень [Електронний ресурс]. *Вісник Львів. ун-ту*. 2022. Режим доступу до ресурсу: [https://studopedia.ru/13\\_14954\\_viznachennya-Indeksu-pributkovosti-I-rentabelnosti-I-I-koefltsiyentu-efektivnosti-ARR-Investitsiy.html](https://studopedia.ru/13_14954_viznachennya-Indeksu-pributkovosti-I-rentabelnosti-I-I-koefltsiyentu-efektivnosti-ARR-Investitsiy.html).

3. Кінаш І. А. Інтернет-маркетинг – стратегія розвитку сучасних підприємств. *Сталий розвиток економіки*. 2023. № 3. С. 331–334.

4. Рибалко Л. П. Застосування сучасних інформаційних систем в управлінні підприємствами [Електронний ресурс]. *Серія Економічні науки*. 2023. Режим доступу до ресурсу: <http://www.bank.gov.ua/doccatalog/document?id=73115>

5. Стефанова Н. А. Формування поняття інтернет-маркетинг на ринку вищої освіти. *Креативна економіка*. 2022. № 11 (71). С. 75–82.

6. Семенова А. В. Інтернет-маркетинг в Україні: передумови виникнення, особливості становлення, перспективи розвитку. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2022. № 10. С. 413–417.

7. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/>

8. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2021-2023 роки. Режим доступу: URL: [www.ukraviatrans.gov.ua](http://www.ukraviatrans.gov.ua).

9. Офіційний сайт Державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)

10. The Global Information Technology Report 2020: Innovating in the Digital Economy [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: [http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/WEF\\_GITR\\_Full\\_Report.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/WEF_GITR_Full_Report.pdf).

11. Шкляєва Г. О. Інтерактивні маркетингові комунікації у менеджменті підприємства. *Економічний нобелівський вісник*. 2023. № 1 (7). С. 513–524.

## ТРАНСФОРМАЦІЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

*Наталія Миколаївна Польова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5140-2136>

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

*Богдан Ігорович Дубик*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

*Юрій Миколайович Дума*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

В сучасних умовах господарювання для вітчизняних підприємств основним напрямком сталого розвитку є орієнтація на стратегічне планування діяльності з урахуванням викликів, що відбуваються на ринку, в соціально-економічному середовищі, технологічному аспектах та змін зовнішнього середовища функціонування. Цифрові трансформації в сучасному світі призводять до змін у підходах роботи підприємств практично всіх галузей економіки. По суті ми живемо у період так званої 4-ї промислової революції, яка вплинула і матиме подальший вплив на економічну, соціальну, технологічну та організаційну складові роботи підприємств, установ, організацій [1]. Саме тому стратегічне планування надає змогу підприємствам поєднати загальну стратегію розвитку з наявністю реальних і потенційних можливостей для її реалізації, враховуючи загрози, ризики та нестабільності пов'язані із впровадження нових цифрових інструментів.

Стратегічне планування з урахуванням факторів цифровізації не лише забезпечує конкурентоспроможність сучасного підприємства, але й створює та підтримує передумови його подальшого розвитку. Успішність стратегічного планування підприємства може бути досягнута при знаходженні балансу у стратегічному управлінні на мезо-, макро- та мікрорівні [2].

Зі стратегічного погляду підприємство варто розуміти як систему, що визначає свою конфігурацію й цільову орієнтацію залежно від змін зовнішнього середовища. У таких умовах необхідний перехід до нової управлінської моделі, що дозволить у нестабільному ринковому середовищі здійснювати ефективне управління. Однак аналіз вітчизняного досвіду свідчить, що стан стратегічного планування взагалі, окремих управлінських заходів зокрема не відповідає сучасній ситуації за умов цифрової трансформації. Стратегічне планування діяльності підприємств відбувається під впливом нових технологічних

можливостей, які дозволяють обробляти великі масиви даних і цифрові способи їх передачі, аналізу та зберігання, хмарні обчислення, шифрування та кібербезпека, штучний інтелект, цифрова торгівля, роботи, Інтернет речей та інші технології, які слід враховувати та застосовувати при стратегічному плануванні.

У сучасних реаліях, щоб відповідати вимогам цифрової економіки стратегічне планування має бути досить мобільним, формувати дані з активним використанням ІТ-технологій, хмарних сервісів та програмних розробок, що підвищить точність, швидкість, якість отриманих даних [3].

Планування діяльності підприємств, як взаємозалежної системи, має бути націлене на комплексний розвиток всіх складових його частин, таких чинників як попиту, і пропозиції, фізичних та інституційних елементів. Ця система функціонуватиме набагато ефективніше та принесе бажані вигоди, якщо вона плануватиметься на комплексній основі з узгодженим розвитком усіх її компонентів.

Важливим чинником підвищення успішності діяльності суб'єктів підприємництва є використання стратегічного маркетингового інструментарію. Першим кроком у стратегічному плануванні маркетингової діяльності має бути чітке окреслення основних етапів процесу формування й реалізації маркетингових стратегій у загальній системі управління.

Для реалізації стратегічних завдань необхідна розробка чіткого структурованого механізму стратегічного управління і планування, що передбачає можливість аналізу різних варіантів розвитку підприємства в динаміці. У процесі стратегічного управління поведінка всіх виділених факторів прогнозується. Прогнозовані величини для кожного часового періоду порівнюються з фактичними, визначаються їх відхилення, якщо відхилення перевищують допустимі значення, фіксуються фактори, де необхідно здійснювати зміни. Все вищезазначене дозволяє більш комплексно проводити стратегічне планування діяльності підприємств, а застосування цифрових інструментів лише посилює точність проведення стратегічних розрахунків.

Перехід до стратегічного планування з урахуванням факторів цифровізації для вітчизняних підприємств вимагає перебудови системи управління з орієнтацією на вирішення стратегічних завдань і перегляду функцій управління та низки економічних структур з метою приведення їх у відповідність до умов зовнішнього середовища, яке постійно змінюється, і підготовки до підвищення рівня планування діяльності. Зміст цього перетворення полягає в тому, що на підприємстві здійснюється міжфункціональна координація найважливіших, з погляду стратегічної ринкової орієнтації, функціональних



служб і рівнів управління, а це разом становить організаційно-функціональний комплекс стратегічного планування діяльності на підприємстві [4].

Таким чином, сучасне стратегічне планування діяльності вітчизняних підприємств має носити комплексний і всеосяжний характер з урахуванням існуючих цифрових умов і перспектив розвитку для успішного функціонування суб'єктів господарювання. Фактори цифровізації зумовлюють необхідність врахування певних передумов у стратегічне планування діяльності підприємств, а саме:

- використання інформаційних технологій у процесі розроблення та реалізації стратегії підприємства;
- необхідність цифрового моделювання стратегічного управління;
- прийняття рішень щодо реалізації стратегічної альтернативи на основі моделювання та використання інформаційних баз даних;
- перенесення напрямів діяльності підприємств на цифрове середовище задля відображення об'єктів реального світу у віртуальному просторі.

Отже, для забезпечення оптимальної системи стратегічного менеджменту підприємства необхідно налагодити механізм взаємозв'язку між елементами системи стратегічного управління з урахуванням положень цифрової трансформації.

## Посилання

1. Руденко М. В. Аналіз позицій України в глобальних індексах цифрової економіки. Економіка та держава. 2021. № 2. С. 11–18.
2. Гаряга Л. О. Розвиток фінансового ринку в умовах цифровізації економіки. Бізнес Інформ. 2018. № 11. С. 388–393.
3. Барановський О. І. Трансформаційні процеси у фінансовому секторі національної економіки: теорія, методологія та моделювання: монографія. Київ: ДВНЗ «Університет банківської справи», 2017. 488 с.
4. Кирилюк Є. М. Цифровізація: маркетингові тренди та платформи реалізації. Науковий вісник Одеського національного економічного університету. 2022. № 5-6 (294-295), С. 80–88.

## **АВТОМАТИЧНА РУБРИКАЦІЯ ТЕКСТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕМАНТИЧНИХ СЛОВНИКІВ**

*Єгор Романович Ковилін*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2734-4095>

Університет імені Альфреда Нобеля, Дніпро

*Микита Олександрович Басистий*

Університет імені Альфреда Нобеля, Дніпро

### **Вступ**

У сучасному інформаційному суспільстві величезна кількість текстового контенту стає доступною користувачеві щодня. У таких умовах актуальність та ефективність подання інформації стають критично важливими. Люди витрачають все більше часу на пошук та фільтрацію інформації, щоб знайти те, що їм справді потрібно. Вирішенням цієї проблеми може стати рубрикація тексту, яка дозволяє організувати інформацію у структуровану форму, що значно полегшує її пошук та засвоєння. Читач може швидко переглянути рубрики і вибрати тему, що цікавить, що економить час і покращує його сприйняття інформації. У деяких областях, таких як новини, наука чи технології, де актуальність інформації є вкрай важливою, рубрикація дозволяє швидко знайти потрібну інформацію та бути в курсі останніх подій та розробок у конкретній галузі. Це особливо корисно для професіоналів, дослідників та активних користувачів, яким важливо бути в курсі подій. Врешті, рубрикація тексту сприяє поліпшенню користувальницького досвіду та задоволенню потреб читачів. Вона допомагає скоротити час, що витрачається на пошук та читання тексту, а також підвищує рівень розуміння та засвоєння інформації. Це може призвести до збільшення задоволеності користувачів та їхнього повернення до джерела інформації в майбутньому. Виходячи з цього, актуальність теми автоматичної рубрикації текстів є досить високою.

Проведене у роботі дослідження існуючих розробок показало, що існуючі механізми автоматичної рубрикації текстів, які гуртуються на методах штучного інтелекту, хоча і дозволяють вирішити порушену у роботі проблему, зазвичай вимагають складних налаштувань і глибоких предметних знань у користувачів таких доробок. Для відносно невеликих інформаційних множин із сталим або слабо змінним переліком рубрик, якими наприклад можуть бути бібліотеки або довідкові каталоги, більш привабливим виглядає перспектива використання рубрикації на основі семантичних словників, де контроль за якістю

рубрикації можливо покращувати самому користувачу, шляхом наповнення та правки словників за його безпосередньою потребою.

Саме тому, метою даної роботи є розробка алгоритму автоматичної рубрикації тексту на основі семантичних словників, та побудова інформаційної системи, яка реалізує створений алгоритм.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Результатом проведеного дослідження стала розробка алгоритму, схема якого зображена на рис. 1. Розглянемо його більш детально.

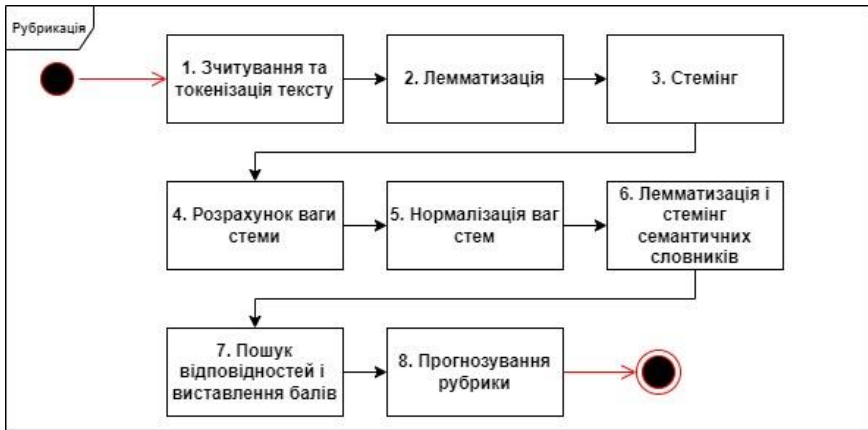


Рис. 1. Алгоритм автоматичної рубрикації тексту на основі семантичного словника

Найпершим кроком розробленого алгоритму є отримання вхідного тексту у форматі «plain text», без попередньої обробки і семантичної розмітки. Над отриманим таким чином текстом проводиться операція токенизації, яка спрямована на парсинг слів із тексту у форматі токенів, доступних до подальшої програмної обробки. Окрім того, на цьому етапі відбувається фільтрація тексту від стоп-слів, таких як союзи, займенники та інші, які не мають значення для подальшого статистичного аналізу. Фільтрація відбувається за допомогою словника стоп-слів, який було складено заздалегідь для англійської мови та є сталим і незмінним для кожної мови.

Для кожного токена-слова, отриманого на попередньому етапі, необхідно виконати приведення слів до єдиної форми – стемів, для подальшого розрахунку їх статистичної ваги. Однак, існуючі алгоритми стемінгу не дозволяють достатньо якісно привести слова до єдиної

форми, особливо у випадках словозміни через використання суфіксу або закінчення [1]. Тому, було прийнято рішення про проведення попереднього процесу лематизації для кожного слова-токена, який полягає у приведенні слів до їх лем - основних форм або словникових форм. Лематизація [2] допомагає уніфікувати різні словоформи, наводячи їх до єдиної базової форми. Це дозволяє скоротити різноманітність словоформ та обробляти текст більш ефективно. Наприклад, слова "біжить" і "біжать" можуть бути лематизовані до загальної форми "бігти".

Над отриманими лемами відбувається процес стемінгу, який полягає у обрізанні словоформи до її основи (стеми) шляхом видалення суфіксів та закінчень. У якості алгоритму стемінгу був обраний стемінг Портера [3] - один із найпоширеніших методів стемінгу, який є універсальним і широко застосовуваним методом стемінгу для багатьох мов, враховує різні типи словозміни, такі як суфікси, закінчення та приставки, та застосовує відповідні правила для їх видалення та приведення слова до єдиної основи, і врешті, відрізняється відносною простотою реалізації та високою швидкістю роботи, через що він може бути легко впроваджений у системи обробки тексту та використаний для обробки великих обсягів даних.

Над отриманим масивом стем слів, відбувається процес розрахунку статистичної ваги стем, яка представляє собою кількість повторень стеми у тексті. Отриману таким чином вагу стеми необхідно зробити незалежною від загальної кількості слів у тексті, для чого була використана формула 1:

$$HBC = \frac{BC}{ЗКС} \quad (1)$$

де  $BC$  - кількість повторень слова (вага слова),  $HBC$  - нормована вага слова,  $ЗКС$  - загальна кількість слів у тексті.

Заповнені заздалегідь семантичні словники рубрик, які містять перелік слів-маркерів, що найкраще, з точки зору користувача описують рубрику тексту, так само проходять через процеси лематизації та стемінгу. Для кожної стеми із тексту, що аналізується, відбувається її зіставлення із стемами словника. У разі співпадіння стем, нормована вага стеми додається до ваги рубрики, з якою відбувається порівняння стем з текстом. Таким чином, ми отримуємо чіткі цифри ваги кожної існуючої у системі рубрики для конкретного тексту. Рубрика із максимальною сумарною нормалізованою вагою стає результатом рубрикації нашого тексту.

Для перевірки адекватності розробленого алгоритму було проведено тестування на складеному корпусі із 70 текстів і словників на три семантично незалежних теми: кулінарія, кіно та відеоігри. Мануальне тестування отриманих результатів рубрикації, яке полягало у ручному зіставленню отриманої рубрики із очікуваною, показало точність рубрикації у 92%.

## ВИСНОВКИ

У роботі розроблено підхід до рубрикації текстів, заснований на аналізі статистичних характеристик тексту і використання семантичних словників. На основі побудованого алгоритму, був розроблений додаток автоматизованого рубрикації тексту на англійській мові. Серед методів обробки природньої мови використані токенизація, стемінг і лематизація. Формалізована задача статистичної класифікації неструктурованих текстових даних, створено алгоритм рубрикації, що включає позначення тематичного класу тексту на основі складання семантичних словників з такими даними як назва теми та слова що їй належать.

Проведене мануальне тестування розробленого додатку показало точність визначення рубрики у 92%, на 70 текстах різної тематики, що є цілком задовільним для першочергової задачі роботи.

## ПОСИЛАННЯ

1. Jasmeet Singh and Vishal Gupta. Text Stemming: Approaches, Applications, and Challenges. *ACM Comput. Surv.*, 2016 - 1-46 pp. <https://doi.org/10.1145/2975608>.
2. Siddhartha B S. An Interpretation of Lemmatization and Stemming in Natural Language Processing - Shanghai Ligong Daxue Xuebao/Journal of University of Shanghai for Science and Technology 22(10), 2021 - 350-357 pp.
3. Willett, P. (2006) The Porter stemming algorithm: then and now. *Program: Electronic Library and Information Systems*, 40 (3). pp. 219-223. ISSN 0033-0337 <https://doi.org/10.1108/00330330610681295>.

## **ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ТОРГІВЛЮ: МОЖЛИВОСТІ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ**

*Валерія Валеріївна Воробйова*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3913-1289>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Tetiana Cherniavska (Тетяна Анатоліївна Чернявська)*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4729-2157>

State University of Applied Sciences in Konin, Konin, Poland

Штучним інтелектом називають галузь комп'ютерної лінгвістики та інформатики, яка займається математичним описом проблем та завдань, що мають схожі характеристики з діями, виконуваними людиною [1].

Штучний інтелект (ШІ) вже давно встиг стати невід'ємною складовою сучасного світу і продовжує посилювати свій вплив на різні сфери життя суспільства: систему охорони здоров'я [9] та робототехніку [12], науку [13] та освіту [7], економіку [6] та інші. Однією з таких сфер є торгівля, яка відіграє важливу роль в розвитку економіки України.

Використання штучного інтелекту в торгівлі має значний потенціал для покращення процесів управління товарними запасами, логістики, персоналізації обслуговування та інших аспектів діяльності у цій галузі [14]. Однак, поряд з усіма перевагами, виникають і певні виклики, пов'язані передусім з етикою, правовими аспектами, впливом на зайнятість та кібербезпекою.

Однією з ключових переваг використання штучного інтелекту в торгівлі є можливість автоматизувати процеси управління товарними запасами і логістикою [2]. Системи зі штучним інтелектом можуть швидко аналізувати дані про попит, прогнозувати потреби в товарах та матеріалах, оптимізувати логістичні рішення, зменшуючи витрати та підвищуючи ефективність.

Також штучний інтелект здатен персоналізувати та рекомендувати товари клієнтам на основі аналізу їх поведінки та вподобань [4]. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних про клієнтів, їхні покупки, відгуки та соціальні медіа, щоб зрозуміти їхні потреби та надати максимально персоналізовані пропозиції. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню рівня задоволеності клієнтів та збільшенню обсягу продажів.

Штучний інтелект допомагає оптимізувати процеси ціноутворення та прогнозування попиту [3]. Аналітичні моделі на основі ШІ

мають можливість аналізувати дані про ціни, конкуренцію, макроекономічні показники та інші фактори, щоб визначити оптимальні цінові стратегії та спрогнозувати попит на товари. Це дозволяє підприємствам знижувати ризики виникнення зайвих запасів або, навпаки, недостачі товарів.

Чат-боти та віртуальні асистенти є ще однією важливою частиною ІІІ в торгівлі [9]. Вони можуть надавати швидку та ефективну підтримку клієнтам, відповідати на всі запитання, рекомендувати товари та допомагати з оформленням замовлень. Це покращує рівень обслуговування клієнтів і дозволяє підприємствам зосередитися на більш складних завданнях.

В контексті цього, заслуговує на увагу революційний за своєю сутністю та можливостями Ghat GPT. З початку 2023 року точаться гарячі дискусії навколо чат-бота GPT - системи на основі штучного інтелекту, розробленої дослідницькою організацією OpenAI [12]. В її основі лежить вдосконалений алгоритм обробки природної мови, який дозволяє їй аналізувати та генерувати тексти, а також вести розмови з користувачами у майже природній формі. Модель була навчена на величезному наборі даних (понад 8 мільйонів статей Вікіпедії), що дало їй можливість передбачати слова та речення на основі попереднього тексту.

За прогнозами, до 2030 року світовий ринок штучного інтелекту досягне 1,59103 трильйона доларів США, і такі інструменти, як ChatGPT, відіграватимуть ключову роль, насамперед завдяки все більш широкому використанню, у розвитку, в тому числі, комерційної сфери [7].

Так, серед ключових переваг для суб'єктів електронної комерції використання чат-боту GPT можуть бути виділені: 1) збільшення обсягів продажу: чат-бот GPT може персоналізувати рекомендації щодо товарів на основі уподобань клієнтів та історії їх покупок; 2) поліпшення якості сервісу клієнтів: ChatGPT може оптимізувати і максимально спростити зв'язок між покупцем і інтернет-магазином; 3) оптимізація позиціонування сайтів, наприклад, інтернет-магазинів, в пошукових системах: суб'єкти, які у своїй діяльності будуть використовувати чат-бот GPT, можуть покращити «видимість» при запитах у пошукових системах, так як Google та інші системи пошуку інформації оцінюють позитивно взаємодію з клієнтами; 4) значне скорочення часу та фінансових ресурсів, оскільки чат-бот GPT може обслуговувати клієнтів 24/7/365 та обробляти одночасно кілька запитів клієнтів, що, дозволяє, передусім, оптимізувати чисельність персоналу; 5) підвищення рівня конкурентоспроможності за рахунок кращої клієнтоорієнтованості і кастомізації: чат GPT дозволяє на підставі аналізу

вподобань та замовлень клієнтів, аналізуючи їхні запитання та відповіді надати можливість суб'єктам е-комерції оперативно реагувати на це, отримуючи при цьому конкурентні переваги.

Але, разом з цим, слід пам'ятати про те, що використання штучного інтелекту в торгівлі має і певні виклики. Перш за все, необхідно ретельно розглядати етичні та правові аспекти використання ШІ [1]. Наприклад, збір і аналіз персональних даних клієнтів повинен відбуватися відповідно до законодавства України з дотриманням приватності. Також, виникають етичні питання щодо впливу ШІ на прийняття рішень та можливість системного прихованого дискримінаційного підходу до клієнтів [11].

Як було зазначено вище, використання ШІ також може негативно впливати на зайнятість працівників у роздрібній торгівлі. Деякі прості завдання, до яких можна віднести обробку замовлень або підтримку клієнтів, можуть бути автоматизовані за допомогою ШІ. Це, в свою чергу, може призвести до змін у вимогах до професійних навичок, які необхідні для роботи в цій галузі, та потенційно вплинути на скорочення кількості робочих місць.

Крім того, використання ШІ вимагає підвищеної уваги до кібербезпеки та захисту персональних даних. Збільшення кількості зв'язків та обміну даними може створити нові вразливі місця та ризики, які необхідно враховувати та захищати. Розробка усіма країнами світу єдиних міжнародних стандартів у сфері використання штучного інтелекту допомогла б у вирішенні питань безпеки та сприяла б забезпеченню уніфікації і створення спільної основи для розвитку технологій ШІ [5].

Застосування штучного інтелекту значним чином допомагає підвищити конкурентоспроможність українських підприємств завдяки своїй інноваційності. ШІ сприяє розширенню ринків збуту за допомогою розвитку електронної комерції та інтернаціоналізації. Інтернет та технології зв'язку дають можливість підприємствам працювати на віддалених ринках та реалізовувати товари та послуги онлайн, а штучний інтелект може сприяти розробці ефективних систем електронної комерції та спрощенню процесів логістики для міжнародних поставок.

Поєднання штучного інтелекту з іншими технологіями, такими як аналітика даних та Інтернет речей, здатне значно підвищувати рівень обслуговування клієнтів та задоволеності їх потреб. ШІ допомагає у створенні інтерактивних чат-ботів, віртуальних помічників та систем автоматичної цілодобової підтримки, що забезпечують швидку та якісну взаємодію з клієнтами.

Штучний інтелект широко використовується у вітчизняній



торгівлі та має великий потенціал для розвитку. Його застосування надає значні переваги, серед яких автоматизація процесів, персоналізація обслуговування, оптимізація ціноутворення та відстежування попиту. Однак задля подальшої успішної інтеграції ШІ в торгівлю необхідно приділяти належну увагу етичним, правовим та кібербезпечним аспектам його використання. Крім того, потрібно враховувати можливий вплив на скорочення робочих місць, а також забезпечувати більш надійний захист персональних даних клієнтів. Використання штучного інтелекту відкриває нові можливості для розвитку української торгівлі, сприяючи покращенню конкурентоспроможності та підвищенню рівня обслуговування на підприємствах цієї сфери.

## ПОСИЛАННЯ

1. Андрощук Г. О. Технології штучного інтелекту: тенденції розвитку. 2019. URL: <https://ndipz.ir.org.ua/wp-content/uploads/2019/26.02.19/26.02.19-4-9.pdf>.

2. Бурдяк О. М. Клієнтоорієнтована логістика в інтернет-торгівлі. Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. 2018. Випуск I-II (69-70). С. 222-228. URL: [http://chtei-knteu.cv.ua/herald\\_en/content/download/archive/2018/36.pdf](http://chtei-knteu.cv.ua/herald_en/content/download/archive/2018/36.pdf).

3. Іванечко Н. Р., Процишин Ю. Т., Никитишин Т. В. Цифрові технології в роздрібній торгівлі: зарубіжний та Український досвід. Food Industry Economics. 2020. Vol. 12. №. 1. С. 77-85. <https://doi.org/10.15673/fe.v12i1.1671>.

4. Іваницька А. Ю., Іванов Д. Є., Зубик Л. В. Модель прогнозування поведінки покупця на основі технологій аналізу великих даних Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Інформатика та моделювання = Bulletin of the National Technical University "KhPI" Ser.: Information and Modeling : зб. наук. пр. 2021. № 2 (6). С. 89-100. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/0020c0a1-2eb9-4d6d-a288-1fde808e48de/content>.

5. Кашуба О. А., Гроть О. В. Вплив штучного інтелекту на розвиток міжнародної торгівлі. Digital Transformations of Modernity: Proceedings of the Multidisciplinary International Scientific-Practical Conference (January 24, 2022. Coimbra, Portugal). Cernihiv: REICST, 2022. С. 49-52. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/28176/1/11-42-PB.pdf>.

6. Піжук О. І. Штучний інтелект як один із ключових драйверів цифрової трансформації економіки. Економіка, управління та адміністрування. 2019. №. 3(89). С. 41-46. [https://doi.org/10.26642/ema-2019-3\(89\)-41-46](https://doi.org/10.26642/ema-2019-3(89)-41-46).

7. Chat GPT: Nowy wymiar zarabiania dzięki sztucznej inteligencji.  
URL: <https://www.money.pl/gospodarka/chat-gpt-nowy-wymiar-zarabiania-dzieki-sztucznej-inteligencji-6897219639913280a.html>

8. Chen X. et al. Two decades of artificial intelligence in education. *Educational Technology & Society*. 2022. Vol. 25. №. 1. P. 28-47. [https://doi.org/10.30191/ETS.202201\\_25\(1\).0003](https://doi.org/10.30191/ETS.202201_25(1).0003).

9. Lebedeva L., Sorokina A. Contactless economics: a theoretical phenomenon and the practice of formation. *Commodities and markets*. 2022. Vol. 42. №. 2. C. 13-30. [https://doi.org/10.31617/2.2022\(42\)02](https://doi.org/10.31617/2.2022(42)02).

10. Lyon J. Y., Bogodistov Y., Moormann J. AI-driven Optimization in Healthcare: the Diagnostic Process. *European Journal of Management Issues*. 2021. Vol. 29. – №. 4. – P. 218-231. <https://doi.org/10.15421/192121>.

11. Makedon V. et al. Arrangement of Digital Leadership Strategy by Corporate Structures: a Review // *Economic Studies*. 2022. Vol. 31. №. 8. P. 9-40. URL: [https://www.iki.bas.bg/Journals/EconomicStudies/2022/2022-8/02\\_Nataliya-Krasnikova.pdf](https://www.iki.bas.bg/Journals/EconomicStudies/2022/2022-8/02_Nataliya-Krasnikova.pdf).

12. Makedon V., Mykhailenko O., Vazov R. Dominants and Features of Growth of the World Market of Robotics. *European Journal of Management Issues*. 2021. Vol. 29. №. 3. P. 133-141. <https://doi.org/10.15421/192113>.

13. OpenAI [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: <https://openai.com/> (дата звернення 25.05.2023) – Назва з екрана.

14. Salvagno M. et al. Can artificial intelligence help for scientific writing?. *Critical care*. 2023. Vol. 27. №.1. P. 1-5. <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04380-2>.

15. Zaharchuk V., Klym O., Antokhova I. The use of artificial intelligence in trade. *ЛОГОΣ мистецтво наукової думки*. 2020. URL: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.15.23.html>.

## ПИТАННЯ ВИБОРУ ПЛАТФОРМИ РОЗРОБКИ ІОТ НА ОСНОВІ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ З КІБЕРНЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

*Валерій Борисович Мазуренко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8340-012X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Інтернет речей (IoT – Internet of Things) безперервно збільшує свою присутність в нашому житті. Цьому процесу розширення в першу чергу сприяє зменшення вартості сенсорів, мікроконтролерів, приладів мережевої інфраструктури вкупі з активним розвитком різноманітних хмарних сервісів. Сьогодні самі звичайні люди мають доступ до технологій, які дозволяють збирати інформацію з різноманітних джерел, створювати автоматизацію для роботи побутової техніки та реалізовувати різноманітні сценарії взаємодії технічних об'єктів. Проте, як тільки користувач починає використовувати ці нові технології, відразу з'являється небезпека викрадання конфіденційних даних, підміни або знищення важливої інформації, появи спроб реалізації шкідливого функціонування системи та таке інше, – тобто всього того, що носить назву кібернетична загроза. Запобігти зазначеним загрозам можливо завдяки впровадженню в системах IoT стандартів з забезпечення кібернетичної безпеки.

Найбільш авторитетними організаціями, які створюють стандарти з кібербезпеки є наступні: ETSI (European Telecommunications Standards Institute) – Європейський інститут телекомунікаційних стандартів; IoTSF (Internet of Things Security Foundation) – Організація з безпеки інтернету речей; GSMA (Groupe Speciale Mobile Association) – Асоціація «Спеціальна група мобільних технологій»; NIST (National Institute of Standards and Technology) – Національний інститут стандартів і технології, США; IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – Інститут інженерів з електротехніки та електроніки; IEC (International Electrotechnical Commission) – Міжнародна електротехнічна комісія; ENISA (European Union Agency for Network and Information Security) – Агентство Європейського Союзу з питань мережевої та інформаційної безпеки. Всі ці організації мають свої стандарти з кібернетичної безпеки IoT [1-3]. Зазначимо, що в першу чергу стандарти розрізняються за сферою застосування IoT, як то: промислова автоматизація, медицина, «розумний город», транспортні засоби, загальне призначення та таке інше. В цій роботі розглядається системи для потреб загального користування, таких наприклад, як «розумний будинок», тому доцільним було б спиратися на стандарт ETSI, який має назву «Кібербезпека Інтернету речей користувачів: основні

вимоги» [3]. Надалі в тексті будемо називати його просто «стандарт». Стандарт встановлює наступні основні положення забезпечення кібербезпеки інтернету речей.

1. Не використовуйте універсальних паролів за замовчуванням.
2. Впроваджуйте засоби керування звітами щодо вразливості.
3. Постійно оновлюйте програмне забезпечення.
4. Надійно зберігайте конфіденційні параметри безпеки.
5. Спілкуйтеся безпечно.
6. Зведіть до мінімуму відкритий простір для нападу.
7. Забезпечте цілісність програмного забезпечення.
8. Переконайтеся, що персональні дані захищені.
9. Зробіть системи стійкими до збоїв.
10. Перевіряйте дані системної телеметрії.
11. Спростіть для користувачів видалення даних користувачів.
12. Зробіть установку та обслуговування пристроїв простими.
13. Перевіряйте введені дані.

Частина цих вимог стосується апаратного та програмного забезпечення, яке використовується для створення системи IoT (мікроконтролера, його ОС та API), але не всі. Пункти 1, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 – в першу чергу залежать від розробників та користувачів IoT. За належного програмування, вдалої конструкції та правильної експлуатації всі ці пункти можуть бути реалізовані практично на всіх популярних платформах. Звичайно, й всі інші пункти залежать від розробників та користувачів, проте їх не вдасться виконати, якщо мікроконтролер, операційна системи (ОС), прикладний програмний інтерфейс (API – Application Programming Interface) та підтримка виробника (у сукупності – платформа) не мають відповідних інструментів. Тому під час вибору платформи необхідно звертати увагу на те, якою мірою виробник мікроконтролера виконує вимоги пунктів 2, 3, 4, 5, 7. Коротко розглянемо зміст цих вимог. Почнемо з другого пункту стандарту. Стосовно засобів керування звітами щодо вразливості стандарт потребує відкритої публікації політики виробника щодо виявлення вразливостей. Це перша вимога з якої витікають усі наступні. Тому в процесі вибору платформи необхідно знайти ці звіти від компанії-виробника та оцінити періодичність їх появи.

Так само стосовно третього пункту основних вимог необхідно визначити, чи відбувається випуск оновленого програмного забезпечення на постійній основі. Оновлення операційної системи реального часу, якою виробник оснащує мікроконтролер має відбуватися не рідше, ніж раз на рік. Це є ознакою гарної практики. Мова йде про ядро системи, бібліотеки та засоби розробки програмного забезпечення. В кожній компанії-розробника може бути власна система представлення

оновлень, з якою обов'язково треба бути ознайомленим. Надійне збереження конфіденційних параметрів безпеки в мікроконтролері (пункт 4 вимог стандарту) забезпечується шифруванням файлової системи. Додатково може використовуватися шифрування енергонезалежної пам'яті. Якщо платформа не має таких опцій, то виконати пункт 4 буде неможливо. Пункт 5 вимог стандарту («безпечне спілкування») передбачає використання криптографічного захисту під час передавання даних. Задля виконання цього пункту найбільш зручним слід визнати наявність прикладного програмного інтерфейсу для роботи з TLS – криптографічним протоколом захисту на транспортному рівні (Transport Layer Security). В цьому випадку з'являються можливості для перевірки сертифіката сервера, автентифікації сертифіката клієнта та таке інше. На основі протоколу TLS реалізується протокол HTTPS, що дозволяє побудувати надійний зв'язок з хмарним сервером, так само, як й з IoT-пристроями. Стандарт вимагає (пункт 7) наявності засобів забезпечення цілісності програмного забезпечення шляхом застосування механізму безпечної загрузки, який передбачає використання цифрових підписів програмного коду. Важливо переконатися, що такий механізм існує.

Таким чином, реальний рівень безпеки системи IoT в першу чергу буде залежати від коректного вибору платформи розробника (мікроконтролер, ОС, API, підтримка) на основі вимог стандарту з кібербезпеки, чому треба приділити особливу увагу, а в решті решт – від якості розробки програмного забезпечення, вдалої конструкції пристроїв та правильної експлуатації – так само у відповідності до стандарту.

## ПОСИЛАННЯ

1. The IoT Security Assurance Framework Release 3.0 [Чинний від 2021-11]. IoT Security Foundation, 2021. 58 с. URL: <https://www.iotsecurityfoundation.org/wp-content/uploads/2021/11/IoTSF-IoT-Security-Assurance-Framework-Release-3.0-Nov-2021-1.pdf>
2. NISTIR 8259A IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline [Чинний від 2020-05]. National Institute of Standards and Technology, 2020. 23 с. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2020/NIST.IR.8259A.pdf>
3. ETSI EN 303 645 V2.1.1. CYBER; Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements [Чинний від 2020-06]. ETSI, 2020. 34 с. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/303600\\_303699/303645/02.01.01\\_60/en\\_303645v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303600_303699/303645/02.01.01_60/en_303645v020101p.pdf)

## **АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСАМИ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ**

*Юлія Миколаївна Голей*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5731-1844>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Ілля Андрійович Дрік*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7722-7105>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

З кожним десятиліттям кількість викликів та проблем в управлінні та менеджменті бізнесу збільшується прямо пропорційно з темпами економічного прогресу світової економіки. Ринковий тип економіки, властивий нині майже усім розвиненим країнам світу, при якому вплив держави на діяльність суб'єктів бізнесу є мінімальним, здебільшого заважав встановленню контролю й регуляції їх діяльності. У даних обставинах, використання штучного інтелекту в управлінні бізнес-процесами є важливою складовою розвитку підприємства [5, 6]. Зважаючи, що штучний інтелект в останні десятиліття набув значного розповсюдження в різних сферах людської діяльності, включаючи управління бізнес-процесами, його потужність і можливості привернули увагу дослідників та практиків до проведення аналізу використання штучного інтелекту в системах управління бізнес-процесами та виявлення переваг і недоліків цього підходу.

Метою роботи є проведення аналізу використання штучного інтелекту в системах управління бізнес-процесами з метою з'ясування його впливу на ефективність управління та визначення його потенціалу для досягнення важливих наукових та практичних завдань. З моменту зростання економічного прогресу світової економіки, кількість викликів та проблем в управлінні та менеджменті бізнесу незмінно збільшується. Сучасний ринковий тип економіки, який характерний для більшості розвинених країн, передбачає мінімальний вплив держави на діяльність суб'єктів бізнесу. Така ситуація не завжди сприяє налагодженню контролю та регуляції їхньої діяльності. Саме в таких умовах використання штучного інтелекту стає важливою складовою розвитку підприємств.

В останні десятиліття штучний інтелект набув значного розповсюдження у різних сферах людської діяльності, включаючи управління бізнес-процесами. Його потужність і можливості привернули увагу дослідників та практиків, що стимулює проведення аналізу використання штучного інтелекту в системах управління бізнес-

процесами та виявлення переваг і недоліків цього підходу.

Основними задачами даної роботи є:

– Проаналізувати роль штучного інтелекту в управлінні бізнес-процесами та виявити переваги, які він може надати. Розглянути приклади успішного впровадження штучного інтелекту в сфері управління бізнес-процесами.

– Визначити потенційні недоліки та обмеження використання штучного інтелекту в системах управління бізнес-процесами.

– Оцінити вплив штучного інтелекту на ефективність управління бізнес-процесами, зокрема на зростання продуктивності, зниження витрат та підвищення якості прийняття рішень.

– Виявити потенціал штучного інтелекту для досягнення важливих наукових та практичних завдань у сфері управління бізнес-процесами.

Результати аналізу використання штучного інтелекту в системах управління бізнес-процесами сприятимуть більш глибокому розумінню цього підходу і можуть стати основою для подальшого вдосконалення і впровадження штучного інтелекту в сучасну практику управління бізнесом.

Штучний інтелект (надалі - ШІ) став невід'ємною частиною сучасного світу та має значний потенціал для застосування в системах управління бізнес-процесами. Він здатен аналізувати великі обсяги даних, виявляти складні залежності, робити прогнози та приймати рішення на основі об'єктивних алгоритмів. Однією з переваг використання штучного інтелекту є автоматизація рутинних та повторюваних завдань управління бізнес-процесами. Це дозволяє вивільнити людські ресурси від монотонної роботи та спрямувати їх на вирішення складних завдань, які вимагають творчого мислення та стратегічного підходу [4].

Розглядаючи природу розвитку та вдосконалення технологій штучного інтелекту, можна констатувати, що обсяг інвестицій з приватного сектору збільшується з кожним роком, за виключенням 2022 року. Якщо брати до уваги світові події 2022 року, як війна на території України і рецесивні тенденції на фоні підвищеної інфляції у країнах ЄС та змінної політичної ситуації, можна зробити висновок, що штучний інтелект є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку та інвестування, відповідно ШІ є одним з центральних нововведень до управління бізнес-процесами.

Global Corporate Investment in AI by Investment Activity, 2013–22

Source: NetBase Quid, 2022 | Chart: 2023 AI Index Report

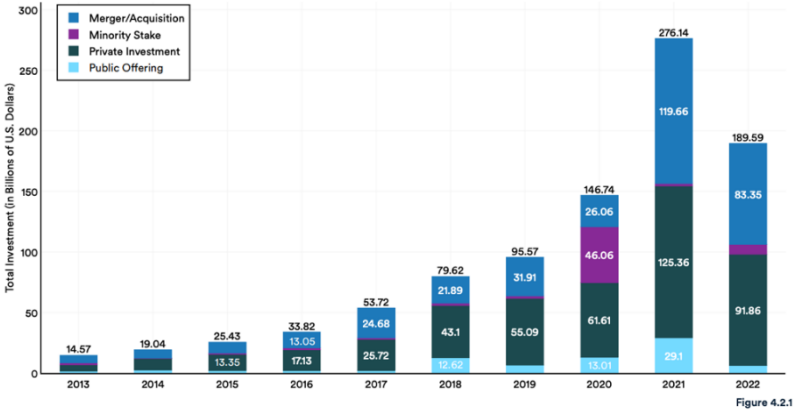


Рисунок 1 – Обсяг приватних інвестицій у технології штучного інтелекту (2013-2022). Джерело: фінансовий статистичний сайт [7]

Штучний інтелект має переваги при використанні в системах управління бізнес-процесами. Він може автоматично виконувати завдання з обробки даних, моніторингу процесів, прогнозування попиту, оптимізації розкладу робіт та багато іншого. Прикладом успішного впровадження ШІ в сфері управління бізнес-процесами є використання системи розпізнавання образів та машинного навчання для автоматичного контролю якості продукції. Ця система може розпізнавати дефекти на виробі з високою точністю та швидкістю, що дозволяє знизити кількість бракованих виробів та вплинути на підвищення якості продукції. Крім того, використання програм з застосуванням штучного інтелекту знижує витрати, покращує якість прийняття рішень та сприяє інноваційному розвитку. ШІ є потужним інструментом для досягнення успіху в управлінні бізнес-процесами, враховуючи його можливості та обмеження.

Попри численні переваги, використання ШІ в системах управління бізнес-процесами також супроводжується певними недоліками та обмеженнями. Одним з недоліків є необхідність наявності великого обсягу якісних та репрезентативних даних для ефективного функціонування систем ШІ. Брак або недостатня якість даних може призвести до недостовірних результатів та неправильних рішень. Також, існує проблема впровадження та інтеграції ШІ з існуючими системами управління бізнес-процесами. Часто це вимагає значних затрат на заміну або модернізацію існуючої інфраструктури та навчання персоналу.



Проте, використання ШІ в системах управління бізнес-процесами може суттєво покращити ефективність діяльності підприємств. Зокрема, застосування ШІ може призвести до зростання продуктивності завдяки автоматизації рутинних задач та швидкому аналізу великих обсягів даних. Відповідно, співробітники можуть сконцентруватись на стратегічних завданнях та прийнятті важливих рішень. Крім того, застосування ШІ може сприяти зниженню витрат підприємств [2]. Автоматизація бізнес-процесів та оптимізація ресурсного планування дозволяють зменшити витрати на робочу силу, скоротити час виконання завдань та знизити ймовірність помилок. Крім того, використання ШІ сприяє підвищенню якості прийняття рішень в управлінні бізнес-процесами. Штучний інтелект може аналізувати багатофакторні дані та враховувати складні залежності, що дозволяє зробити об'єктивні та оптимальні рішення.

Штучний інтелект має великий потенціал для досягнення важливих наукових та практичних завдань у сфері управління бізнес-процесами. Наприклад, застосування алгоритмів машинного навчання та глибинного навчання дозволяє виявити складні закономірності в даних та розробити нові стратегії управління. Також, ШІ може бути використаний для прогнозування тенденцій ринку, аналізу конкурентного середовища та стратегічного планування [3]. Можливості використання ШІ для інноваційного розвитку та стратегічного планування Штучний інтелект відкриває широкі можливості для інноваційного розвитку та стратегічного планування. Системи ШІ можуть бути використані для автоматичного аналізу ринкових трендів, виявлення нових можливостей та розробки інноваційних продуктів. Також, ШІ може допомогти визначити оптимальні стратегії розвитку та планування ресурсів, що сприяє досягненню конкурентних переваг на ринку [1].

Отже, штучний інтелект має великий потенціал для використання в системах управління бізнес-процесами. Він забезпечує автоматизацію, підвищує ефективність, знижує витрати та покращує якість рішень. Однак, необхідно враховувати недоліки та обмеження, пов'язані з наявністю якісних даних та інтеграцією систем. Використання ШІ вимагає обережного планування та аналізу, але може стати сильним інструментом для досягнення успіху в управлінні бізнес-процесами.

Таким чином, штучний інтелект став невід'ємною частиною сучасного світу і може бути успішно використаний в системах управління бізнес-процесами. Його переваги полягають у здатності аналізувати великі обсяги даних, виявляти складні залежності, прогнозувати та приймати об'єктивні рішення на основі алгоритмів.

III автоматизує рутинні завдання управління, звільняючи людські ресурси для складних задач, що вимагають творчого мислення та стратегічного підходу. Один з прикладів успішного використання III в управлінні бізнес-процесами - система розпізнавання образів та машинного навчання для контролю якості продукції. Ця система з високою точністю та швидкістю розпізнає дефекти на виробах, знижуючи кількість браку і підвищуючи якість продукції. Використання III також знижує витрати, покращує якість рішень та сприяє інноваційному розвитку.

Незважаючи на переваги, використання III також супроводжується недоліками та обмеженнями. Для ефективного функціонування систем III необхідний якісний та репрезентативний обсяг даних. Проблема також полягає у впровадженні та інтеграції III з існуючими системами управління, що може вимагати заміни або модернізації інфраструктури та навчання персоналу.

### ПОСИЛАННЯ

1. Гужва В. М. Інформаційні системи і технології на підприємствах : Навч. посіб. – К: КНЕУ, 2001. – 300 с.
2. Association I. R. M. Cognitive Analytics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. *IGI Global*, 2020. 196 с.
3. Brynjolfsson E., McAfee A. Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. *Norton & Company Limited, W. W.*, 2016. 336 с.
4. Intelligence A. Introducing the Neo Revolutionary Thought User Interface (TUI). *Independently Published*, 2017, [1, 134 с.].
5. Lyon J. Y., Bogodistov Y., Moormann J. AI-driven Optimization in Healthcare: The Diagnostic Process. *European Journal of Management Issues*. 2021. Vol. 29. №4. P. 218-231. <https://doi.org/10.15421/192121>.
6. Makedon V., Mykhailenko O., Vazov R. Dominants and Features of Growth of the World Market of Robotics. *European Journal of Management Issues*. 2021. Vol.29. №3. P. 133-141. <https://doi.org/10.15421/192113>.
7. Stanford: Fintech Maintains Position as Third Biggest AI Investment Focus Area - Fintech Schweiz Digital Finance News - FintechNewsCH. *Fintech Schweiz Digital Finance News - FintechNewsCH*. URL: <https://fintechnews.ch/aifintech/stanford-fintech-maintains-position-as-third-biggest-ai-investment-focus-rea/59671/> (дата звернення: 18.05.2023).

## ЕФЕКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ДОКУМЕНТООБІГОМ ЗА ДОПОМОГОЮ КОРПОРАТИВНОГО ПОРТАЛУ

*Наталія Анатоліївна Гук*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7937-1039>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Валентина Андріївна Турчина*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1051-9597>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Анастасія Сергіївна Веселовська*

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

**Вступ.** Корпоративний портал – це веб-застосунок, який забезпечує співпрацю між співробітниками компанії та підвищує продуктивність роботи, інформаційну безпеку. Корпоративний портал дозволяє швидко та зручно обмінюватися інформацією між різними департаментами та окремими працівниками, що сприятиме ефективній організації робочих процесів. Також суттєво зменшується час та витрати на збір та обробку інформації, оскільки корпоративний портал дозволяє зберігати всю необхідну інформацію в одному місці. Інформаційна безпека підтримується шляхом контролю за доступом до конфіденційної інформації, що зменшує ризик її втрати та неправильного використання. Зручність та доступність спілкування та спільна робота над документами дозволяє якісно організувати бізнес-процеси між співробітника у випадках, коли вони територіально знаходяться в різних місцях.

Розробка корпоративного порталу та системи документообігу є важливим кроком в автоматизації бізнес-процесів компанії, що полегшить роботу з великим обсягом інформації, знизить ризик втрати або забруднення даних, сприятиме зберіганню історії документів, поліпшить зв'язок між відділами компанії та забезпечить її ефективність в цілому.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка корпоративного порталу з елементами електронного документообігу. Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- Здійснити аналіз потреб та вимог компанії, обрати модель представлення даних, систему автоматизації документообігом;
- Здійснити проектування та розробку системи, визначити середовище для розробки;
- Здійснити впровадження та тестування роботи системи.

**Матеріали і методи.** Для розробки корпоративного порталу та системи документообігу було виконано такі етапи:

– Аналіз потреб та вимог компанії. На цьому етапі визначалися функціональні можливості та вимоги до системи документообігу, необхідна апаратна та програмна інфраструктура, розміщення даних та забезпечення їх безпеки. У процесі аналізу потреб для запровадження системи документообігу здійснено збір інформації від різних відділів та підрозділів компанії. Це дозволило отримати повну картину щодо різноманітних видів документів, які обробляються, процесів роботи з документами, вимог щодо зберігання та пошуку інформації. Після зібрання інформації проведено детальний аналіз, який дозволив ідентифікувати основні функціональні вимоги до системи. Відокремлено такі функції, як створення, редагування, збереження, пошук та розповсюдження документів. Крім того, було визначено вимоги до автоматизації деяких процесів, наприклад, автоматичне розподілення документів за певними критеріями або створення звітів із генерованих даних.

– Проектування та розробка системи. На цьому етапі побудовано структура корпоративного порталу та системи документообігу, визначено функціональні блоки, обрано дизайн та розроблено інтерфейс, створено базу даних. Проектування та розробка системи документообігу на даному етапі створює основу для подальшої імплементації та впровадження системи в компанію.

– Впровадження та тестування. Після розробки системи проведено її тестування на різних рівнях, а після успішного проходження тестів система впроваджено у роботу. Надалі відбувається період випробування та переходу, під час якого забезпечується підтримка та навчання користувачів щодо роботи з новою системою. Також здійснюється моніторинг та вирішення можливих проблем, забезпечується зворотний зв'язок з користувачами для вдосконалення системи на основі отриманої зворотної інформації. Впровадження та тестування системи документообігу є критично важливим етапом, який дозволяє переконатися в готовності системи до продуктивної роботи та забезпечити її оптимальну працездатність.

– Підтримка та розвиток системи. Після впровадження системи проводиться постійна підтримка та розвиток системи, щоб забезпечити її ефективне використання. Підтримка системи включає в себе ряд дій, що допомагають забезпечити безперебійну та стабільну роботу системи. На цьому етапі передбачено здійснювати моніторинг роботи системи, виявляти та вирішувати можливі проблеми, надавати технічну підтримку користувачам, а також забезпечувати безперебійний доступу до системи шляхом її регулярного оновлення.

Невід'ємною складовою такої розробки є система автоматизації управління документообігом (DocFlow), що базується на таких принципах:

– Централізованість. Вся інформація про документи зберігається в єдиному централізованому репозиторії, що дозволяє швидко знайти потрібні документи та контролювати їхній рух.

– Автоматизація. Система автоматизовано обробляє та зберігає документи, що дозволяє зменшити кількість ручних операцій, зменшити кількість помилок та підвищити ефективність роботи.

– Контроль доступу. До документів можуть мати доступ тільки ті користувачі, які мають на це дозвіл. Це дозволяє забезпечити конфіденційність даних та захист від несанкціонованого доступу.

– Електронний документообіг. Всі документи зберігаються в електронному вигляді, що дозволяє ефективно керувати ними, швидко знайти потрібні документи та зменшити витрати на друк та зберігання паперових документів.

– Пошук та аналіз даних. Система DocFlow дозволяє швидко знайти потрібні документи за допомогою різних фільтрів, а також проводити аналіз даних та створювати звіти.

– Інтеграція з іншими системами. Система DocFlow може бути інтегрована з іншими системами, такими як ERP, CRM, HRM та іншими, що дозволяє автоматизувати більшу кількість процесів та забезпечити їх взаємодію.

В якості середовища для розробки корпоративного порталу було обрано Microsoft SharePoint Online, а для автоматизації документообігу - Power Automate.

Перевагами Microsoft SharePoint є зручність доступ до інформації - SharePoint Online, що дозволяє зберігати, організувати та швидко знаходити необхідні документи. Завдяки системі зберігання інформації можливо створювати бібліотеки документів, списки завдань, календарі подій та інші ресурси, що полегшують організацію та пошук необхідних даних. Наявні функції для спільної роботи забезпечують зручну платформу, яка вже є оптимізованою для спільної роботи над документами, проектами та завданнями. Користувачі можуть одночасно працювати над файлами, спілкуватися через коментарі і сповіщення, що покращує ефективність командної роботи. За допомогою SharePoint Online можна забезпечити високий рівень безпеки для організації, можливість контролювати доступ до даних, організувати ієрархічну систему надання прав, можливість шифрувати файли тощо. SharePoint Online дозволяє інтеграцію з іншими сервісами, наприклад, з Microsoft Teams, який активно використовується в університеті для організації командної роботи.

За допомогою хмарної служби автоматизації бізнес-процесів Power Automate було створено автоматичні потоки роботи для автоматизації рутинних завдань і інтеграції різних додатків та сервісів, виконано налаштування робочих процесів згідно зі специфічними потребами організації.

**Результати.** У результаті даної роботи було змодельовано та розроблено корпоративне середовище документообігу для закладу вищої освіти. Дане корпоративне середовище на базі Microsoft SharePoint Online має такі функції, як: електронний документообіг, пошук та аналіз даних, централізований репозиторій, автоматизована система обробки та зберігання документів та інтеграцію з іншими системами.

**Висновки.** У результаті даної роботи було успішно змодельовано та розроблено корпоративне середовище з елементами організації документообігу для закладу вищої освіти на базі Microsoft SharePoint Online. Розроблене корпоративне середовище інтегрується з іншими системами, що дозволяє забезпечити безперервність роботи та обмін даними між різними платформами.

В цілому, впровадження даного корпоративного середовища документообігу має потенціал зробити робочий процес більш організованим, ефективним та спрощеним для всіх працівників закладу.

## ПОСИЛАННЯ

1. Power Automate documentation - power automate. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-automate/> (дата звернення: 17.05.2023).
2. Withee R. SharePoint. — Withee R. Withee K: For Dummies. 2022.
3. SharePoint developer documentation. *Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career*. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/sharepoint/dev/> (дата звернення: 17.05.2023).
4. Miller P. The digital workplace: how technology is liberating work. New York - London : TECL Publishing, 2020. 213 p.
5. Wanzer L., Wood A. Implementing Microsoft SharePoint 2019: An expert guide to SharePoint Server for architects, administrators, and project managers. Birmingham : Packt Publishing, 2020. 636 p.

## МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ БІЗНЕС-ПЛАНУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

*Роман Петрович Бернацький*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

*Віталій Іванович Кононенко*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

*Андрій Борисович Припхан*

Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет», Київ

Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу призводить до глибоких змін в економіці всіх країн та інтенсивному впровадженню інновацій.

Інноваційна діяльність в сучасних умовах розглядається як один з найважливіших факторів ефективного функціонування організаційної, виробничої, фінансової, наукової сфер, оскільки саме в комплексі вони приносять найефективніший результат.

Більшість передових промислових підприємств і організацій України усвідомило необхідність проведення інноваційної політики, однак уповільнення реформ, невизначеність у структурній перебудові економіки й інші фактори, перешкоджають приєднанню українських бізнесменів до світових інноваційних процесів.

Програмним інструментом управління інноваціями на підприємстві є бізнес-план та інноваційний проєкт – неформальні документи, які розкривають мету, засоби та очікувані результати від реалізації інновацій.

Мету складання бізнес-плану, а також його зміст, структуру, деталізованість проробки та розрахунків визначає наступна функціональна спрямованість:

- розробка концепції ведення бізнесу;
- економічне обґрунтування;
- планування залучення фінансових ресурсів для реалізації бізнес-проєкту;
- параметри оцінки фактичних результатів діяльності підприємства за певний період.

Детальну послідовність розробки бізнес-плану представлено в табл. 1.

Слід відзначити, що жорстко регламентованої форми та структури бізнес-плану не існує. Разом із тим, як правило, у ньому передбачаються розділи, в яких розкривається концепція і мета бізнесу,

характеризується специфіка інноваційного продукту підприємства та задоволення ним потреб ринку; оцінюється ємність ринку та встановлюється стратегія поведінки підприємства в обраних ринкових сегментах, визначається організаційна і виробнича структура, формується фінансовий план інноваційного проекту, включаючи стратегію фінансування та пропозиції по інвестиціях, описуються перспективи подальшого зростання підприємства.

Таблиця 1

Етапи розробки бізнес-плану інноваційного проекту

Етапи	Зміст роботи, що виконується
Перший	Вибір продукції (послуги), що буде запропоновано на ринку
Другий	Дослідження зовнішнього середовища (ринку) майбутнього бізнесу
Третій	Обґрунтування і вибір місця розміщення майбутнього бізнесу
Четвертий	Прогнозування обсягів і доходів від продажу продукції (надання послуг)
П'ятий	Визначення виробничих параметрів майбутнього бізнесу
Шостий	Розробка цінової і торгівельної політики, вибір способів реклами і просування товарів до споживачів
Сьомий	Обґрунтування вибору форми організації бізнесу, керівників персоналу, оргструктури, системи оплати праці
Восьмий	Опис потенційно можливих ризиків бізнесу, пошук способів їх мінімізації
Дев'ятий	Оцінка очікуваного прибутку та збитків, аналіз стану готівки, розробка балансової відомості
Десятий	Формулювання висновків (резюме), що відображають основні положення бізнесу

Слід відзначити, що жорстко регламентованої форми та структури бізнес-плану не існує. Разом із тим, як правило, у ньому передбачаються розділи, в яких розкривається концепція і мета бізнесу, характеризується специфіка інноваційного продукту підприємства та задоволення ним потреб ринку; оцінюється ємність ринку та встановлюється стратегія поведінки підприємства в обраних ринкових сегментах, визначається організаційна і виробнича структура, формується фінансовий план інноваційного проекту, включаючи стратегію



фінансування та пропозиції по інвестиціях, описуються перспективи подальшого зростання підприємства.

Оскільки середовище бізнесу та ділове планування у країнах із розвиненою ринковою економікою формувалося з певними особливостями, на сьогодні ця обставина обумовила певні відмінності методичних підходів до розробки бізнес-планів у США, Великобританії, Німеччині, Франції, Азіатських країнах.

Економічна та соціальна ситуація, у якій знаходяться вітчизняні підприємства, часто не дозволяє їм здійснювати пряме використання зарубіжних методичних розробок при розробці бізнес-планів. З іншого боку, досить високий методичний рівень техніко-економічного планування та техніко-економічного обґрунтування інноваційних рішень, що традиційно склався на підприємствах в умовах централізованої планової економіки, дозволяє без особливих зусиль для інноваційних менеджерів діючих підприємств освоїти таку форму плану. Складнішим процесом набуття досвіду із бізнес-планування, як і з інших видів економічної роботи, виявився для перших приватних підприємців перехідного періоду.

Більш складним методичним інструментом управління інноваціями є інноваційний проєкт – комплексне поняття, яке може розглядатися як комплект проєктних документів, процес здійснення інновацій, або форма цільового управління інноваційною діяльністю [1].

Управління проєктами стало визнаною у всіх промислово розвинутих і нових індустріальних країнах методологією інноваційної діяльності. У вітчизняній практиці ця концепція знайшла своє відображення у застосуванні програмно-цільових програм.

Інноваційний проєкт повинен показати образ нової системи, представити усі необхідні зміни на підприємстві та шляхи їх реалізації. Таким чином, це неперервний управлінський процес створення, освоєння, виробництва та споживання інновацій, який включає в себе:

- формулювання та конкретизацію окремої задачі підприємства, яку необхідно вирішити з допомогою інновацій, визначення кінцевих цілей та результатів проєкту;
- вибір способу ефективної реалізації цілей інноваційного проєкту;
- визначення та збалансованість джерел матеріальних, трудових та фінансових ресурсів;
- планування стадій інноваційного проєкту;
- уточнення задач дослідницькими та аналітичними методами;
- розрахунки ефективності та ризику проєкту;
- управління здійсненням стадій інноваційного проєкту.

Як об'єкт управління, інноваційний проєкт на підприємстві можна вважати управлінською задачею економічно обґрунтованого відбору, планування та здійснення інновацій для досягнення сформульованих цілей підприємства.

Ефективність інноваційного проєкту на всіх стадіях реалізації визначається обґрунтованістю системи роздільних економічних показників. Обґрунтованість бізнес-плану щодо прибутковості і вкладених інвестицій в інноваційну діяльність робить його привабливим для всіх учасників проєкту.

Показниками ефективності інноваційного проєкту є:

- ефективність вкладених інвестицій (термін окупності, індекс прибутковості, норма рентабельності, чистий дисконтовий доход);
- ефективність виробничої діяльності (рентабельність активів, рентабельність власного капіталу, рентабельність інвестицій, рентабельність інвестованого капіталу рентабельність продаж, коефіцієнт оборотності капіталу) [2].

Серед показників ефективності виробничої діяльності в перехідній економіці важливе значення має фінансова стійкість підприємства при реалізації інноваційних проєктів [1].

Низька платоспроможність підприємств і висока невизначеність макроекономічної ситуації в сучасних турбулентних умовах посилює не тільки ризик інноваційної діяльності, але й ускладнює, а інколи робить неможливим передбачити процес реалізації бізнес-планів інноваційних проєктів навіть у короткостроковому періоді. Значна частина обґрунтованих бізнес-планів не була реалізована через воєнні дії та припинення виробничої діяльності підприємств, але обов'язково буде реалізовано після нашої перемоги.

## Посилання

1. Коломицева О. В. Проблемно-орієнтоване проєктне управління на продовольчих підприємствах // Вісник соціально-економічних досліджень. – 2013. – № 1 (48). – С. 103 – 107.

2. Польова Н. М., Шпильова В. О. Формування механізму управління діяльністю машинобудівних підприємств // Актуальні проблеми економіки. – 2009. – № 4 (94). – С. 130 – 134.

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕСЕНДЖЕРІВ В УПРАВЛІННІ ІГРОВИМИ СПІЛЬНОТАМИ

*Андрій Владиславович Левенець*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3392-6960>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Юлія Михайлівна Стасюк*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-8658>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Комунікація є важливим процесом в управлінні будь якою організацією. В сучасному світі важко уявити комунікацію без застосування різноманітних месенджерів – додатків, що дозволяють обмінюватися повідомленнями в режимі реального часу через мережу Інтернет. Привернення уваги та переконання споживачів тісно пов'язані із теоріями комунікації, медіа, психологічними основами сприйняття, опрацювання й запам'ятовування інформації [5].

■ Viber ■ Fb Messenger ■ Telegram ■ WhatsApp

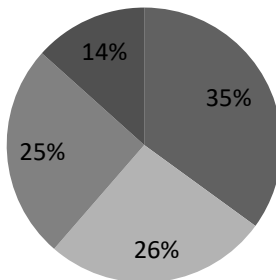


Рисунок 1 – Поширення месенджерів в Україні  
Джерело: сформовано авторами за [4]

Згідно з дослідженнями Hootsuite і We are social, у 2020 році аудиторія месенджерів перевищила 4 мільярди осіб. Тільки у WhatsApp щомісячна аудиторія складала 1,6 млрд людей ("Digitalin 2020", 2020). В Україні, за даними Kantar CMeter, месенджер Viber у січні 2021 року посів третє місце в рейтингу мобільних застосунків серед усіх мобільних пристроїв Android користувачів віком 16-55 років,

Telegram і Facebook Messenger – восьме і дев'яте відповідно ("Рейтинг мобільних додатків", 2021) [4]. Поширення месенджерів відбувається в усіх сферах соціального життя, в тому числі і в середовищі геймерів, що використовують ці застосунки для комунікації всередині ігрових кланів (ігровий клан або спільнота – об'єднання гравців в он-лайн іграх). А ігрові спільноти мають багато спільного з іншими формами організації, тому їх дослідження дозволяє зробити висновки щодо організацій в цілому.

## **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Ця робота має на меті дослідити особливості застосування месенджерів в управлінні на прикладі ігрових кланів, враховуючи популярність цього засобу комунікації. Основними задачами дослідження є такі:

- Дослідити причини популярності месенджерів в ігрових кланах.
- Дослідити можливості месенджера Discord.
- Порівняти переваги та недоліки популярних месенджерів та визначити найбільш зручний для управління кланами.

## **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

В цьому дослідженні використані такі матеріали як наукові статті, а саме: статті про управління з використанням месенджерів [5, 4, 1], менеджмент [3, 2, 6, 10], гейміфікацію [9], цифровізацію [8] та ігрові клани [7]; а також статистичні данні та власні спостереження. В цій роботі використовуються як емпіричні методи дослідження (спостереження за ігровою спільнотою «OrgCoop») так і теоретичні (аналіз поведінки гравців, порівняння месенджерів, узагальнення тощо)

## **РЕЗУЛЬТАТИ**

В ігрових кланах застосування месенджерів є популярним з кількох причин. По-перше, інформація в чатах гри швидко оновлюється, що не дає змоги зберегти важливі повідомлення. По-друге, месенджери надають можливість чітко окреслити коло осіб, що матимуть доступ до інформації, що важливо, враховуючи постійну конкуренцію між кланами.

Важливою відмінністю ігрових кланів від інших організацій є анонімність учасників, що впливає на їх поведінку. Гравці стають більш впевнені у собі спілкуючись в месенджерах, порівняно з реальним життям. З іншого боку вони можуть відчувати певну безкарність

та поводитись агресивно.

Підводним каменем месенджер-чатів є те, що представник конкурентного клану може вступити до іншого клану з несправжнього акаунту та отримати доступ до важливої інформації. Наприклад, до такої як план розвитку ігрової спільноти, способи заробітку у грі тощо. І обов'язками адміністратора є якраз видалення тих хто залишає клан або поводить ся некоректно, а також додавання нових учасників до чатів, створення чат-ботів тощо.

Чат-боти, в свою чергу, є зручним інструментом інтеграції нових учасників в ігрову спільноту. Вони можуть відповідати на питання про клан, надавати основну інформацію. Тому гравці швидше адаптуються в ігровій спільноті, використовуючи месенджери. І, оскільки існування іграх кланів, як і будь яких інших добровільних об'єднань, ґрунтується на регулярному проведенні нових заходів та постійному залученні нових учасників, чат-боти є дуже зручним інструментом управління спільнотою [2].

Як стверджує в особистій розмові очільник ігрової спільноти «OrgCoop» Ростислав Купрій (ігровий псевдонім – RostMaps), для гри в Minecraft найзручнішим месенджером є Discord тому що:

- Є можливість створювати корисних ботів. Наприклад бота, що відповідає на питання, бота що вмикає музику та фільми в голосовому чаті, бота що видає ранги та багато інших.

- Зручна структура серверів. Можна створити канали на різні теми, розподіляти канали на групи. Наприклад, канал для просто спілкування, канал для обговорення розвитку ігрового клану, канал для новин з гри тощо. В кожному чаті можна створити додаткове розгалуження (гілку). Ця гілка може бути доступною як для обмеженого кола осіб, так і для всіх учасників. І це корисно при створенні рівнів управління.

- Наявні ролі. Вони надають доступ до визначеної кількості каналів та гілок і дозволяють розподілити учасників за доступом до інформації.

- В рамках серверу гравці можуть змінити собі нікнейм і фото, при цьому зміни поширюються в рамках серверу та не змінюють профіль гравця. На інших серверах відобразатимуться ті данні, що зазначені в профілі.

- Голосові чати. В Discord наявні голосові чати – аудіоконференції, зручні тим, що учасники можуть долучатися в будь який момент.

Отже, месенджери допомагають у виконанні таких функцій управління як організація, планування та контроль. Далі наведено порівняння популярних месенджерів за їх можливостями.

Таблиця 1 – Порівняння Discord з іншими месенджерами. Створена авторами на основі [5, 7, 1]

Discord	Telegram	FB Messenger	WhatsApp	Viber
<b>Можливість створення ботів</b>				
Є можливість створювати різноманітних ботів, що здатні надавати основну інформацію, роздавати рани, вмикати музику та фільми в голосових чатах та багато іншого	Наявні боти, що спрощують спілкування та Telegram боти також дозволяють легко виставляти рахунки та здійснювати платежі	Є можливість створити бота, що може відповідати на питання	Є можливість створити бота, що може відповідати на питання та збирати статистичні данні	Наявні боти, що спрощують спілкування та Viber боти також дозволяють легко виставляти рахунки та здійснювати платежі
<b>Можливість створення каналів та гілок</b>				
Є можливість розподіляти учасників за доступом до інформації, розподіляти канали за темами обговорення	Є можливість створювати канали але немає такого розгалуження як в Discord	Є можливість створювати канали але немає такого розгалуження як в Discord	Є можливість створювати канали але немає такого розгалуження як в Discord	Є можливість створювати канали але немає такого розгалуження як в Discord
<b>Можливість надавати ролі</b>				
Є можливість надавати ролі, що дозволяє надавати учасникам різні можливості	Є можливість створювати ролі але це не дає змоги контролювати доступ до інформації	Ролі стандартні. Немає можливості створювати персоналізовані ролі	Ролі стандартні. Немає можливості створювати персоналізовані ролі	Ролі стандартні. Немає можливості створювати персоналізовані ролі
<b>Зміна нікнейму для конкретних серверів</b>				
Наявна така можливість, також можна змінити фото для конкретних серверів	Немає такої можливості	Немає такої можливості	Немає такої можливості	Наявна така можливість, також можна змінити фото для конкретних серверів
<b>Наявність голосових чатів</b>				
Наявні голосові чати, з можливістю підключення в будь який момент	Наявні голосові чати, але мають суттєві обмеження	Наявні голосові чати, але мають суттєві обмеження	Відсутні, є тільки запис голосових повідомлень та груповий дзвінок	Відсутні, є тільки запис голосових повідомлень та груповий дзвінок

Як бачимо з таблиці, основні можливості популярних месенджерів дуже схожі але для управління ігровими спільнотами більш зручним є Discord за рахунок можливості створювати складні структури чатів з різним доступом до інформації та рівнями управління. На вибір месенджера впливають також такі характеристики як дизайн та якість зв'язку. На другому місці після Discord за зручністю для управління є Telegram, що має схожий функціонал [1]. Загалом виробники комунікаційних застосунків постійно конкурують між собою, додаючи месенджерам все більше функцій, тому обрання кращого залежить від актуальності порівняння також.

Якщо ж говорити про управління загалом, то месенджери корисні в контексті гейміфікації управління, тобто моделювання управління взаємовідносин з клієнтами, вдосконалення паблік рилейшнз, реклами, маркетингу в соціальних мережах для HR-мотивації та підвищення залученості персоналу, процесів його навчання та ін. [9]. Такий підхід має стимулювати роботу працівників та сприяти процесу їх інтеграції в організацію, оскільки геймери беруть участь у різних соціальних обмінах і завойовують центральні позиції всередині мережі в обмін на вкладений ними час, гроші та спілкування [7, 10].

## ВИСНОВКИ

Отже, в ігрових кланах застосування месенджерів є популярним за рахунок можливості зберігати повідомлення та можливості чітко окреслити коло осіб, що матимуть доступ до інформації. Найбільш зручним для управління ігровими кланами є Discord, бо в ньому можна створити складну структуру чатів з ролями, яка відображатиме структуру клану. В інших застосунках така функція відсутня.

Загалом, месенджери є зручним інструментом управління, що дозволяє, як бачимо на прикладі ігрових кланів, організувати ефективну комунікацію, створювати рівні управління в чатах, інтегрувати нових учасників за допомогою чат-ботів та розподіляти учасників за доступом до інформації. Такі застосунки допомагають управлінцю розуміти своїх підлеглих. А чим краще менеджер-керівник розуміє, що таке група та чинники її ефективності, добре володіє мистецтвом ефективного управління групою, тим більше вірогідності, що він зможе підвищити продуктивність праці окремого підрозділу і організації в цілому [3]. Сучасним компаніям варто звернути увагу на можливості месенджерів та аналізувати актуальні переваги кожного, оскільки новим у стратегії цифрового лідерства є відмова від процесу пошуку одного оптимального рішення та перехід до широкого моделювання ринкової поведінки за допомогою цифрових технологій. Найбільшу перевагу отримують ті компанії, які можуть поєднати цифрову співпрацю в екосистемах із щирістю своїх намірів [8].

## ПОСИЛАННЯ

1. Констанчук В., Єфремов М. Що Таке Telegram-бот. *Житомирський державний технологічний університет*. 2018.  
URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/02/68-1.pdf> (дата звернення: 22.05.2023).
2. Крупський О. П., Левенець А. В. Особливості прийняття

управлінських рішень в неприбуткових громадських організаціях на прикладі ГО «Дуїт». *Економіка і менеджмент 2023 :перспективи інтеграції та інноваційного розвитку* Дніпро, 2023. С. 102–104. URL: [https://www.confcontact.com/2023-ekonomika-i-menedzhment/10\\_Krupsky-Levenets.pdf](https://www.confcontact.com/2023-ekonomika-i-menedzhment/10_Krupsky-Levenets.pdf) (дата звернення: 21.05.2023).

3. Крупський О. П., Намлієв Є. В. Професійна культура майбутнього менеджера: психолого-педагогічні аспекти й чинники формування. *Теорія і практика професійного становлення особистості в соціокультурному просторі: монографія*. Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2014. С. 257–281. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/50419> (дата звернення: 21.05.2023).

4. Маранчак М. Месенджер-маркетинг як напрям управління онлайн-репутацією (ORM) компанії. *Український журнал з бібліотекознавства та інформаційних наук*. 2021. №. 7. С. 115-126. URL: <http://librinfosciences.knukim.edu.ua/article/view/233318> (дата звернення: 21.05.2023).

5. Сохацька О. М., Легкий О. А. Ефективність цифрових маркетингових комунікацій: від постановки мети до оцінювання результату. *Маркетинг і цифрові технології*. 2017. Т. 1. №. 2. С. 4-31. URL: <https://www.mdt-opu.com.ua/index.php/mdt/article/view/13> (дата звернення: 22.05.2023)

6. Aldjic K., Farrell W. Work and Espoused National Cultural Values of Generation Z in Austria. *European Journal of Management Issues*. 2022. Vol. 30. №. 2. P. 100-115. <https://doi.org/10.15421/192210>

7. Howe W. T., Lee S. K. Social exchange is in the game: Communication and resource flow in a Xbox gaming clan. *First Monday*. 2018. URL: <https://doi.org/10.5210/fm.v23i8.8316>

8. Makedon, V., Krasnikova, N., Krupskyi, A., Stasiuk, Y. Arrangement of digital leadership strategy by corporate structures: a review. *Economic Studies*. 2022. Vol.31. №8. P. 19-40. URL: [https://www.iki.bas.bg/Journals/EconomicStudies/2022/2022-8/02\\_Nataliya-Krasnikova.pdf](https://www.iki.bas.bg/Journals/EconomicStudies/2022/2022-8/02_Nataliya-Krasnikova.pdf) (access date: 05/21/2023).

9. Romat Y., Biliavska Y. Gamification and its perception by generation «Z». *Scientific Notes of Ostroh Academy National University, "Economics" Series*. 2020. Vol. 1. P. 23–28. URL: [https://doi.org/10.25264/2311-5149-2020-17\(45\)-23-28](https://doi.org/10.25264/2311-5149-2020-17(45)-23-28) (date of access: 21.05.2023).

10. Zayed N. M. et al. The Power of Compensation System (CS) on Employee Satisfaction (ES): The Mediating Role of Employee Motivation (EM). *Economies*. 2022. Vol. 10. №. 11. P. 290. <https://doi.org/10.3390/economies10110290>.



## МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ІМПОРТНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВ

*Вікторія Віталіївна Патлаха*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0166-6190>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Olga Benenson (Ольга Олексіївна Бененсон)*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6903-6541>

Open Text Software GmbH, Munich, Germany

Сукупність управлінських практик, що сприяють досягненню високих результатів діяльності підприємства, є методами управління. Належна організація процесу управління загалом і зовнішньоекономічною діяльністю зокрема залежить від правильно обраного методу управління, спрямованого на досягнення мети підприємства в найкоротші терміни за умови раціонального використання всіх видів ресурсів [4]. Але останнім часом методи управління діяльністю підприємств необхідно вибирати з урахуванням корпоративної соціальної відповідальності та кризових явищ [5].

Ефективність діяльності підприємства підвищується завдяки відповідним методам управління, які визначаються на основі стратегії та керуються такими ключовими принципами

- зусилля, спрямовані на підвищення прибутковості;
- вдосконалення та модернізація продуктивних сил;
- подолання дефіциту виробничих ресурсів;
- подовження життєвого циклу продукту;
- розподіл ризиків і витрат у діяльності з партнером [1, 3].

За змістом методи управління ефективністю імпорту ототожнюються з основними функціями управління: плануванням, мотивацією, контролем, організацією та регулюванням. Відповідно, вони поділяються на економічні, адміністративні, соціальні, психологічні, технологічні та правові. Адміністративні та економічні методи управління імпортом є основними. Вони діють узгоджено з використанням певних інструментів, які схематично зображені на рис. 1.

В управлінні імпортною діяльністю загальні та спеціалізовані функції управління згруповані у два кластери:

1. Функції із виробництва даних:

- облік - фіксує стан об'єкта управління;
- контроль сприяє виявленню та відбору даних, що містять інформацію про відхилення об'єкта управління від заданого режиму функціонування;
- аналіз даних необхідний для встановлення взаємозв'язку між

зовнішнім середовищем і параметрами об'єкта управління;

– стандартизація – визначає допустимі значення параметрів об'єкта управління, при яких він функціонує в заданому режимі;

– прогнозування – передбачає обробку даних для визначення різних варіантів поведінки об'єкта управління та зовнішнього середовища.



Рисунок 1 – Методи управління імпортною діяльністю підприємства. Джерело: складено автором

## 2. Функції із прийняття рішень:

– організація – передбачає прийняття рішень про те, як структурувати або змінити структуру об'єктів чи процесів;

– планування – передбачає розробку моделі майбутнього стану об'єкта;

– програмування – процес складання програми, що дозволяє встановити взаємозалежність і послідовність дій для реалізації плану;

– регулювання – розробка рішень щодо подолання відхилень від встановленого режиму функціонування об'єкта управління.

Функції управління вищезазначеними видами імпоротної діяльності виконуються в будь-якій організації управління і в певній послідовності.

Загалом, зовнішньоекономічна діяльність в умовах динамічного нестабільного зовнішнього середовища завжди пов'язана з низкою ризиків. Всі ризики виникають в результаті дії різних факторів. Джерела ризиків можна розділити на дві групи: зовнішні та внутрішні. Зовнішні джерела ризику генеруються у зовнішньому середовищі системи і їх неможливо повністю уникнути (природні, політичні, соціальні, макроекономічні фактори). Внутрішні джерела ризику (персонал, обладнання, технології) генеруються всередині системи і їх наявність та функціонування значною мірою залежать від дій суб'єкта ризику [2].

Для ефективного функціонування імпортової діяльності підприємства, як правило, краще використовувати методи попередження та зниження ризиків.

У сфері зовнішньоекономічної діяльності, приймаючи обґрунтовані стратегічні рішення, враховуючи їх потенційні фактори впливу на міжнародні торговельні відносини, керівництво підприємства значно знизить ризики непередбачуваних втрат. Таким чином, діяльність є ефективною, якщо менеджмент є гнучким і швидко адаптується до змін у міжнародній торгівлі.

## Посилання

1. Бабій І. В. Стратегічні моделі та методи управління зовнішньоекономічної діяльності підприємств за умов СОТ. *Інтелект XXI*. 2017. № 5. С. 39-42.

2. Дзуліт З. П., Передало Х. С., Моторнюк У. І., Наумчук С. І. Ризики зовнішньоекономічної діяльності: особливості та методи управління ними. *Management and entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and problems of development*. 2019. Vol. 1, numb. 2. С. 1-9.

3. Кондратенко Н. О., Тернова І. А., Колесник Т. М. Теоретико-методичні аспекти управління зовнішньоекономічною діяльністю господарюючих суб'єктів України. *Бізнес Інформ*. 2021. № 2. С. 21-26.

4. Ніценко В. С., Остапенко Р. М., Ганжуренко І. В. Аграрні підприємства: стратегічне управління їх розвитком. 2019. С. 14-16. URL: [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/21089/1/Upravlinnia%20rozvytkom%20sotsialno-ekonomichnykh%20system\\_2019\\_6.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/21089/1/Upravlinnia%20rozvytkom%20sotsialno-ekonomichnykh%20system_2019_6.pdf) (дата звернення: 21.05.2023).

5. Sekkiou A., Azouaou L. Corporate Social Responsibility Practices during COVID-19 Crisis: a Critical Review. *European Journal of Management Issues*. 2023. Vol. 31. №. 1. P. 14-26. <https://doi.org/10.15421/192302>.

## ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ

*Олег Олександрович Жульковський*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0910-1150>

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

*Інна Іванівна Жульковська*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6462-4299>

Університет митної справи та фінансів, Дніпро

*Ростислав Олександрович Шаховий*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8598-395X>

Університет митної справи та фінансів, Дніпро

Трудомісткість, та матеріаломісткість натурних експериментів, їх обмеженість, багатомірність та нелінійність досліджуваних процесів та явищ, а також стрімкий розвиток обчислювальної техніки та програмного забезпечення значно актуалізував теоретичні дослідження (математичне моделювання). Особлива роль у розробці та дослідженні технологічних систем, що характеризуються високотемпературними умовами протікання процесів (у металургії, енергетиці, машинобудуванні тощо), відводиться створенню раціональних математичних моделей процесів теплообміну.

Сучасні багатоядерні системи є доволі ефективними при використанні у серверних центрах та при хмарних обчисленнях. Проте, не зважаючи на значну математичну та обчислювальну складність використовуваних алгоритмів, паралельні обчислення на мультипроцесорах набувають все більшого застосування при комп'ютерному моделюванні. Аналітичний огляд сучасного стану проблеми показав недостатній розвиток систем SCADA- і MES-рівнів, здатних прогнозувати стійкість технологічного обладнання сучасних АСУ підприємств на основі моделювання його теплових режимів. У зв'язку з цим перед роботою ставляться наступні завдання:

- розробити методику математичного моделювання процесів комбінованого теплообміну в технологічних системах;
- розробити алгоритм комп'ютерної реалізації математичної моделі теплового режиму технологічного обладнання, в тому числі із застосуванням методів паралельних обчислень;
- виконати порівняльні чисельні дослідження застосування паралельних технологій програмування при розробці й реалізації на сучасній мультипроцесорній архітектурі комп'ютерної моделі

теплого режиму технологічного обладнання.

Як відомо, основою математичних моделей зазначених процесів є диференціальне рівняння теплопровідності, що зв'язує тимчасове та просторове зміни температури проєктованого чи досліджуваного процесу, агрегату, конструкції тощо.

При вирішенні багатовимірних задач комбінованого теплообміну здійснюється послідовне рішення подібних одномірних задач з урахуванням числа розщеплень процесу теплообміну за напрямками поширення теплового потоку, тобто прийнятої системи координат.

Консервативну різницеву схему рівняння теплопровідності зручно отримувати інтегро-інтерполяційним методом, тобто із безпосередньої апроксимації відносин теплового балансу, записаних для елементарних об'ємів. При цьому для теплових потоків на границях розрахункової області використовуються вирази, що забезпечують виконання умов узгодження.

Для розв'язання задачі рекомендується використання неявної різницевої схеми, що гарантує абсолютну стійкість розрахунку при будь-яких значеннях часового кроку, значення якого вибираються виключно з міркувань забезпечення необхідної похибки обчислень.

Отже систему рівнянь теплового балансу для будь-якого з напрямів розщеплення по просторовим змінним можна записати в наступному канонічному вигляді:

$$a_i x_{i-1} - c_i x_i + b_i x_{i+1} = -f_i, \quad a_i \neq 0, \quad b_i \neq 0, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (1)$$

де  $a_1 = b_n = 0$ , крайова задача (1) представляє собою систему з  $n$  лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) із тридіагональною матрицею.

Тридіагональний вид матриці дозволяє організувати обчислення за модифікованим методом Гауса (методом прогонки) таким чином, аби не проводити операції з нульовими елементами і так значно зменшити обсяг обчислень.

Комбінацією лівої і правої прогонки отримуємо метод зустрічної прогонки, що допускає розпаралелювання на два обчислювальні потоки для подальшої реалізації на комп'ютерах із сучасною мультипроцесорною архітектурою.

Для цього розділяють систему між двома потоками, кожен з яких оперуватиме лише своєю половиною рівнянь системи з номерами  $i = 1, p$  і  $i = p, n$  відповідно, де  $p = n/2$ .

Паралельне обчислення передбачає:

– знаходження у першому потоці коефіцієнтів для  $i = \overline{1, p}$ :

$$\alpha_2 = \frac{b_1}{c_1}, \alpha_{i+1} = \frac{b_i}{c_i - a_i \alpha_i}, i = \overline{2, n-1},$$
$$\beta_2 = \frac{f_1}{c_1}, \beta_{i+1} = \frac{a_i \beta_i + f_i}{c_i - a_i \alpha_i}, i = \overline{2, n-1};$$

– знаходження у другому потоці коефіцієнтів для  $i = \overline{p, n}$  :

$$\xi_n = \frac{a_n}{c_n}, \xi_i = \frac{a_i}{c_i - b_i \xi_{i+1}}, i = \overline{n-1, 2},$$
$$\eta_n = \frac{f_n}{c_n}, \eta_i = \frac{b_i \eta_i + f_i}{c_i - b_i \xi_{i+1}}, i = \overline{n-1, 2};$$

– поєднання рішень у формі

$$x_n = \frac{a_n \beta_n + f_n}{c_n - a_n \alpha_n}, x_i = \alpha_{i+1} x_{i+1} + \beta_{i+1}, i = \overline{n-1, 1}, \quad (2)$$

$$x_1 = \frac{b_1 \eta_2 + f_1}{c_1 - b_1 \xi_2}, x_{i+1} = \xi_{i+1} x_i + \eta_{i+1}, i = \overline{1, n-1} \quad (3)$$

для  $i = p$  із знаходженням  $x_p$  із системи

$$\begin{cases} x_p = \alpha_{p+1} x_{p+1} + \beta_{p+1} \\ x_{p+1} = \xi_{p+1} x_p + \eta_{p+1} \end{cases};$$

– знаходження по (2) усіх  $x_i$  для  $i = \overline{1, p-1}$  та по (3) усіх  $x_i$  для  $i = \overline{p+1, n}$ .

У ході дослідження доведено доцільність застосування прогресивних апаратно-програмних засобів на базі сучасних багатоядерних комп'ютерних архітектур для підвищення ефективності обчислювального експерименту. Використання застосованих технологій програмування для реалізації паралельних методів розв'язання СЛАР забезпечило збільшення швидкості обчислень у 2–3 рази.

Розглянуті підходи до математичного моделювання процесів комбінованого теплообміну [1] можуть бути використані для дослідження теплових режимів технологічного обладнання в металургії, енергетиці, машинобудуванні та інших галузях.

## ПОСИЛАННЯ

1. Features of Mathematical Simulation of the Processes of Combined Heat Transfer in Waveguides / O. Zhulkovskiy et al. 2022 *IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005676> (date of access: 26.05.2023).

## СВІТОВІ ТRENДИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ ЗЕЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

*Наталія Олександрівна Краснікова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6484-2050>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Olha Pyroh (Ольга Володимирівна Пирог)*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6714-3079>

Sherbrooke University, Québec, Canada

*Павло Дмитрович Красніков*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-9835>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Кліматична криза в світі продовжує розвиватись. Шотландська кліматична угода прийшла на зміну Паризької і світ продовжує рухатись до нової угоди 2026 року [1, 2]. Практично всі країни світу запланували знизити викиди за моделлю кліматичної нейтральності «Net Zero» до 2050 року. Статистика доводить, що розвиток світової генерації сонячної та вітрової енергетики вийшов на певне плато, а газові проблеми в Європі ще більше актуалізували проблеми автономності та енергобезпечності країн [3]. Наразі формується новий тренд локалізації зеленої генерації. Все що стосується технологій зберігання, транспортування та балансування зеленої електроенергії виходить на перший план у розвитку енергетики [4, 5].

У нашому дослідженні ми розглянули вплив загальносвітових трендів у зеленій енергетиці на її розвиток в Україні.

Україна дуже потужно та стрімко розвивала відновлювальну енергетику до війни [6, 7]. Генерація в Україні електроенергії складала приблизно 160 ТВт. Основна частина встановлених потужностей на 2022р. (до війни) в електроенергетиці – теплові станції – 24 000 MW, атомні електростанції – 13 000 MW, ВДЕ – 8100 MW (13-14% від встановленої потужності). Темпи зростання сонячних потужностей в Україні біли вищими за світові, а обсяги потужностей, більшими за сусідні країни ЄС, наприклад, Польщі. Крайшим роком стосовно введення нових потужностей став 2019 рік, коли потужності у сонячній генерації зросли майже на 4000 MW (рисунок 1). Відбувалось це на тлі запровадження «зеленого» тарифу, який почав діяти з 2009 року в якості державної підтримки розвитку відновлювальної енергетики.

З початку війни споживання скоротилось приблизно на 30% з тенденцією переорієнтації споживання в бік Заходу України. Під час

війни на територіях непідконтрольних Україні залишилось близько 80% вітроенергетичних та 20% сонячноенергетичних потужностей, близько 3700 MW загалом. 5 % від цієї потужності вже вважають втраченими незворотно. У військовий час у нові потужності зеленої енергетики інвестування не відбувається. Разом із тим, значні кошти витрачаються на постійне оновлення традиційних енергетичних потужностей, які зазнають руйнування в процесі обстрілів з боку агресора. Україна, що експортувала електроенергію до війни, вимушена була її частково ввозити. Країни, що споживали українську електроенергію активізували створення власних енергетичних потужностей з відновлювальної енергії, що з часом може привести до задоволення власних потреб самотужки і позбавити Україну експортних ринків електроенергії.

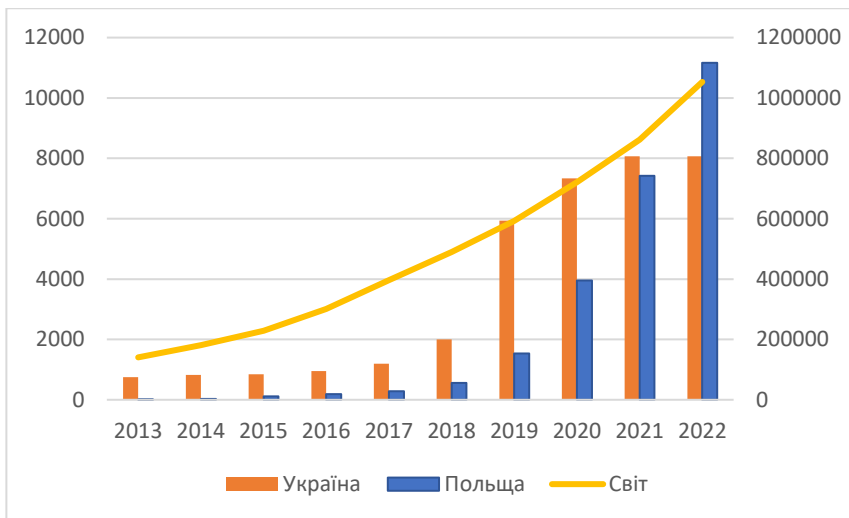


Рисунок 1 – Динаміка розвитку потужностей у сонячній енергетиці в Україні (ліва вісь), Польщі (ліва вісь) та світі (права вісь), MW, складено авторами на основі [8]

Війна та криза з виплатами по зеленому тарифу призвели до зміни філософії в електроенергетиці України [9]. До розвитку відновлювальної енергетики енергетика базувалась на дуже масштабній генерації електроенергії, яка передавалась по магістральним мережам. Поява зеленої енергетики дозволили наближувати генерацію безпосередньо до споживача. Тобто підприємства та домогосподарства можуть генерувати електроенергію для себе, заміщуючи споживання із



загальної мережі. Це приводить до розбалансування старої моделі і появи «Каліфорнійської утки»: тобто значне споживання електроенергії із мережі зранку, потім скорочення споживання вдень (особливо влітку, за рахунок власної сонячної генерації) і зростання споживання ввечері, коли сідає сонце. За умови формування ринкових цін на електроенергію, відбуватиметься значна диференціація цін, з падінням ціни вдень влітку за рахунок активної сонячної генерації. В Україні вже відчувається профіцит сонячної генерації, коли вимикають сонячні електростанції. Ці дисбаланси призводять до стимулювання розвитку ринку накопичування електроенергії з одного боку і не стимулюють подальше збільшення потужностей сонячної енергії.

Сонячна та вітрова електроенергія все сьогодні в Україні мають меншу собівартість нижче за теплову та ядерну. Крім того інвестиції в традиційну енергетику є дорогими і, з часом будуть ще дорожче.

У квітні 2023 р. була прийнята Енергетична стратегія України на період до 2050 р., в якій головний акцент розвитку електроенергетики зроблено на ядерну енергетику у вигляді малих модульних реакторів, що постачатимуться до України з США. Енергетичний сектор України має бути максимально наближений до кліматичної нейтральності.

Нами були виділені наступні напрямки розвитку зеленої енергетики України:

1. Підприємства зі значним споживанням енергії стануть споживачами електроенергії, згенерованої малими модульними атомними реакторами.

2. Підприємства активніше переходитимуть на систему власної генерації за рахунок зелених джерел енергії «Self consumption» і ставатимуть енергетичними островами.

3. Тарифи за передачу та розподіл електроенергії зростатимуть із розвитком власного споживання підприємств. Від цього тренду страждатимуть підприємства та великі міста, які не мають площі для встановлення власних потужностей зеленої електроенергії.

4. Розвиватиметься ринок систем накопичення енергії на основі технологій «energy storage», яка дозволить компенсувати перепади в генерації сонячної енергії.

Такі тренди призводитимуть к розвитку енергонезалежності окремих підприємств. Це стосуватиметься будівництва нових та відновлення зруйнованих, під час війни.

## Посилання

1. Briefing: The 2021 Glasgow Climate Pact: steps on the transition pathway towards a low carbon world [Electronic resource] / Robert Cohen

[et al.] // Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy. – 2022. – P. 1–6. – Mode of access: <https://doi.org/10.1680/jener.22.00011>

2. Hammond G. Glasgow climate pact: a step on the way towards a lower carbon dioxide world [Electronic resource] / Geoffrey Hammond, Marcus Newborough // Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering. – 2022. – Vol. 175, no. 1. – P. 8. – Mode of access: <https://doi.org/10.1680/jceien.2022.175.1.8>

3. Renewables 2022 Global Status Report [Electronic resource] // REN21. – Mode of access: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf)

4. Seasonal hydrogen storage for residential on- and off-grid solar photovoltaics prosumer applications: Revolutionary solution or niche market for the energy transition until 2050? [Electronic resource] / Dominik Keiner [et al.] // Applied Energy. – 2023. – Vol. 340. – P. 121009. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121009>

5. Optimal sizing of renewable energy storage: A techno-economic analysis of hydrogen, battery and hybrid systems considering degradation and seasonal storage [Electronic resource] / Tay Son Le [et al.] // Applied Energy. – 2023. – Vol. 336. – P. 120817. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120817>

6. Krasnikova N. Drivers of the forth energy transition in the context of solving global environmental problems [Electronic resource] / N. Krasnikova, P. Krasnikov // Efektivna ekonomika. – 2021. – No. 6. – Mode of access: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.6.82>

7. Stukalo N. et al. ” Green” economy: from global concept to reality of local development. 2018. URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>

8. Renewable capacity statistics 2023 [Electronic resource] // IRENA – International Renewable Energy Agency. – Mode of access: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>

9. Україна після «зеленого» тарифу Нові механізми розвитку відновлюваної енергетики // Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021  
Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/Energia-VDE-web.pdf>

## ВРАЗЛИВОСТІ SQL-INJECTION

*Світлана Володимирівна Клименко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-9993>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Ілля Юрійович Тремба*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0223-1176>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

SQL-injection (SQLi) це ін'єкційна атака, яка дозволяє втручатися в запити, які програма робить до своєї бази даних, і як зрозуміло з назви, запити відбуваються через стандартизовану мову запитів SQL. Часто це дозволяє зловмиснику переглядати дані, які вони зазвичай не можуть отримати такі як дані, що належать іншим користувачам, або будь-які інші дані, до яких має доступ сама програма. Незважаючи на те, що є інші типи ін'єкційних вразливостей (ін'єкція заголовка HTTP, ін'єкція коду, команди т. п.) SQLi є більш відомою та привабливою для використання зловмисниками при атаках на веб-додатки. Трохи нижче ми розглянемо статистику вразливостей та наслідки реалізації SQLi [1].

Уразливість SQLi може вплинути на будь-який веб-сайт або веб-програму, яка використовує базу даних SQL, таку як MySQL, Oracle, SQL Server або інші. SQL – це мова запитів, які керують даними, котрі зберігаються в реляційних базах даних, її можна використати для доступу, видалення або зміни даних. У деяких випадках можливо використати команди SQL для запуску команд операційної системи, а також враховуючи, що частина веб-сайтів та веб-додатків, які зберігають усі дані в базах даних SQL досить велика, то успішна атака SQLi може мати дуже серйозні наслідки.

Спектр використання ін'єкції досить широкий. Злочинці можуть використовувати цю уразливість для отримання несанкціонованого доступу до ваших конфіденційних даних: інформації про клієнтів, особистих даних, комерційної таємниці, інтелектуальної власності тощо. Отже, успішна реалізація SQLi може порушити конфіденційність (приватні дані користувачів або компанії), цілісність (внесення змін до системи або видалення інформації з неї), автентифікацію (можливе підключення до системи як інший користувач без попереднього знання паролю), авторизацію (зміна інформації про авторизацію, якщо вона зберігається в базі даних SQL).

## ТИПИ ВПРОВАДЖЕННЯ SQL-INJECTION

1. Найпоширеніший типом атаки є **Внутрішньо-смугове впровадження SQLi**: зловмисник використовує той самий канал зв'язку для атаки та збору результатів. Методи на основі внутрішньо-смугового впровадження:

– **SQLi на основі помилок**: зловмисник використовує команду SQL для отримання повідомлення про помилку з сервера бази даних, з цього повідомлення вилучається інформація про структуру баз даних

– **SQLi на основі оператора об'єднання (UNION BASED)**: є найпоширенішим типом SQL-ін'єкції. За цією методикою зловмисник використовує SQL оператор UNION для об'єднання операторів SELECT і повернути лише одну відповідь HTTP.

2. **Сліпа SQLi**: база-даних веб-сайту не передає дані зловмиснику, але він може дізнатися про структуру сервера, надсилаючи корисні дані та спостерігаючи за відповіддю. Із-за більш довгого часу реалізації є менш поширеними за внутрішньо-смугове впровадження SQLi. Методи на основі сліпої SQLi:

– **Ін'єкція на основі часу**: зловмисник надсилає SQL-запит до бази даних, змушуючи базу даних чекати певну кількість секунд перед тим як відповісти. Виходячи з кількості секунд, що минули до відповіді, визначається чи істинний результат. Наприклад, зловмисник використовує SQL-запит, який дає команду на затримку, якщо перша літера імені бази даних – С, якщо відповідь затримується – результат істинний.

– **Булева ін'єкція**: до бази даних надсилається SQL-запит, зловмисник вважає результат істинними, якщо було змінено інформацію у відповіді HTTP.

3. Найменш поширений типом атаки є **Позасмугове впровадження SQLi**: зловмисник використовує різні канали для збору результатів та для атаки. Цей метод використовують, якщо сервер нестабільний або надто повільний.

### ПРИКЛАД ПРОСТОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ – SQLi НА ОСНОВІ ПОМИЛОК

Маємо сайт на якому увімкнена функція відображення помилок бази даних на сайті. Спочатку потрібно визначити скільки стовпців повертається з вихідного запиту, для цього використовуємо запит (`' ORDER BY 1 --`), де 1 – індекс стовпця; далі збільшуємо вказаний індекс доки не станеться помилка типу: *The ORDER BY position number 4 is out of range of the number of items in the select list.*

З цього виходить, що кількість стовпців дорівнює трьом. Наступний крок буде визначення стовпців із корисним типом даних. Наприклад, визначаємо чи містить стовпець рядкові дані запитом SELECT 'o' (визначається чи міститься символ 'o' у стовпці)

```
' UNION SELECT 'o',NULL,NULL--  
' UNION SELECT NULL,'o',NULL--  
' UNION SELECT NULL,NULL,'o'—
```

Якщо тип даних у стовпці не сумісний із рядковими даними, то запит спричинить помилку типу: *Conversion failed when converting the varchar value 'o' to data type int.*

В іншому випадку, коли помилка не виникає, а відповідь містить деякий додатковий вміст (включаючи введене значення рядка), то цей стовпець підходить для отримання даних.

Далі, якщо ми визначили, який стовпець вразливий, наприклад другий, ми надсилаємо запит типу: ' UNION SELECT 1,database(),3 –

З якого можна отримати назву бази даних, наприклад 'authorization\_data'. Потім запитом ' UNION SELECT 1,table\_name,3 from INFORMATION\_SCHEMA.TABLES WHERE TABLE\_SCHEMA='authorization\_data' -- визначаємо назву таблиць. І так далі, використовуючи синтаксис SQL поступово визначаємо назви стовпців і виводимо запитом із них дані. Це найпростіший приклад реалізації SQLi.

## ІСТОРИЧНИЙ ТА ХРОНОЛОГІЧНИЙ ОГЛЯД

Вище розглянута загальна суть та типи SQLi, тепер роздивимось як вона розвивалась та наскільки актуальною є загроза зараз. Враховуючи те, що SQL розроблена на початку 70-х років, то вже в 90-х були відомі перші ін'єкції. Перший експлоїт SQLi був задокументований у 1998 році дослідником кібербезпеки та хакером Джеффом Форрісталом, він пояснив, що навіть хтось із базовими навичками кодування може підключити неавторизовані команди SQL до законних команд SQL і отримати конфіденційну інформацію з бази даних захищеного веб-сайту. Пізніше, він повідомив компанію Microsoft про те як ця уразливість вплинула на їх SQL Server, але їх реакція була досить безтурботна і вони не придали цьому великого значення [2].

У 2007 році сталося перша велика атака SQLi - російські хакери використали SQL-ін'єкції, щоб зламати веб-сайт 7-Eleven (найбільша мережа міні-маркетів у США), через цей злом вони дісталися до дебетових карток клієнтів, які зберігалися у базі даних, пізніше готівка була виведена ними до Росії. Втрати готівки – 2 мільйона доларів.

У 2008 році відбулася атака на MySpace за якої було викрадено електронні листи, імена та часткові паролі майже 360 мільйонів

облікових записів.

У 2017 році при атаці на Equifax були отримані надзвичайно особисту інформацію (імена, номери соціального страхування, дати народження та адреси) для 143 мільйонів споживачів. Перед тим, як відбулася атака, дослідницька фірма з кібербезпеки навіть попередила Equifax, що вони чутливі до атаки SQLi, але кредитне бюро не вжило жодних заходів, доки не стало надто пізно.

Відомі інші жертви злому з допомогою SQLi такі як: Epic Games, TalkTalk, LinkedIn, Target, Yahoo, Zappos і Sony Pictures.

## SQL-INJECTION ПОСЕРЕД ІНШИХ АТАК

Навіть незважаючи на це, все рівно SQLi не виглядає великою проблемою, бо й інші типи атак мають не менші наслідки та небезпеки, деякі навіть є більш небезпечними такі як DDoS, трояни тощо. Але SQLi потребують лише незначних технічних навичок, щоб досягти результатів, від пошуку вразливого сайту до виконання та безпечного вилучення файлів або даних.

Також, за даними сайту Malwarebytes Labs, SQLi посіла на третє місце в топ-5 найдурніших кіберзагроз, які все одно працюють посилаючись на той факт, що SQLi — це відома, передбачувана атака з простими контрзаходами. Атаки SQLi настільки прості, що фактично зловмисники можуть знайти вразливі веб-сайти за допомогою розширеного пошуку Google [3]. Одне дослідження Інституту Ponemon про загрозу впровадження SQL і недавні порушення роздрібною торгівлі показало, що 65% опитаних компаній були жертвами атак на основі SQLi (хоча дослідження 2014 року, дані все рівно вражають) [4].

За стандартним документом Top-10 OWASP, який представляє найбільш критичні ризики для безпеки веб-додатків за 2021 рік ін'єкції посідають третє місце (рис. 1), а в 2017 посідали перше місце так як і в 2013 році [2].

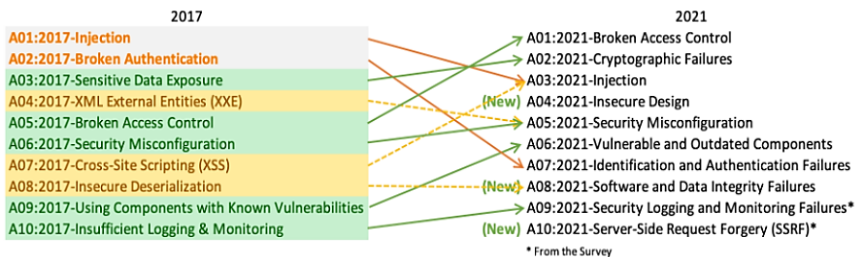


Рисунок 1- 10 найбільших ризиків для безпеки веб-додатків 2017 та 2021 років [1]

## ЯК ЗАПОБІГТИ SQL-INJECTION

Конкретні методи запобігання залежать від підтипу вразливості SQLi, механізму бази даних SQL і мови програмування, тому запобігти вразливості SQLi нелегко. Єдиний надійний спосіб запобігти атакам SQLi – це перевірка введених даних та параметризовані запити, включаючи підготовлені оператори. Код програми ніколи не повинен використовувати вхідні дані безпосередньо. Розробник повинен дезінфікувати всі введені дані, а не лише введені веб-форми, такі як форми входу. Потрібно видалити потенційно шкідливі елементи коду, такі як одинарні лапки. Також доцільно вимкнути видимість помилок бази даних на сайтах. Помилки бази даних можна використовувати за допомогою SQLi для отримання інформації про базу даних.

### ВИСНОВОК

Вразливість SQLi існує вже більше двадцяти років і судячи по всьому буде існувати і далі, вона є однією із пріоритетних загроз для веб-додатків, має пластичні методи та підходи до отримання даних з бази даних, при цьому є простою в реалізації. І враховуючи те, що від неї нелегко захиститися, SQLi однозначно це те на що треба звернути увагу при активному розвитку мережевих технологій.

### ПОСИЛАННЯ

1. OWASP Top Ten | OWASP Foundation. *OWASP Foundation, the Open Source Foundation for Application Security | OWASP Foundation.* URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten/> (дата звернення: 21.05.2023).
2. What is SQL Injection (SQLi) and How to Prevent Attacks. *Acunetix.* URL: <https://www.acunetix.com/websitesecurity/sql-injection/> (дата звернення: 21.05.2023).
3. The SQL Injection Threat & Recent Retail Breaches : Ponemon Institute. *Ponemon Institute.* URL: <https://www.ponemon.org/research/ponemon-library/security/the-sql-injection-threat-recent-retail-breaches.html> (дата звернення: 21.05.2023).
4. What is SQL injection - Examples & prevention | Malwarebytes. *Malwarebytes.* URL: <https://www.malwarebytes.com/sql-injection> (дата звернення: 21.05.2023).

## **ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ РОЗРОБКИ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

*Анастасія Сергіївна Давидова*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Василь Юхимович Шевцов*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3617-940X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Оксана Володимирівна Бовкунова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1946-4748>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Ефективність застосування об'єктів аерокосмічної техніки залежить від розвинутого і якісного технологічного середовища їх виробництва та експлуатації. Етапи розробки, виробництва і експлуатації нових літальних апаратів мають враховувати перспективи розвитку їх технологічного середовища. До такого середовища відносяться вчені-проектанти, конструктори і технологи відповідної освіти з елементами бачення і прогнозування розвитку даного напрямку техніки; наявність необхідної ресурсної бази для виготовлення спроектованого об'єкта; рівень і якість інформаційних технологій і науково-дослідних робіт; відповідність технологічного середовища для функціонування середовищу практичної експлуатації. Порушення чи відсутність хоча б одного з перерахованих компонентів, викликають значні проблеми в реалізації того чи іншого проекту. Аналіз усіх перерахованих компонентів на відповідність технологічного середовища в Україні сучасним вимогам демонструє, що їх рівень в кращому випадку залишився на рівні 90-х років 20-го сторіччя. Україна за відсутності акценту на розвиток і застосування техніки завтрашнього дня поступово втрачає роль одного із лідерів розвитку аерокосмічної техніки і шанси повернення до країн, що визначають технологічне середовище планетарного суспільства.

Для змін на краще необхідно, в першу чергу, кардинально змінити ставлення до формування освітніх процесів. Для отримання певних результатів необхідно створити умови для фахівців, які завдяки своєму інтелекту і набутому рівню сучасних знань, здатні продукувати чи створювати нові ідеї і новітні технології та втілювати їх у життя. А це можливо лише за умови відповідності освітнього процесу технологічному рівню завтрашнього дня, поєднанню теоретичних знань



з набуттям практичних навичок в їх повсякденній реалізації на практиці. Майбутній фахівець має оволодіти сучасними технічними та технологічними засобами і новітніми технологіями на рівні кваліфікації перспективного технологічного середовища розробки виробництва і експлуатації техніки майбутнього. Особливо гостро дане питання постає в умовах кардинальних видозмін навчального процесу в екстремальних умовах, на зразок планетарних пандемій, стихійних катаклізмів і затяжних військових конфліктів, що унеможливають застосування нинішніх, багато в чому застарілих, класичних форм освіти в режимі «офлайн». Більше того: як свідчать результати освітнього процесу, в умовах виключно режиму «онлайн», застосування класичних освітніх технологій вкрай неефективне через відсутність, в першу чергу, необхідного сучасного технологічного середовища та безпосереднього взаємного обміну інформацією між викладачем і студентом. Враховуючи ці фактори виникає необхідність шукати нові підходи до новітніх систем сучасної освіти.

З іншої сторони, необхідність рішення даної проблеми стимулює і пошук її ефективних рішень. Як свідчить практика реалізації перспективних освітніх технологій підготовки висококваліфікованих спеціалістів в середовищі розробки аерокосмічної техніки на сучасному етапі, на особливу увагу заслуговують наступні видозміни в навчальному процесі. З метою ліквідації розриву між теорією і практикою освітній процес на старших курсах повністю переноситься на робочі місця в підрозділи, що безпосередньо зайняті проектно-конструкторськими розробками новітньої техніки, її випробуванням і розробкою передових технологій виробництва та експлуатації. Паралельно з отриманням практичних навичок роботи по спеціальності, студенти засвоюють повний цикл теоретичної підготовки «онлайн», що дозволяє виконувати курсові та дипломні проекти, розрахункові та розрахунково-графічні роботи творчо-практичного характеру, отримуючи дві оцінки: від керівника підрозділу, де працює і стажується майбутній фахівець, і від викладача конкретного спецкурсу. Окрему увагу слід приділити увагу дуальній освіті, елементи якої зможуть сприяти якісній освіті. Саме така видозміна освітнього процесу, з його перенесенням в існуюче технологічне середовище з елементами перспективних рішень, дозволить суттєво покращити підготовку не лише в аерокосмічній галузі, а й в розвитку новітньої техніки в цілому.

Необхідно відзначити, що для подальшого розвитку дуальної освіти, її втілення у життя, необхідно формування відповідної законодавчої бази. Існуючи у теперішній час договори про дуальну освіту між провідними підприємствами аерокосмічної галузі України і вищими навчальними закладами далеко на повною мірою охоплюють

усі сторони навчального процесу. Це стосується питань оплати праці студентів, які приймають безпосередню участь у просі виробництва. З іншого боку, необхідно мати можливість задіяти в освітньому процесі провідних фахівців профільного підприємства з адекватною оплатою їх праці вищим навчальним закладом. Нажаль, детальна законодавча база для вирішення цих важливих питань дотепер не розроблена.

Таким чином, сучасні тенденції розвитку аерокосмічної галузі ставлять перед освітнім процесом складні і дуже важливі задачі, від успішного і своєчасного вирішення яких залежить майбутнє України, як аерокосмічної держави.

### ПОСИЛАННЯ

1. Головенкін В.П. Педагогіка вищої школи : підручник. 2-ге вид. К : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 290 с. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29032/3/Higher\\_School\\_Pedagogy\\_2019.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29032/3/Higher_School_Pedagogy_2019.pdf) (дата звернення: 18.05.2023).

2. Гринько О. В. Особливості педагогічної діяльності викладача вищої школи у сучасну епоху. *Актуальні проблеми соціології, психології, педагогіки*. 2012. № 17. С. 166–173. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apspp\\_2012\\_17\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apspp_2012_17_24) (дата звернення: 18.05.2023).

3. Кожем'яко В. П., Кичак В. М., Коваленко О. С. Сучасні інформаційні технології в науці та освіті : Навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2018. 161 с.

4. Шевцов В. Ю., Давидова А. В. Фахова науково-пошукова підготовка в процесі навчання за освітньою програмою спеціальності «Авіаційна та ракетно-космічна техніка». *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. 2022. XXXI. С. 108–114.

5. Шевцов В. Ю. Освітні технології в навчальному процесі третього тисячоліття. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. 2019. XXVI. С. 43–51.

## ІТ-ТЕХНОЛОГІЇ У СУЧАСНИХ РЕАЛІЯХ

*Анжеліка Володимирівна Давидова*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Сергій Олександрович Давидов*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Данило Сергійович Рак*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Розвиток найсучасніших інформаційних технологій невинно набирає обертів, демонструючи світу неймовірні досягнення в цифровій сфері. На сьогоднішній день нікого не здивує достатньо високий рівень обізнаності в цій галузі, навіть школярів, які під час навчання мають змогу користуватися різноманітними гаджетами, починаючи з електронних підручників та інтерактивних дошок, демонструють обізнаність при використанні різноманітних видів платформ для дистанційних комунікацій, вражають оволодінням сучасним контентом.

Постійне прагнення до досконалості та пошуку нових стратегій спонукає сучасну вищу освіту шукати нові або вдосконалювати всім відомі засоби та напрямки комплексного інформаційного та інноваційного навчання. Цей процес має на меті суттєво переглянути сучасний запит на професійні методи за засоби реалізації сучасної освіти.

На потреби сьогодні, вищий навчальний заклад має не тільки означити шляхи розвитку певних спеціальних дисциплін, але й надати можливість обирати методи, засоби відповідних технологій навчання через узгоджені інтерфейси, впровадження та засвоєння певного навчального матеріалу, надання змоги самостійного опанування спеціальної навчальної допоміжної літератури, розвивати навички застосування електронних засобів сучасної комп'ютерної техніки та зв'язку для освоєння та впевненого використання цифрового продукту, та забезпечити отримання достатньо фахових знань та умінь, набуття професійних навичок з широким спектром їх використання.

Особливо слід зазначити, що досить широко використовувались ІТ-технології при роботі з інформаційними ресурсами при розв'язанні складних різнопланових задач технічного призначення. Вони спонукали використовувати сучасний математичний апарат, використання достатньо складних ієрархічних алгоритмів та схем, розробку потрібного програмного забезпечення, яке відстежувало склад

всіх файлів проекту, створених для роботи з системами автоматизованого проектування, на предмет їх цілісності, несуперечності та актуальності.

Сучасні технології моделювання суттєво спрощують використання CAD-систем різного класу складності від спрощених до досить потужних. Адитивні технології, які застосовують при створенні 3-D моделей, дозволяють фахівцям створювати більш якісний інтелектуальний продукт. Отримані вироби, з подальшою їх візуалізацією за допомогою 3-D друку значно полегшують як сприйняття певних процесів, так і оволодіння певними програмними компонентами. Можливості моделювання різних систем постійно вдосконалюється, тому дослідження та певна робота з такими процесами потребує наявності сучасних фахових компонентів та можливості проведення досліджень динамічних процесів в технічних системах, перевірка її багатofункціональності. Успішне впровадження таких комплексів проектування потребує вирішення питань перевірки та узгодження конструкторських даних, обміну та зберігання здобутків учасників проекту, забезпечення потрібних систем кодування та отримання доступу до всієї проектної інформації. Можливість генерувати нові ідеї, описувати явища і процеси в системах керування і телекомунікацій спонукає фахівців продемонструвати творчу складову, логічне мислення і здатність до прийняття нетривіальних рішень. Постійне вдосконалення сучасних технологічних процесів потребує оптимізації різноманітних параметрів, сприяє поліпшенню якості при виготовленні виробів.

Разом з тим, не можливо не відмітити певні тенденції, які останнім часом стають більш помітними у різноманітних сферах. ІТ-технології стрімко охоплюють різні види діяльності, які стають все більш затребувані сучасним суспільством, надають можливість фахівцям аналізувати та синтезувати цифрові системи автоматичного управління, отримуючи певні результати.

Вони надають змогу за допомогою інтернет ресурсів, комп'ютеризації, цифровізації або використання відповідних додатків приймати нетривіальні рішення. Інформаційні системи і технології відіграють надзвичайно важливу роль у бізнес-середовищі, дозволяючи не тільки постійно налагоджувати певні комунікації, проводити успішні рекламні кампанії, створювати віртуальний бізнес-простір із запровадженням цифрових товарів та послуг. Разом з тим, користуватися інтелектуальними доробками діджиталізації, створювати певний інтелектуальний контент можуть як фахівці, так і просто користувачі сучасних гаджетів.

Одним з найважливіших компонентів сучасних інноваційних

технологій є такі інформаційні системи, які здатні працювати з великими масивами різноманітної інформації. Їх використання надає змогу як великим компаніям, так і окремим користувачам накопичувати та зберігати отримані дані, передавати їх на значні відстані, формувати нові інтелектуальні продукти як у національних, так і в міжнародних економічних структурах. Сучасні фірми та установи використовують інформацію та комунікаційні технології для оптимізації ефективності своєї діяльності та збільшення прибутку і намагаються використовувати для подальшої успішної роботи найсучасніші дівайси.

Важко знайти сферу життя, яку б не зачепив процес інформатизації та комп'ютеризації. Сучасні ІТ-технології постійно накопичують різноманітні досягнення наукового сегмента, а саме у галузях електроніки, медицини, математики, філософії, психології та економіки. Також збільшується потужність комп'ютерної техніки, що надає нові можливості для творчої роботи дослідників, інженерів, юристів, журналістів, архітекторів, графічних дизайнерів, розробників та представників інших галузей сучасного суспільства. Концепція впровадження інформаційних технологій передбачає як автоматизацію самого процесу, так і аналіз роботи, комп'ютерне моделювання фізичних і хімічних процесів, обробку отриманої інформації.

Для подальшого розвитку суспільства в цілому, як у окремій країні, так у світі в цілому вплив ІТ-технологій невинно збільшується. Запит на фахівців, які досконало володіють сучасними цифровими технологіями постійно збільшується. Країні вкрай необхідні спеціалісти, які мають здібності для створення та покращення новітніх розробок супутникового зв'язку, телебачення та інтернет-технологій, дослідження та опрацювання інтернет-середовища та вдосконалення вже отриманих знань.

Постійний розвиток процесів інформатизації та цифровізації суспільства відкриють можливість людству для подальшого розвитку та майбутніх досягнень.

## Посилання

1. Антоненко В. М., Мамченко С. Д., Рогушина Ю. В. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навч. посіб. Ірпінь : Нац. університет ДПС України, 2016. 212 с.
2. Базовий курс інформатики : навчальний посібник / В. Д. Руденко та ін. Київ : Вид. група ВНУ, 2006. 368 с.
3. Буйницька О. П. Інформаційні технології та технічні засоби навчання : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 240 с.

4. Буров Є. Комп'ютерні мережі : Наук. вид. 2-ге оновлене і доповн. вид. Львів : БаК, 2003. 584 с.
5. Інформатика: комп'ютерна техніка. комп'ютерні технології. : Підруч. для студентів ВНЗ. Київ : Акад., 2002. 704 с.
6. Інформаційні технології та моделювання бізнес процесів : навч. посіб. / О. М. Томашевський та ін. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 296 с.
7. Кірчук Р. В., Герасимчук О. О., Завіша В. В. Сучасні інформаційні технології : навч. посіб. Луцьк : Технічний коледж Луцького НТУ, 2020. 134 с.
8. Кожем'яко В. П., Кичак В. М., Коваленко О. С. Сучасні інформаційні технології в науці та освіті : Навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2018. 161 с.
9. Кулаков Ю. А., Луцкий Г. М. Комп'ютерні мережі : підручник. Київ : Юніор, 2005. 400 с.
10. Павлиш В. А., Гліненко Л. К., Шаховська Н. Б. Основи інформаційних технологій і систем. Львів : Львівська політехніка, 2018. 620 с.
11. Сергієнко І. В. Інформатика в Україні: становлення, розвиток, проблеми. Київ : Наук. думка, 1999. 354 с.
12. Холод О. М. Комунікаційні технології : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 212 с.
13. Ятчук О. М. Інтерактивне телебачення: соціально-комунікаційні моделі та технології. Дніпро : УМСФ, 2018. 136 с.
14. Duckett J. Beginning HTML, XHTML, CSS, and JavaScript. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2010.
15. Michael M. Cloud computing: web-based applications that change the way you work and collaborate online. Indianapolis, IN : Que Pub., 2008.
16. Velte A. T. Cloud computing: a practical approach. New York : McGraw-Hill, 2010. 334 p.
17. Zandstra M. PHP objects, patterns, and practice. 2nd ed. Berkeley, CA : Apress, 2008. 487 p.

## ПСИХОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ КОЛЬОРІВ У МАРКЕТИНГУ

*Анастасія Костянтинівна Албатова*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7953-0839>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Оксана Володимирівна Левкович*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4570-4963>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

«Психологія кольору» – це галузь психології, яка вивчає вплив кольорів на емоції, настрій, поведінку та психологічний стан людини. Вона досліджує, як кольори сприймаються і спричиняють різні психологічні реакції у людей. Психологія кольору вивчає значення кожного окремого кольору та їх комбінацій, а також вплив кольорів на психічні процеси і фізіологічні реакції організму. Вона досліджує, які асоціації, враження і емоції викликають різні кольори, і як це може використовуватися для впливу на поведінку та настрої людей [15]. Використання кольору в маркетинговій комунікації є потужним інструментом, який безпосередньо впливає на нашу підсвідомість, вирішуючи, як ми думаємо та ставимося до певного продукту, реклами, кампанії тощо [13]. Все частіше для просування продуктів маркетингологи звертаються до соціальних мереж [8, 11, 14], а економісти під час оцінки привабливості бізнес-проекту на соціальні норми [4].

Колір в маркетингових комунікаціях здійснює ряд функцій [6]:

- Привертає інтерес потенційних споживачів;
- Збільшує запам'ятовуваність товарів;
- Виділяє конкретні якості продукту та послуг;
- Сприяє осмисленню сутності товарів, послуг.

Кольори впливають і викликають ряд реакцій. Вдало підібраний колір привертає увагу, заспокоює, задовольняє, тоді як той самий колір, використаний в іншому контексті, може мати протилежний, негативний ефект. Як і в будь-якому сегменті життя, в маркетингу перше враження є дуже важливим, тому вибір кольору стає вирішальним фактором у спілкуванні зі споживачем.

Вважається, що кольори використовуються для формування іміджу чи особистості, стимулюють імпульсивну купівельну поведінку. Наприклад, споживачі чоловіки, як правило, більше мають намір купувати тоді, коли ціни на товари представлені червоним, а не чорним кольором [9].

Крім того, покупці вважають за краще купувати товари, які мають колір відповідно до їхнього використання чи призначення.

Наприклад, купуючи товар, який асоціюється з водою, споживачі віддають перевагу речам синього кольору, тоді як червоний колір призначений для предметів розкоші або предметів, які асоціюються зі статусом, наприклад, спортивних автомобілів [3, 5].

Так, Beneke, Mathews, Munthree і Pillay (2015) у своєму дослідженні виявили, що рівень доходу має значний вплив на колірні переваги бутильованої води. Групи людей з нижчим рівнем доходу, як правило, віддають перевагу холодним і теплим кольорам дизайну, тоді як групи з високим рівнем доходу віддають перевагу нейтральним відтінкам [7]. Використання кольорів повинно узгоджуватися із корпоративним стилем та організаційною культурою підприємства [2, 10].

Для ресторанного бізнесу психологія кольору є дуже важливим аспектом для підвищення рівнів задоволеності споживачів, конкурентоспроможності та прибутковості [1]. Наприклад, серед закладів швидкого харчування, червоний колір є популярним, оскільки він стимулює апетит і впливає на наш метаболізм. Жовтий також використовується в місцях, де є їжа, тому що жовтий привертає увагу клієнтів, підвищує апетит і спонукає людей їсти. А от більш розкішні ресторани використовують синій колір, щоб створити заспокійливу та безтурботну атмосферу для своїх клієнтів, заохочуючи людей залишатися довше, і, як наслідок, споживання їжі та напоїв зростає [7].

На прикладі логотипів відомих закладів харчування (Рис.1), можна побачити домінування саме червоного та жовтого кольору через їх здібність привертати увагу та підвищувати апетит.



Рисунок 1 – Логотипи відомих закладів харчування



Зелений колір пов'язується з природою, свіжістю і стійкістю. Він може створювати враження екологічної свідомості та здорового способу життя. Багато компаній, що працюють у сфері екології або органічних продуктів, використовують саме зелений колір у своїх рекламних матеріалах [5].

З енергією, теплотою і веселощами асоціюється помаранчевий колір. Він може викликати почуття оптимізму та дружелюбності. Фірми використовують помаранчевий колір для створення позитивного враження і привертання уваги до своєї продукції або послуг.

Фіолетовий, як і синій, впливає на концентрацію. Правильний відтінок фіолетового впливатиме на споживача по-різному, якщо вибрати занадто темний, то він відштовхне, але ніжніший навпаки буде сприйматися позитивно. Також фіолетовий асоціюється з благородством, елегантністю і витонченістю. Говорячи про коричневий, він - колір міцний, сильний, більш чоловічий, ніж жіночий. Викликає відчуття стабільності, комфорту і зрілості. Часто використовується для реклами меблів, як підтвердження надійності. Рожевий це колір наївності, дитячості і в цілому, відразу асоціюється з жіночністю і ніжністю, саме тому часто використовується брендами для реклами жіночих товарів або реклами дитячих іграшок, меблів чи харчування [5].

Голубий колір відомий своєю здатністю створювати враження спокою, релаксації і гармонії. Також він асоціюється зі спокоєм, довірою і надійністю. Використання голубого кольору в брендингу або логотипі може створити враження професіоналізму та надійності компанії. Це робить голубий колір популярним у використанні серед медичних організацій, таких як лікарні, лабораторії тощо. До прикладу, можна продемонструвати логотипи міських клінічних лікарень міста Дніпра (рис. 2), де переважає саме голубий як колір, який асоціюється з надійністю, довірою та відповідальністю з боку медичного закладу.

## ВИСНОВОК

Вірно підібраний колір є одним із ключових елементів усієї маркетингової стратегії та відіграє ключову роль у маркетингових комунікаціях. Маркетологам важливо добре знати психологічне значення кольорів і їх вплив на споживачів, оскільки неправильно обраний колір може негативно вплинути на імідж продукту, продажі та компанію в цілому. Розуміючи психологічний вплив кольорів і ретельно обираючи кольори для дизайну продукту, реклами та маркетингової комунікації, компанії отримують бажаний зворотний зв'язок від своїх споживачів, збільшуючи свої продажі та створюючи надійні, довгострокові відносини з клієнтами.



Рисунок 2 – Офіційні логотипи міських клінічних лікарень міста Дніпро [2]

### ПОСИЛАННЯ

1. Гаврилюк С. Особливості ресторанного маркетингу в Україні. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2017. № 48. С. 1–9. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2017-48-175-183>
2. Крупський О. П., Стасюк Ю. М. Organization of the corporate style of the medical institution: functions and components. *TIME DESCRIPTION OF ECONOMIC REFORMS*. 2023. №. 1. С. 87-95. <https://doi.org/10.32620/cher.2023.1.11> [in Ukrainian]
3. Ніценко В. С. Збутова політика аграрних підприємств: сучасний стан та перспективи розвитку. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія: Економіка і менеджмент. 2015. №. 4. С. 103-107.
4. Павлов Р. А., Павлова Т. С., Левкович О. В. Интеграция социальных норм в моделирование процесса принятия финансово-экономических решений. *Управління розвитком суб'єктів підприємництва: механізми, реалії, перспективи: колект. моногр./за заг. ред. ТВ Гринько*. Дніпро: Біла КО. 2018. С. 338-357. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/186332295.pdf>. (дата звернення: 20.05.2023).
5. Психологія кольору в рекламі • Marketer. Marketer. URL: <https://marketer.ua/ua/psihologiya-tsveta-v-reklame/> (дата звернення: 20.05.2023)
6. Сломінська, К. М. Особливості перекладання англійськомов-

них рекламних текстів: семіотичний аспект. Херсон : ХДУ, 2020. 52 с.  
URL: [http://ekhsuir.kspu.edu/xmlui/bitstream/handle/123456789/11452/Slominska\\_fif\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ekhsuir.kspu.edu/xmlui/bitstream/handle/123456789/11452/Slominska_fif_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

7. Beneke, J., et al. The role of package colour in influencing purchase intent of bottled water: Implications for SMEs and entrepreneurs. *Journal of Research in Marketing and Entrepreneurship*. 2015. Vol. 17 №. 2, P. 165-192. <https://doi.org/10.1108/JRME-05-2015-0030>.

8. Chowdhury S. et al. Impact of Social Media on Knowledge of the COVID-19 Pandemic on Bangladeshi University Students. *Computation*. 2023. Vol. 11. №. 2. P. 38. <https://doi.org/10.3390/computation11020038>.

9. Hunjet A., Vuk S. The psychological impact of colors in marketing. *International Journal Vallis Aurea*. 2017. Vol.3. №. 2. P. 42-54. <https://doi.org/10.2507/ijva.3.2.4.37>.

10. Krupskyy, A. 2014. Modern Methods of Management Decision-Making and their Connection with Organizational Culture of the Tourism Enterprises in Ukraine. *Economic Annals-XXI*. №7-8(1). P. 95-98.

11. Kusuma C. A., Abid A. Developing a Digital-Based Marketing Strategy to Promote Beach Attractions in Indonesia a Case of Botutonuo Beach in Gorontalo. *European Journal of Management Issues*. 2022. Vol. 30. №. 4. P. 205-214. <https://doi.org/10.15421/192219>.

12. Most Famous Fast-Food Logos. 1000 Logos - The Famous Brands and popular company logos in the World. URL: <https://1000logos.net/most-famous-fast-food-logos/> (дата звернення: 20.05.2023)

13. Putsenteilo P. R., Nyanko V. M., Karpenko V. L. Trajectory of marketing function—from traditions to innovations. *European Journal of Management Issues*. 2018. Vol. 26. №. 3-4. P. 103-113. <https://doi.org/10.15421/191811>.

14. Ramphele M., Msosa S. K. Determinants of social media marketing adoption in small, medium and micro enterprises during the COVID-19 pandemic. *European Journal of Management Issues*. 2022. Vol. 30. №. 2. P. 92-99. <https://doi.org/10.15421/192209>.

15. Sharpe D. T. *The psychology of color and design*. Nelson-Hall, 1974.

16. Widjayanti A., Pare V. How Do Consumers Respond to Different Colours of A Package? The Case of Local Food Product in Indonesia. Flinders Business School, Flinders University of South Australia. 2016. URL: [https://www.anzam.org/wp-content/uploads/2018/02/2835\\_ANZAM-2016-369-FILE001.pdf](https://www.anzam.org/wp-content/uploads/2018/02/2835_ANZAM-2016-369-FILE001.pdf). (дата звернення: 20.05.2023).

## РОЛЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

*Віталій Олександрович Гусєв*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6813-9824>

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро

*Тетяна Дмитрівна Нікіфорова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0688-2759>

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро

Штучний інтелект (ШІ) останнім часом стрімко розвивається та трансформує різні галузі промисловості, зокрема, впливає і на будівництво [2, 3].

Дослідження має на меті узагальнити можливості штучного інтелекту (ШІ) у будівельній галузі та виявити потенційні проблеми щодо застосування цієї технології.

Було виявлено та сформовано декілька аспектів застосування ШІ у будівництві (рис. 1), а саме:

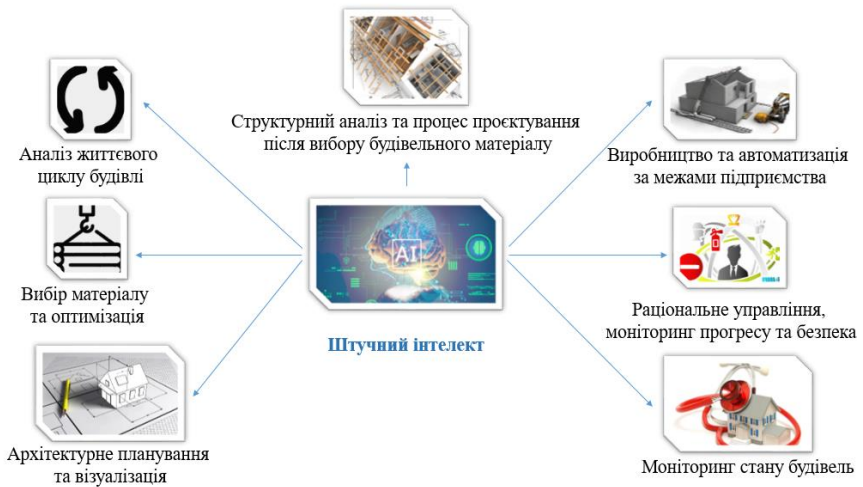


Рис. 1 Штучний інтелект у будівництві

- архітектурне планування та візуалізація;
- вибір матеріалу та оптимізація;
- структурний аналіз та процес проєктування після вибору

будівельного матеріалу;

- виробництво та автоматизація за межами підприємства;
- раціональне управління, моніторинг прогресу та безпека під час будівництва;
- моніторинг стану збудованого об'єкту;
- аналіз життєвого циклу будівлі.

Важливим етапом під час будівництва є архітектурне планування та візуалізація. Це складний процес, який вимагає фундаментальних експертних знань, чималого досвіду креативності спеціаліста. Штучний інтелект може полегшити роботу, базуючись на шаблонах, які були розроблені в попередніх проєктних даних для створення нових дизайнів.

Алгоритми машинного та глибинного навчання набули широкого розповсюдження в області архітектурного проєктування та візуалізації з такими технологіями, як 2-D і 3-D генеративний архітектурний дизайн, класифікація архітектурних стилів і типів будівель, архітектурні креслення, розпізнавання простору та синтез внутрішньої сцени [9].

Є деякі важливі фактори та проблеми, які необхідно при цьому враховувати:

- пошук високоякісного набору даних;
- час і ресурси, що були затрачені на попередню обробку даних;
- створити більш надійні алгоритми для автоматизації процесу.

Ще одним важливим етапом, де використання алгоритмів ШІ можуть прийти на допомогу, є вибір відповідного будівельного матеріалу. Адже, саме вид конструкційного матеріалу впливає на швидкість зведення та фізико-механічні властивості конструкцій майбутньої будівлі. Сучасні технологічні розробки, які включають елементи штучного інтелекту у цій галузі, базуються на використанні бетону. Алгоритми ШІ можуть допомогти у процесі прогнозування різних цільових функцій на основі попередніх даних.

Більшість оптимізаційних задач, в основному, виконуються за допомогою алгоритмів оптимізації, таких як: лінійне програмування, конічна оптимізація другого порядку, метаевристичні алгоритми [4].

Методи ШІ також можна використовувати під час структурного аналізу при проєктуванні вже після вибору будівельного матеріалу.

Інтеграція методів штучного інтелекту у проєктування будівельних конструкцій у реальному часі стикається з дуже вагомою проблемою, яка дістала назву “природа чорної скриньки”. Однак, незважаючи на ці недоліки, існують випадки, коли застосування ШІ є доцільним і має переваги перед традиційними методами.

Як приклад, можна навести розробку сейсмологічного проєкту,

аналіз вигину та втоми, прогнозування вантажопідйомності та рівня пошкоджень існуючих конструкцій для реконструкції. Відкривається можливість використання та впровадження нових функцій, таких як генеративний дизайн, що можуть допомогти структурному дизайну, надаючи більшу кількість проектних можливостей.

Застосування алгоритмів штучного інтелекту, зокрема, глибокого навчання, дозволяє здійснювати автоматизоване генеративне проектування й аналіз. Використання підходу глибокого навчання дозволяє автоматизувати структурний аналіз та проектування попередньо напружених елементів [10, 11].

Штучний інтелект може бути використаний у виробництві поза межами підприємства та в процесі 3D-друку будівель з метою підвищення ефективності виробництва. Він може полегшити автоматизоване проектування для виробництва та складання модульних систем і вдосконалення роботизованих систем.

Вдосконалення технологій будівництва призвело до поліпшення якості, але, водночас, збільшило тривалість возведення об'єктів.

Управління будівництвом включає планування проекту, координацію, бюджетування та нагляд за процесом будівництва [8].

Зазвичай, ці процеси здійснюються за допомогою досвіду інженерів та комерційного програмного забезпечення. Моніторинг прогресу будівництва, зазвичай, вимагає ручного збору інформації з будівельного майданчика, такого як фотографування та документування. Підвищення безпеки на будівництві також залежить від ручного контролю [6, 7]. Однак, для підвищення ефективності та точності, ці процеси також можна автоматизувати з використанням штучного інтелекту [1].

Споруди, що побудовані традиційним методом, зазвичай, не мають спеціалізованих датчиків, метою яких є моніторинг стану будівель. Це призводить до відсутності важливої інформації, яка необхідна для прийняття рішень з управління та обслуговування вже побудованих об'єктів. Збір даних і розробка систем управління будівлею, які поєднують всі ці елементи, є складним завданням через різноманітність компонентів будівлі, великі обсяги даних, мінливість динаміки самої споруди, погодні умови та чисельні фактори невизначеності [5].

У сучасних будинках для ефективного збору цих даних використовується технологія “Інтернет речей” (Internet of Things, IoT). Саме для аналізу таких даних та операційного управління будівлі доцільно використовувати методи штучного інтелекту. Цей процес може включати аналітику, збір і зберігання даних, а також їх перегляд. Під час реалізації даної технології слід дотримуватися концепції поєднання

технологій “розумного будинку” та інтеграції ШІ.

Це дозволить в подальшому більш ефективно керувати системами енергозбереження, викидів, клімат-контролю, безпеки об’єкта в цілому.

Використовуючи методи штучного інтелекту під час аналізу життєвого циклу будівлі, можна створити більш досконалу регенеративну систему на основі принципів кругової економіки. Це дасть поштовх для прискорення переходу до економіки замкнутого циклу, зокрема, в процесі повторного використання, ремонту та переробки у системі.

Можна стверджувати, що методи та алгоритми ШІ можна з великим успіхом інтегрувати на багатьох етапах будівництва, які включають в себе:

- автоматизоване генеративне проєктування архітектури;
- прогнозування властивостей будівельних матеріалів;
- розробку економічних, ефективних, стійких і міцних матеріалів і композитів;
- проєктування конструкцій;
- обробку величезних обсягів даних, які генерують “розумні будівлі”;
- переробку відходів від знесення будівель за допомогою систем роботів, які підтримують технологію штучного інтелекту;
- контроль якості будівельного процесу;
- поєднання ШІ та технології 3-D друку за межами підприємства для підвищення ефективності виробництва.

Використання штучного інтелекту має значний вплив на будівництво, покращуючи процеси та результати в таких областях, як проєктування, планування, технічне обслуговування та експлуатація. Штучний інтелект продовжує розвиватися, і це відкриває шлях до ще ширшого використання його у будівельній галузі в найближчі роки. Розробка рішень, що базуються на штучному інтелекті, стане ключовою для забезпечення реалізації безпечних, ефективних і стійких будівельних проєктів, які приносять користь суспільству в цілому.

## Посилання

1. Applications of object detection in modular construction based on a comparative evaluation of deep learning algorithms / С. Liu та ін. Construction innovation. 2021. Ahead-of-print, ahead-of-print. URL: <https://doi.org/10.1108/ci-02-2020-0017>.

2. Artificial intelligence and the UK construction industry – empirical study / Н. Jallow та ін. Engineering management journal. 2022. С. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1080/10429247.2022.2147381>.

3. Artificial intelligence in the construction industry: a review of present status, opportunities and future challenges / S. O. Abioye та ін. Journal of building engineering. 2021. T. 44. C. 103299. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103299>.

4. DeRousseau M. A., Kasprzyk J. R., Srubar W. V. Computational design optimization of concrete mixtures: a review. Cement and concrete research. 2018. T. 109. C. 42–53. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.04.007>.

5. Gaurav Mishra. Artificial intelligence in home automation as a boon for civil engineering. EPRA international journal of research & development (IJRD). 2022. C. 292–295. URL: <https://doi.org/10.36713/epra10347>.

6. How artificial intelligence changed the construction industry in safety issues / P. Razi та ін. IOP conference series: earth and environmental science. 2023. T. 1140, № 1. C. 012004. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1140/1/012004>.

7. Lee J., Lee S. Construction site safety management: a computer vision and deep learning approach. Sensors. 2023. T. 23, № 2. C. 944. URL: <https://doi.org/10.3390/s23020944>.

8. Mohapatra A., Mohammed A. R., Panda S. Role of artificial intelligence in the construction industry – A systematic review. Ijarcce. 2023. T. 12, № 2. URL: <https://doi.org/10.17148/ijarcce.2023.12205>.

9. Mohapatra A., Mohammed A. R., Panda S. Role of artificial intelligence in the construction industry – A systematic review. Ijarcce. 2023. T. 12, № 2. URL: <https://doi.org/10.17148/ijarcce.2023.12205>.

10. Using artificial intelligence to find design errors in the engineering drawings / R. Dzhushupova та ін. Journal of software: evolution and process. 2023. URL: <https://doi.org/10.1002/smr.2543>.

11. Zhang Y. Safety management of civil engineering construction based on artificial intelligence and machine vision technology. Advances in civil engineering. 2021. T. 2021. C. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/3769634>.



## ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ТА ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ФАКТОРИ СТІЙКОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ

*Юлія Михайлівна Стасюк*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-8658>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Інноваційний розвиток та трансфер технологій є невід'ємною частиною сучасного суспільства. Їх розвиток вимагає вирішення багатьох проблем, але надає значні можливості для створення нових продуктів, покращення якості життя та розвитку економіки. Для успішного інноваційного розвитку необхідно сприяти співпраці між науковими установами, промисловими підприємствами та урядовими органами, а також використовувати сучасні технології для підвищення ефективності процесів трансферу технологій. Тільки таким шляхом можна досягти стійкого інноваційного розвитку та покращення якості життя людей [1, 2].

Інновації відіграють надзвичайно важливу роль у сучасному світі та мають значний вплив на економіку [6]. Вони є необхідним фактором для досягнення економічного зростання, підвищення продуктивності та конкурентоспроможності; сприяють розвитку нових галузей, стимулюють інвестиції та підприємництво, змінюють структуру економіки та покращують якість життя людей. На ефективність інноваційних процесів впливають когнітивний стиль менеджерів [11, 12]. Тому, розуміння та підтримка інноваційних процесів є важливим завданням для країн, що мають бажання розвиватися та досягти сталого економічного прогресу [5]. Ось кілька ключових аспектів, що вказують на їхню роль і значення:

1. Стимулювання економічного зростання: Інновації є двигуном економічного розвитку, оскільки вони сприяють виникненню нових галузей та створенню нових робочих місць. Інноваційні компанії і підприємства, що запроваджують нові технології та процеси, мають конкурентну перевагу і забезпечують зростання ВВП країни.

2. Підвищення продуктивності: Інновації допомагають вдосконалити виробничі процеси, впровадити автоматизацію та раціоналізацію, що призводить до збільшення продуктивності праці. Це сприяє зниженню витрат на виробництво, підвищенню якості товарів та послуг, а також покращенню конкурентоспроможності.

3. Стимулювання інвестицій та підприємництва: Інноваційні проекти привертають інвестиції, оскільки вони мають потенціал для високих прибутків та розвитку. Інновації також стимулюють підприємництво та сприяють з'явленню нових підприємств та стартапів, що

веде до диверсифікації економіки та зміцнення бізнес-екосистеми.

4. Зміна структури економіки: Інновації дозволяють переорієнтувати економіку від традиційних виробничих секторів до більш високотехнологічних та знаннями заснованих галузей. Це допомагає країнам розширити свою спеціалізацію та зайняти більш вигідні позиції на світових ринках.

5. Покращення якості життя: Інновації приводять до розробки нових продуктів та послуг, які поліпшують якість життя людей. Наприклад, медичні інновації можуть покращити діагностику та лікування хвороб, технологічні інновації можуть забезпечити енергоефективність та сталість довкілля, а інформаційні інновації допомагають полегшити доступ до знань та комунікації.

Трансфер технологій відіграє важливу роль у забезпеченні інноваційного розвитку. Він включає передачу технологічних знань, ноу-хау, патентів та навичок між організаціями, секторами та країнами; він допомагає поширювати інновації, залучати зовнішні знання, стимулювати співпрацю та взаємодію, розвивати міжнародний ринок та підвищувати конкурентоспроможність [7]. Трансфер технологій є важливим інструментом для країн, організацій та підприємств, які прагнуть досягти інноваційного розвитку та стати успішними в глобальному економічному середовищі.

Розглянемо основні переваги участі країни у трансфері технологій:

1. Поширення технологій інноваційних галузей: Трансфер технологій дозволяє поширювати інновації з передових галузей, де вони вже успішно застосовуються, до інших галузей, що ще не мають доступу до цих технологій. Це сприяє прискоренню інноваційного процесу та створенню нових можливостей для розвитку.

2. Залучення зовнішніх знань та досвіду: Трансфер технологій дозволяє організаціям залучати зовнішні знання, досвід та кращі практики. Це може бути особливо корисно для розвитку країн або підприємств, які не мають достатнього рівня внутрішніх науково-технічних ресурсів. Трансфер технологій дозволяє їм ефективно використовувати зовнішні ресурси для стимулювання інноваційного розвитку.

3. Посилення співпраці та взаємодії: Трансфер технологій сприяє співпраці між науковими установами, бізнесом та іншими зацікавленими сторонами. Це створює платформу для обміну знаннями, ідеями та ресурсами, що сприяє інноваційному розвитку. Такі партнерства допомагають знаходити нові рішення, розробляти спільні проекти та реалізовувати інновації в практичну діяльність.

4. Розвиток міжнародного ринку та глобальної конкурентоспроможності: Трансфер технологій дозволяє ефективно використовувати технології, які вже були розроблені в інших країнах, забезпечує

доступ до нових ринків та збільшує можливості для експорту.

5. Розвиток людського капіталу: Трансфер технологій включає передачу навичок, навчання та підвищення кваліфікації. Це сприяє розвитку людського капіталу та створенню висококваліфікованої робочої сили, що впливає на інноваційний потенціал та конкурентоспроможність країн [10].

Інноваційний розвиток та трансфер технологій стикаються з рядом проблем і викликів, які можуть уповільнювати їх ефективність і успішність. Нижче розглянемо найбільш поширені з них:

- Недостатнє фінансування: Інновації та трансфер технологій вимагають значних інвестицій, які не завжди доступні для всіх організацій і країн. Недостатнє фінансування може ускладнювати розробку та комерціалізацію нових технологій, обмежувати можливості трансферу та обміну знаннями;

- Брак інфраструктури та ресурсів: Успішний трансфер технологій потребує наявності відповідної інфраструктури та ресурсів. Це можуть бути наукові дослідження, лабораторії, кваліфіковані кадри, правова база та інші ресурси, які допомагають забезпечити ефективний трансфер технологій. Брак таких ресурсів може ускладнювати процес трансферу;

- Юридичні та інтелектуальні власність: Захист інтелектуальної власності та вирішення юридичних питань є складним завданням у контексті трансферу технологій. Відсутність чіткого регулювання та неправильне вирішення питань щодо власності та ліцензування можуть створювати перешкоди для передачі технологій;

- Культурні та організаційні перешкоди: Різні культури та організаційні структури можуть ускладнювати комунікацію, співпрацю та обмін знаннями між організаціями та країнами. Відмінності у цінностях, підходах до ризиків та прийнятті рішень можуть впливати на процес трансферу технологій [3, 4];

- Технологічні бар'єри: Деякі технології можуть бути складними для передачі через їх високу складність, конфіденційність або потребу в спеціалізованому обладнанні. Технологічні бар'єри можуть ускладнювати процес трансферу та вимагати додаткових зусиль.

Вирішення цих проблем і викликів вимагає спільних зусиль від урядів, бізнесу, наукових установ та міжнародних організацій. Необхідно створювати сприятливу інноваційну екосистему, залучати інвестиції в дослідження та розвиток, розробляти належну інфраструктуру та сприяти співпраці та обміну знаннями. Такі заходи можуть сприяти подоланню проблем і викликів інноваційного розвитку та трансферу технологій.

Використання сучасних технологій, таких як штучний інтелект

(ШІ), блокчейн, Інтернет речей (ІоТ) та інші, може відігравати важливу роль у поліпшенні процесів інноваційного розвитку та трансферу технологій [8, 9].

Штучний інтелект може використовуватись для аналізу великого обсягу даних, виявлення тенденцій і патернів, прогнозування ринкових потреб та ідентифікації нових можливостей для інновацій. Він може допомогти автоматизувати процеси дослідження та розвитку, прискорити процес прийняття рішень та покращити якість прогнозів.

Блокчейн може забезпечити безпеку, надійність та прозорість при передачі технологій. Він може використовуватись для створення цифрових доказів авторства, ліцензування технологій та контролю за їх використанням. Блокчейн також дозволяє створювати децентралізовані платформи для співпраці, обміну знаннями та фінансування інноваційних проєктів.

Інтернет речей може покращити моніторинг та збір даних в реальному часі, що сприяє швидшому виявленню проблем та можливостей для інновацій. Він може допомогти встановити зв'язок між фізичними об'єктами та цифровими системами, що сприяє автоматизації процесів, оптимізації виробництва та покращенню якості продукції.

Віртуальна реальність (VR) та Розширена реальність (AR) можуть бути використані для моделювання та візуалізації нових продуктів та технологій. Вони дозволяють взаємодіяти з віртуальними прототипами, тестувати їх ефективність та вдосконалювати їх перед фізичним виробництвом.

Використання хмарних сервісів (Cloud-технології) дозволяє легко обмінюватись даними, співпрацювати та зберігати великі обсяги інформації. Це сприяє швидкому доступу до необхідних даних та знань, сприяє ефективній комунікації та співпраці між учасниками процесу трансферу технологій.

Ці технології можуть покращити ефективність, швидкість та якість процесів інноваційного розвитку та трансферу технологій. Вони сприяють створенню більш сприятливого середовища для співпраці, обміну знаннями та комерціалізації нових ідей і технологій. Проте, їх впровадження також вимагає вирішення питань щодо безпеки, конфіденційності та регуляції для забезпечення успішного застосування в контексті інноваційного розвитку та трансферу технологій.

## Посилання

1. Апальков С.С. та ін. Глобальна економіка: актуальні проблеми та вектори розвитку: монографія. Дніпро: ПП «Ліра ЛТД». 2021. 426 с.
2. Джусов О.А. та ін. Інноваційний розвиток світової економіки:

інвестиційний аспект: монографія. Донецьк: Юго-Восток, 2009. 278с.

3. Крупський О.П., Стасюк Ю. М., Щипанова О. В. Досвід Німеччини у формуванні професійної культури менеджера. Особистість у просторі культури: матеріали IV Севастопольського Міжнародного науково-практичного симпозиуму 28 вересня 2012 р. / за ред. Г.О. Балла, О.Б. Бовть. Севастополь, 2012. С. 82–84.

4. Крупський О.П., Стасюк Ю.М. Економічна культура як фактор інноваційного розвитку економіки країни. *Інноваційна економіка*. 2012. №9. С.56-60.

5. Мешко Н.П., Сазонець О.М., Джусов О.А. Стратегії високотехнологічного розвитку в умовах глобалізації: національний та корпоративний аспекти: моногр. / ред.: Н.П. Мешко; Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара. Донецьк: Юго-Восток, 2012. 470 с.

6. Притикіна О. Л., Стасюк Ю. М., Щипанова О. В. Інноваційна політика України та інтеграція до ЄС. *Фінанси України*. 2005. №. 5. С. 36-43.

7. Стасюк Ю. М. Моделі міжнародного трансферу технологій. *Вісник ДНУ. Серія: світове господарство і міжнародні економічні відносини*. 2012. №. 4. С. 217-225.

8. Mikelsone E., Spilbergs A., Segers J.-P. Benefits of Web-based Idea Management System Application. *European Journal of Management Issues*. 2021. Vol. 29(3). P. 151-161. <https://doi.org/10.15421/192115>.

9. Ilmi Z., Wijaya A., Kasuma J., Darma D. C. The crowdsourcing data for innovation: Does it Matter? *European Journal of Management Issues*. 2020. Vol. 28(1-2), P. 3-12. <https://doi.org/10.15421/192001>

10. Krasnikova N. O., Dzyad O. V., Mihaylenko O. G., Hrechyn K. O. Management of the process of formation and realization of competitive advantages of the Visegrad Four countries in the European market of ICT services. *European Journal of Management Issues*. 2020. Vol.28(1-2). P. 25-33. <https://doi.org/10.15421/192003>

11. Krupskyi O., Redko V. The Influence Of The Employee' Cognitive Working Style On The Emotional Labor Outcomes In Tourism Firms. *Вестник Киевського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2017. Т. 6. №. 195. С. 11-18. <https://doi.org/10.17721/1728-2667.2017/195-6/2>

12. Zayed N. M. et al. Utilization of Knowledge Management as Business Resilience Strategy for Microentrepreneurs in Post-COVID-19 Economy. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. №. 23. P. 15789. <https://doi.org/10.3390/su142315789>.

## **Вплив спеціальних умов на соціально-психологічний клімат у трудовому колективі**

*Діана Русланівна Семенова*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4017-6091>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Петрович Крупський*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1086-9274>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Клімат трудового колективу впливає на формування настрою його членів, що у своє чергу істотно впливає на продуктивність праці та якість роботи. Причому цей вплив діє з майже однаковою силою в колективах різного виду. Наприклад, воно проявляється як у групах працівників низької кваліфікації, так і серед колективів, члени яких зайняті високопродуктивною працею [3]. Необхідно враховувати і теорію поколінь, коли в одному робочому просторі стикаються представники поколінь X, Y та Z [4, 9].

Вплив спеціальних умов на соціально-психологічний клімат у трудовому колективі є надзвичайно важливим аспектом, що потребує належного розгляду та розуміння [1]. Одним з ключових факторів, що визначають соціально-психологічний клімат, є наявність та якість соціальних пакетів на підприємствах. Соціальні пакети включають широкий спектр пільг та підтримки, спрямованих на поліпшення якості життя та добробуту працівників. Один з найважливіших аспектів цих пакетів - медичні страховки, які забезпечують працівникам доступ до якісної медичної допомоги. Це не тільки забезпечує їхнє фізичне здоров'я, але й створює почуття безпеки та захищеності. Пенсійні плани є ще одним важливим елементом соціальних пакетів. Вони гарантують працівникам стабільну фінансову підтримку на пізній період їх життя, забезпечуючи їхню майбутню стабільність. Це важливо не лише для працівників, але й для самого трудового колективу, оскільки це стимулює мотивацію та відчуття впевненості. Соціальні пакети також надають можливості професійного розвитку працівників: тренінги, семінари, навчання та інші форми підтримки, що допомагають розвивати навички та компетенції співробітників. Це сприяє підвищенню їх професійного потенціалу, задоволенню від роботи та взаємодії з колегами [2].

В даний час країна стикається з такими непередбачуваними

ситуаціями, як війна, економічні кризи, соціальні напруження та зміни у робочому середовищі. Соціально психологічний клімат впливає на якість рішень, які приймаються [10]. Тому вивчення факторів, що сприяють покращенню соціально-психологічного клімату та ефективності праці у трудових колективах є актуальним завданням.

## МЕТА ТА ЗАДАЧІ

Метою статті є розкриття ролі спеціальних умов, а саме тренінгу, у формуванні соціально-психологічного клімату у трудовому колективі на конкретному підприємстві.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Протягом багатьох десятиліть дослідження та практика намагалися покращити організаційну культуру та клімат як засіб підвищення ефективності організації. Нещодавно дедалі більше уваги серед керівників та вчених привертає поглиблення дбайливого психологічного клімату, який допомагає співробітникам відчувати турботу, справедливість та повагу як спосіб покращити мотивацію співробітників та підвищити бізнес-результати [6].

Вивченню соціально-психологічного клімату в колективі було приділено значну увагу як у вітчизняній, так і в зарубіжній науковій літературі. Інтерес до цієї теми був пов'язаний з результатами Хоторнських досліджень, які виявили наявність тісного зв'язку між продуктивністю робочої групи і особливостями її психологічного клімату, як підкреслив А. Л. Свінецький [1].

Потрібно зауважити, що існує «географічна» інтерпретація поняття соціально-психологічний клімат. Вчені які підтримують цю ідею умовно виокремлюють три кліматичні зони:

- соціальний клімат (визначається усвідомленістю цілей та задач у колективі, наскільки гарантовано дотримання всіх конституційних прав і обов'язків працівників як громадян);
- моральний клімат (визначається показником, які моральні цінності в даному колективі є прийнятими);
- психологічний клімат (передбачає неофіційні робочі відносини, які складаються між працівниками, що знаходяться в безпосередньому контакті один з одним).

Дослідники цієї проблеми дійшли висновку, що високий рівень єдності та узгодженості свідчить про розвинену групову ідентичність, яка проявляється в емоційному залученні учасників колективу до справ групи, їх прихильності до спільних інтересів та готовності

надавати взаємну підтримку. Таким чином, єдність ціннісних орієнтацій, цілей та мотивів діяльності, що виражається через згуртованість та узгодженість, представляє широкий спектр показників спільної роботи співробітників та є важливим фактором сприятливого соціально-психологічного клімату у спеціальних підрозділах силових структур.

Один із найбільш ефективних методів розвитку узгодженості та згуртованості співробітників спеціальних підрозділів силових структур можна вважати проведення соціально-психологічного тренінгу.

Соціально-психологічний тренінг (СПТ) – це груповий метод роботи, що дозволяє підвищити інтенсивність і стійкість змін, що виникають, максимально використовувати можливості кожного учасника [8].

Його цінність у тому, що він носить груповий характер, значно розширює можливості розвитку якостей особистості, необхідні роботи у колективі і підвищення рівня техніки спілкування. Крім того, групова тренінгова робота сприяє глибокій особистісній трансформації кожного учасника процесу, змін у його поведінці, різних видах міжособистісних відносин, у його методах роботи та структурі цілої організації [7].

Тренінгові заняття сприяють вирішенню різноманітних завдань. Вони допомагають учасникам тренінгу зрозуміти та усвідомити свої мотиви, потреби та принципи поведінки, розробити найбільш підходящі та ефективні стратегії дій у складних життєвих ситуаціях, розвинути здатність до емпатії та готовність взяти відповідальність за свої вчинки, покращити самооцінку та розвинути навички подолання труднощів [5].

Таким чином, аналіз літератури дозволяє зробити висновок про те, що соціально-психологічний тренінг є однією з найбільш ефективних стратегій для оптимізації взаємовідносин між співробітниками та узгодженості їх взаємодії в робочому колективі, що має важливе значення для забезпечення надійності професійної діяльності при виконанні поставлених завдань.

Наша тренінгова робота зі співробітниками була спрямована на досягнення наступних цілей: покращення психологічної атмосфери в колективі, тренування узгодженості дій та підвищення рівня єдності.

Робота будівельних бригад на приватному підприємстві “Діск-Південь” здійснюється у невеликих групах, які також можуть бути названі командами. Успішне виконання поставлених завдань значною мірою залежить від єдності та гармонійної взаємодії учасників цих команд.

Програма соціально-психологічного тренінгу була організована в



наступній структурі, що включає заняття, націлені на формування та розвиток навичок взаємодії у групі, що безпосередньо пов'язані з виконанням службових завдань в екстремальних умовах. Усього програма складалася з 8 зустрічей, кожна тривалістю 2 години. Співробітники підрозділу було поділено на дві групи по 7 осіб. Кожна зустріч мала свою унікальну мету та структуру. Кожне заняття включало такі етапи: ритуал, розминку, робочу фазу (виконання поставленого завдання), емоційне розрядження та рефлексію.

Короткий зміст 8 зустрічей:

Зустріч 1. Інформування учасників роботи про цілі, завдання і правила поведінки на заняттях.

Зустріч 2. Розуміння мотивів агресивного поведінки, вироблення способів протидії зовнішній агресії та конструктивної поведінки у конфліктних ситуаціях.

Зустріч 3. Розглянуто різні адаптивні форми співвладної поведінки та вироблені групові методи ефективної взаємодії у складних ситуаціях.

Зустріч 4. Розвиток здатності приймати особистісні особливості оточуючих людей, розуміти мотиви їх поведінки та вміти спиратися на сильні сторони товаришів по службі.

Зустріч 5. Тренування процесів уваги, сприйняття та запам'ятовування значущої службової інформації, вироблення адекватних способів передачі їх у команді задля забезпечення ефективних дій у екстремальних ситуаціях.

Зустріч 6. Відпрацювання навичок невербальної комунікації для забезпечення злагодженості дій під час виконання службових завдань.

Зустріч 7. Формування згуртованості (командоутворення) за допомогою групового подолання перешкод.

Зустріч 8. «Зворотній зв'язок», закріплення набутих знань, умінь та навичок, підбиття загальних підсумків тренінгової роботи та попередньої оцінки ефективності тренінгової програми.

Для оцінки ефективності проведеної тренінгової програми ми зробили опитувальник, який дозволяв оцінити ступінь виразності ознак сприятливого соціально-психологічного клімату, включаючи: добрі взаємини між співробітниками, позитивне ставлення до керівників, рідкість конфліктів у колективі, узгодженість дій, єдність, відповідальність та задоволеність роботою. Обробка результатів опитування до і після тренінгової програми проводилася шляхом підрахунку кількості відповідей за трибальною системою (відповідь "ні" відповідала 1 балу, відповідь "середня" - 2 бали, відповідь "так" - 3 бали).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У процесі проведення опитування до та після тренінгу було отримано позитивні, нейтральні та негативні відповіді з боку співробітників, на основі яких було підраховано сумарні бали для кожного фактора та відсоткове співвідношення з максимальними показниками (177 балів). Це дозволило виявити загальні тенденції змін. Результати представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Оцінка соціально-психологічного клімату

Фактори	До проведення тренінгу		Після проведення тренінгу	
	Сума балів	%	Сума балів	%
<b>Фактори, що сприяють роботі</b>				
Різноманітність роботи	162	91,5	163	92
Злагоженість дій	137	77	146	82
Добрі стосунки з безпосереднім керівником	158	89	164	92,6
Добрі стосунки зі співробітниками	167	94,3	174	98
Робота подобається	166	93	173	98
Згуртованість колективу	153	86	157	89
<b>Причини, які ускладнюють роботу</b>				
Конфлікти з деякими співробітниками	66	37	60	33,8
Незадовільний стиль керівництва	73	41	71	40
Конфлікти з керівництвом	66	37	61	34
Керівництво відділу не враховує думки співробітників	80	45	84	47,4
Безвідповідальність деяких співробітників	91	51	81	45,7
Постійне виникнення конфліктів	77	43	69	39

З таблиці видно, більшість співробітників оцінює соціально-психологічний клімат у колективі як сприятливий. Ця тенденція найвиразніше простежується у високих показниках за шкалами: «хороші стосунки зі співробітниками», «різноманітна, цікава робота», «робота правиться», «злагоженість дій», «згуртованість», а також низьким показниками за шкалами: «частота виникнення конфліктів»,

«конфлікти з деякими співробітниками», «конфлікти з керівництвом», «поганий стиль керівництва», як до проведення тренінгу, і після його закінчення. Виявлено розбіжності у характері спрацьованості співробітників (рис 1).

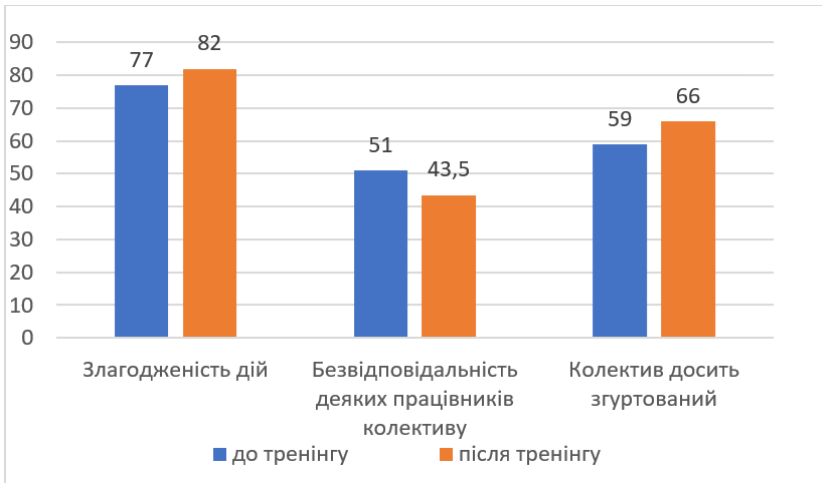


Рис. 1. Значні відмінності характером спрацьованості співробітників

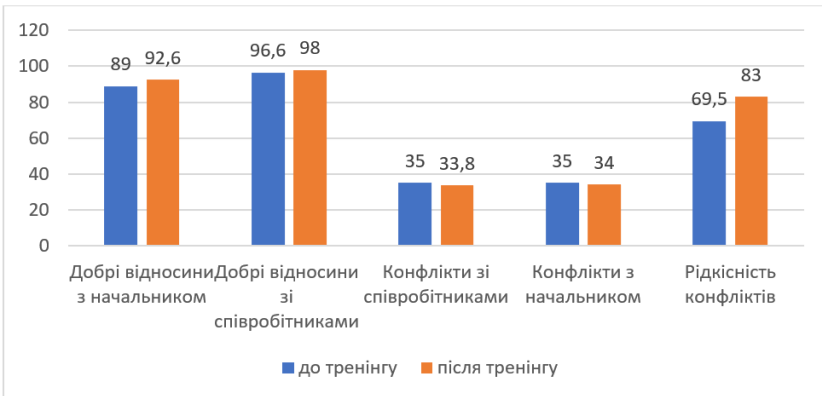


Рис. 2. Значні відмінності у сфері відносин у колективі

Так, після проведення тренінгів значно підвищилася оцінка згуртованості ( $t=-2,054$ ,  $p=0,045$ ), злагодженості дій ( $t=-3,231$ ,  $p=0,002$ ) та знизилася показники безвідповідальності співробітників при

виконанні задач ( $t = 3,231$ ,  $p = 0,002$ ). Також у результаті порівняльного аналізу виявлено відмінності у сфері відносин у колективі (рис. 2).

Результати порівняльного аналізу свідчать про те, що після проведення тренінгу покращилися відносини між співробітниками ( $t = -3,016$ ,  $p = 0,004$ ) та відносини співробітників із їх безпосереднім керівником ( $t = -2,560$ ,  $p = 0,013$ ). Відзначається значне зниження частоти конфліктів загалом ( $t = 3,231$ ,  $p = 0,002$ ), зокрема - між співробітниками ( $t = -2,560$ ,  $p = 0,013$ ) та співробітників з керівниками ( $t = 2,317$ ,  $p = 0,024$ ). Відзначаються значні відмінності в оцінці привабливості роботи (рис. 3). В результаті проведення тренінгу у співробітників відзначається явне покращення ставлення до роботи ( $t = -2,764$ ,  $p = 0,024$ ).

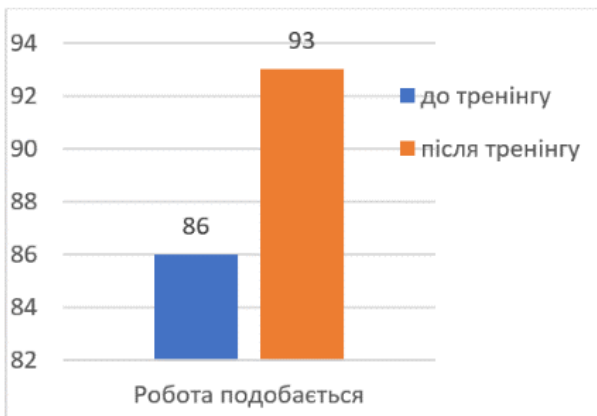


Рис. 3. Значні відмінності в оцінці привабливості роботи

## ВИСНОВКИ

Виявлені відмінності можуть свідчити про значне покращення взаємовідносин, як між співробітниками будівельних бригад, так і між співробітниками та їх безпосередніми керівниками, про зниження кількості конфліктних ситуацій у колективі, а також підвищення рівня привабливості роботи для співробітників.

Таким чином, результати порівняльного аналізу дозволяють розглядати соціально-психологічний тренінг як ефективний метод оптимізації соціально-психологічного клімату в колективі співробітників приватного підприємства “Діск-Південь”.

## ПОСИЛАННЯ

1. Донцов А.І. Міжкультурні взаємодії і соціальна дистанція / А. І. Донцов, Є. Б. Перелигіна, Л. П. Караваєва//Національний психологічний журнал. – 2014. – № 2(14). – С. 5–12.
2. Крупський О. П., Щипанова О. В., Стасюк Ю. М. Методика розробки соціального пакету в українських компаніях в сучасних умовах. Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки. 2010. №.26(1). С. 242-247.
3. Хоронжий А. Г. Соціальне управління: навчальний посібник/ А. Г. Хоронжий. – Львів: Магнолія 2006, 2010. – 290 с.
4. Aldjic K., Farrell W. Work and Espoused National Cultural Values of Generation Z in Austria. *European Journal of Management Issues*. 2022. Vol. 30. №. 2. – P. 100-115. <https://doi.org/10.15421/192210>
5. Cooney T. M. Entrepreneurship skills for growth-orientated businesses. Report for the Workshop on ‘Skills Development for SMEs and Entrepreneurship. 2012. Vol. 28. P. 1-24.
6. Edmondson A. C. *The Fearless Organization: Creating Psychological Safety in the Workplace for Learning, Innovation, and Growth*. John Wiley & Sons; Hoboken, NJ, USA: 2019.
7. Evans W. R., Davis W. D. High-performance work systems and organizational performance: The mediating role of internal social structure. *Journal of management*. 2005. Vol. 31. №. 5. P. 758-775.
8. Ismailovich S. A. Socio-Psychological Problems of Educating an Independent-Minded, Creative Person in the Educational Process. *Central Asian journal of literature, philosophy and culture*. 2021. Vol. 2. №. 12. P. 4-7.
9. Ivanov L. et al. Cognitive and emotional experiences of working in a glass office: a case study on normative control. *European Journal of Management Issues*. 2017. Vol. 25. №. 2. P. 80-84. <https://doi.org/10.15421/191711>
10. Krupskyi O. Modern methods of management decision-making and their connection with organizational culture of the tourism enterprises in Ukraine. *Економічний часопис - XXI*. 2014. №. 07-08 (1). С. 95-98.

## ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ МЕТОД AMSGRAD В БАГАТОШАРОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖАХ

*Сергій Андрійович Свелеба*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0823-910X>

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів

*Наталія Андріївна Свелеба*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2886-3921>

ПВНЗ «Європейський університет», Львівська філія, Львів

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Найпоширенішим способом оптимізації нейронних мереж є метод градієнтного спуску. Градієнтний спуск - це алгоритм оптимізації, який відслідковує негативне значенням градієнта цільової функції, щоб знайти мінімум функції похибки.

Обмеження градієнтного спуску полягає в тому, що даний метод застосовує одну швидкість навчання для всіх вхідних змінних. Розширення градієнтного спуску, як-от алгоритм Adaptive Movement Estimation (Adam), використовує різну швидкість навчання для кожної вхідної змінної, але в результаті цього швидкість навчання може швидко зменшуватися до дуже малих значень [3].

Метод AMSGrad є розширеною версією метода Adam, який намагається покращити властивості конвергенції алгоритму, уникаючи великих різких змін у швидкості навчання для кожної вхідної змінної. Технічно градієнт спуску називають алгоритмом оптимізації першого порядку, оскільки він явно використовує похідну першого порядку цільової функції.

Відомо [2, 5], що алгоритм AMSGrad оновлює експоненціальні середні ковзні градієнта ( $mt$ ) і квадрата градієнта ( $vt$ ), де гіперпараметри  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  (величина яких змінюється в інтервалі  $[0, 1)$ ) контролюють експоненціальні швидкості спаду цих середніх ковзних. Самі середні ковзні є оцінками 1-го моменту (середнє) і 2-го моменту (нецентрована дисперсія) градієнта [4].

Таким чином, AMSGrad призводить до не збільшення розміру кроку, що дозволяє уникнути проблем, яких зазнає Adam. Для простоти автори роботи [5] також видаляють крок зміщення, який використовують в Adamі. Повне оновлення AMSGrad без виправлених оцінок можна подати в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} mt &= \beta_1(N+1)mt - 1 + (1 - \beta_1(N+1))gt \\ vt &= \beta_2vt - 1 + (1 - \beta_2)g^2t \end{aligned}$$



нейронами в кожному шарі. Вибір значень параметрів  $\beta_1$  і  $\beta_2$  вибирався, як в праці [4]. Функцією активації, згідно праці [1] було вибрано сігмоїду.

Реалізація даного оптимізаційного метода здійснювалась при допомозі наступного коду:

```
for i in range (num - 1):
    layer_errors.append(layer_deltas[i].dot(synapse[num - 1 - i].T))
    layer_deltas.append(layer_errors[i + 1] * sigmoid_output_to_
derivative(layers[num - 1 - i]))
    layer_deltass=layer_errors[i + 1] * sigmoid_output_to_derivative
(layers[num - 1 - i])
    # m(t) = beta1(t) * m(t-1) + (1 - beta1(t)) * g(t)
    m = beta1**(age+1) * m[i-1] + (1.0 - beta1**(age+1)) *
layer_deltass
    # v(t) = beta2 * v(t-1) + (1 - beta2) * g(t)^2
    v = (beta2 * v[i-1]) + (1.0 - beta2) * layer_deltass**2
    # vhat(t) = max(vhat(t-1), v(t))
    vhat = max(max(vhat.reshape(-1,1)), max(v.reshape(-1,1)))
    dd= m / np.sqrt(vhat+ 1e-8)
    d.append(dd)
for i in range (num):
    synapse[num - 1 - i] -= alpha * (layers[num - 1 - i].T.dot(d[i]))
```

Для аналізу функції похибки використовувалась логістична функція наступного виду:

$$x_{n+1} = \alpha - x_n - x_n^2$$

де  $n$  — крок,  $\alpha$  — параметр, який визначає швидкість навчання.

III нерухомі точки:

$$x_{1,2} = -1 \pm (\alpha + 1)^{1/2},$$

власні значення, які можна обчислити наступним чином:

$$r_1 = 1 - 2(\alpha + 1)^{1/2}$$

Вибір даного логістичного відображення обумовлено тим, що воно описує процес подвоєння частоти коливань [7]. В нашому випадку цей процес зумовлений виникненням локальних мінімумів при підході до глобального мінімуму.

## ЕКСПЕРИМЕНТ

На рис.1 наведено, результат роботи даної програми. За умови, коли  $\beta_1=0.9$ ,  $\beta_2=0.999$ , при 100 епохах на рис.1 наведено, залежність значення логістичної функції похибки від параметра  $\alpha$  та Фур'є спектри. Отримана діаграма розгалуження засвідчує, що весь досліджуваний діапазон зміни  $\alpha$  ( $0.000001 \div 0.008$ ) можна розбити на 4 частини: 1) діапазон різкого зменшення величини функції похибки ( $\alpha=0.000001 \div 0.00002$ ) – не донавчання; 2) діапазон мало змінної, монотонної поведінки функції похибки ( $\alpha=0.00002 \div 0.00025$ )–



задовільний процес навчання; 3) діапазон роздвоєння на діаграмі розгалуження ( $\alpha=0.00025\div 0.00047$ ) - процес перенавчання (Рис. 1,б); 4) діапазон хаотичної не монотонної поведінки функції похибки від  $\alpha$  ( $\alpha=0.00047\div 0.008$ ) - поява хаосу.

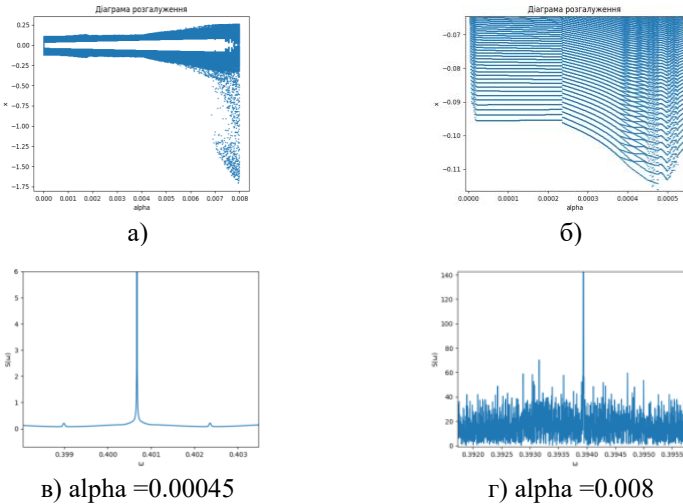


Рис. 1. Діаграму розгалуження (а), (б) (в діапазоні  $\alpha=0\div 0.00055$ ) від швидкості навчання  $\alpha$ , Фур'є спектри (в) - при перенавчанні, та (г) - в умовах хаосу, за умови 100 епох,  $\beta_1=0.9$ ,  $\beta_2=0.999$ , для цифри «0», при застосуванні оптимізаційного метода AMSGrad

Процес перенавчання супроводжується переходом через глобальний мінімум та подвоєнням кількості локальних мінімумів. Дані процеси, особливо добре проявляються при малих значеннях епох (Рис.2). Хоча і тут починає прослідковуватись і процес блокування подвоєння кількості локальних мінімумів, що унеможливує перехід системи в хаотичний стан (рис.2).

Зі збільшенням кількості епох ( $N$ ), зменшення градієнту функції похибки та збільшення величини виразу  $(1 - (\beta_1)^N)$ , за умови малих значеннях  $(1 - \beta_2)$ , зумовлює те, що градієнти стають прорідженими, оскільки співвідношення векторів першого і другого моментів утворюють блочну структуру, яка спеціалізуються на певних шаблонах. Це яскраво спостерігається при малих значеннях епох ( $N=5$  при  $\alpha>0.0017$ ; (Рис. 2)). Отже процес оптимізації проявляє себе при збільшенні кількості епох, приводячи до зменшення градієнту при наближенні до глобального мінімуму.

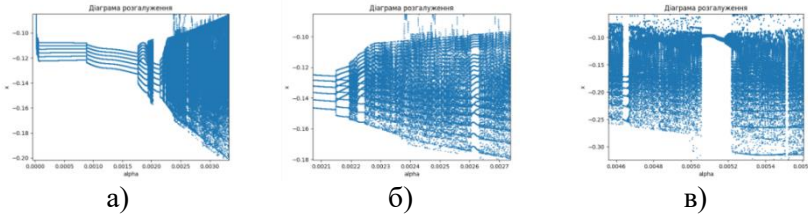


Рис. 2. Діаграму розгалуження від швидкості навчання  $\alpha$  у збільшеному варіанті, (а),(б), (в), за умови 5 епохах,  $\beta_1=0.9$ ,  $\beta_2=0.999$ , для цифри «0», при застосуванні оптимізаційного метода AMSGrad

Для аналізу блочної структури на діаграмах розгалуження, розглянемо поведінку функції похибки навчання від швидкості навчання при 10 епохах. На Рис. 3, а наведено діаграму розгалуження за умови 10 епох,  $\beta_1=0.9$ ,  $\beta_2=0.999$ , для цифри «0», та в збільшеному варіанті інтервалів існування блочної структури (Рис.3, б - й). Весь діапазон перенавчання, на діаграмі розгалуження, характеризується розбиттям на блоки (Рис.3, б). Розглянемо більш детально кожний інтервал існування блочної структури і проведемо для них аналіз Фур'є спектрів.

Слід зазначити, що метод оптимізації AMSGrad базується на аналізі цільової функції на основі значень розрахованих на попередньому кроці. Тому Фур'є спектри функції похибки розраховувались для незначного інтервалу зміни швидкості навчання в кожному блоці. Перший інтервал, це діапазон  $\alpha = 0.0002 \div 0.00075$  задовільного процесу навчання. При цьому Фур'є спектри засвідчують відсутність гармоніки. На інтервалі  $\alpha = 0.00175 \div 0.018$  простежується процес перенавчання нейронної мережі з появою роздвоєння на діаграмі розгалуження (Рис. 3, в) і другої гармоніки у Фур'є спектрах (Рис.4,а). Рухаючись далі по діаграмі розгалуження в наслідок процесу подвоєння ми попадаємо в інтервал виникнення хаотичного стану ( $\alpha = 0.001825 \div 0.01914$ ) (Рис. 3, г). Фур'є спектри хаотичного стану, згідно Рис.4,в, засвідчують, що в наслідок подвоєння кількості локальних мінімумів і не одноразового проходження через глобальний мінімум виникає хаотичний стан. Даний інтервал існування хаотичного стану характеризується областями «прозорості», де є відсутній хаотичний стан нейронної мережі. Дані області характеризуються відсутністю існування хаотичного стану, а отже і зменшенням кількості локальних мінімумів. Тобто виникаючий хаотичний стан характеризується існуванням блочної структури, яка на думку авторів складається

з областей із сталих значень кількості локальних мінімумів, а усереднене значення по даному блоку дає хаотичне значення. На користь даного припущення виступає той факт, що розглянута система є динамічною, оскільки даний метод оптимізації працює лише за умови коли наступне значення залежить від попереднього. Вхід в область хаотичного стану проходить через процес подвоєння, а поява інтервалів відсутності хаотичних розв'язків в області хаосу супроводжується різким переходом від хаосу до співвірності і навпаки.

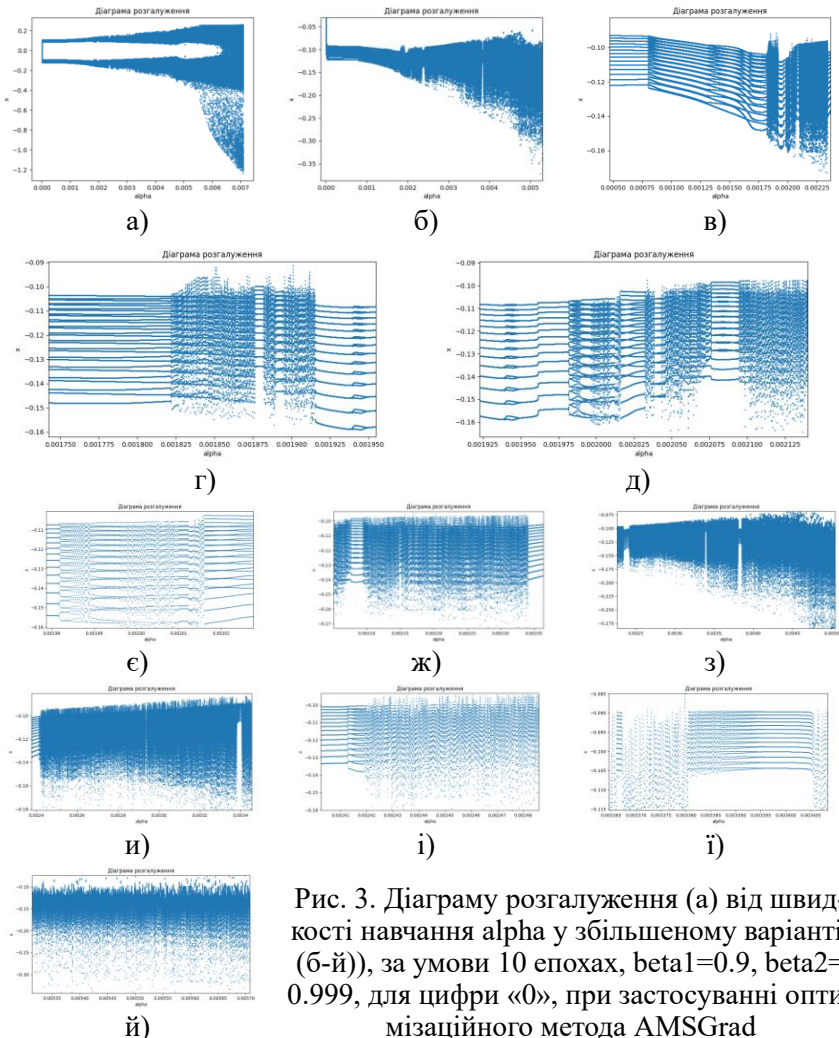


Рис. 3. Діаграму розгалуження (а) від швидкості навчання  $\alpha$  у збільшеному варіанті, (б-й)), за умови 10 епох,  $\beta_1=0.9$ ,  $\beta_2=0.999$ , для цифри «0», при застосуванні оптимізаційного методу AMSGrad

Переходячи до наступної області зміни  $\alpha = 0.001925 \div 0.001975$ , нейронна мережа характеризується відсутністю хаотичного стану (Рис. 3, г, д і Рис. 4, в). В даній області зміни  $\alpha$  Фур'є спектри цільової функції характеризуються присутністю гармоніки (Рис.4,в), а отже процес навчання нейронної мережі супроводжується перенавчанням. Згідно діаграми розгалуження даний стан нейронної мережі в цій області не є хаотичним, але характеризується процесами зародження розгалуження та його зникнення (Рис. 3, г, д). Тому Фур'є спектри цільової функції в даній області зміни швидкості навчання характеризуються появою гармоніки (Рис. 4, в), яка за величиною потужності сигналу, є на багато меншою, ніж для області зміни  $\alpha$  де простежується тільки перенавчання даної мережі (Рис. 3, в).

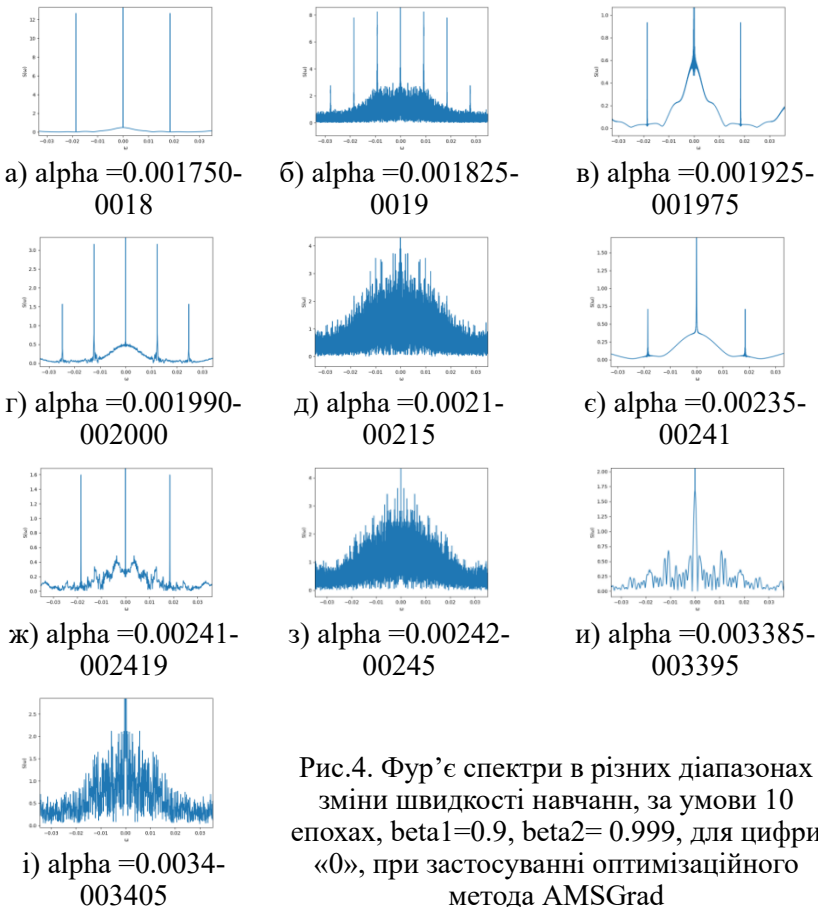


Рис.4. Фур'є спектри в різних діапазонах зміни швидкості навчання, за умови 10 епохах,  $\beta_1=0.9$ ,  $\beta_2= 0.999$ , для цифри «0», при застосуванні оптимізаційного метода AMSGrad

Наступною областю зміни  $\alpha$  є область каскадних перетворень ( $\alpha = 0.001990-0.002000$ ) наведених на Рис.3,є. Діаграма розгалуження засвідчує кілька переходів у хаотичний стан, та виходу із нього. За даних умов Фур'є спектри характеризуються появою вищих гармонік і відсутністю хаотичного стану (Рис.4,г). Для нерівноважних систем, яким притаманний хаотичний стан, відомий такий стан, який виникає при їх зародженні, і характеризується як недорозвинутим хаотичним станом. Такий стан виникає за умови коли дисипативна система характеризується втратою енергії в процесі свого розвитку. Тобто початкова область в фазовому просторі зменшується, і, нарешті, траєкторії від всіх початкових умов, узятих в певній області (басейні тяжіння), сходяться до деякого встановленого в фазовому просторі атрактора [9]. Зазвичай дисипативна динамічна система володіє тільки одним або декількома такими атракторів при певних значеннях параметрів. Відомо, що кількість атракторів зростає зі зменшенням дисипації, але хаотичних між ними мало. Це явище сильно пов'язано з кризами, які атрактор відчуває при зміні параметрів, і викликає зіткненням з межами басейну при зміні параметра нелінійності. В результаті хаотичний атрактор зникає відразу після його появи з каскаду подвоєння періоду. Зміни також відбуваються з басейнами тяжіння і межами басейнів. Перші стають досить малими для більшості співіснуючих атракторів. Тобто можна припустити що в даному інтервалі зміни  $\alpha$  може виникати стан недорозвинутого хаосу, який визначається співвідношенням оновленого експоненціального ковзного середнього градієнта ( $m_1$ ) і квадрата градієнта ( $v_1$ ). До розгляду цього нерозвиненого хаосу вернемося трохи нижче.

Переходячи до наступного інтервалу зміни  $\alpha = 0.00210 \div 0.00234$ , на діаграмі розгалуження простежується перехід до хаотичного стану через процес подвоєння кількості локальних мінімумів та неодноразового переходу через глобальний мінімум (Рис.3,ж). За даних умов, Фур'є спектри засвідчують існування хаотичного стану, однак даний хаотичний стан є відмінний від хаотичного стану який існує при  $\alpha = 0,001825 \div 0,01914$ . Ця відмінність полягає в тому, що при  $\alpha = 0,001825 \div 0,01914$  Фур'є спектри засвідчують співіснування хаотичного стану зі станом, якому притаманне існування лише кількох гармонік. Отже інтервал зміни  $\alpha = 0,001825 \div 0,01914$  можливо характеризується існуванням блочної структури.

Наступний інтервал  $\alpha = 0.00235 \div 0.00241$  (Рис. 3 ж, і) характеризується відсутністю подвоєння на діаграмі розгалуження. Фур'є спектри в даному діапазоні теж засвідчують практично відсутність гармонік (Рис. 4, є). Отже в даному інтервалі зміни  $\alpha$  ( $\alpha$

$=0.00235 \div 0.00241$ ) навчання нейромережі не характеризується перенавчанням, тобто проходить задовільний процес навчання.

Наближаючись до наступного інтервалу існування хаотичного стану ( $\alpha = 0.00241 \div 0.002419$ ), на діаграмі розгалуження спостерігається розгалуження (Рис.3, і) з появою гармоніки у Фур'є спектрах (Рис.4, ж).

Подальше збільшення швидкості навчання приводить до виникнення хаотичного стану (Рис. 3, і, ї) в діапазоні  $\alpha = 0.00242 \div 0.00338$ . Фур'є спектри, при даних значеннях  $\alpha$  також засвідчують існування хаотичного стану (Рис. 4, з,  $\alpha = 0.00242-0.00245$ ). Даний хаотичний стан нічим не відрізняється від інших хаотичних станів які виникають при  $\alpha = 0.001825-0.0019$ ,  $\alpha = 0.0021-0.00215$  (Рис.4, б, д). З подальшим збільшенням швидкості навчання, внаслідок зменшення кількості подвоєнь (згідно діаграми розгалуження Рис. 3, ї,  $\alpha = 0.003385-0.003395$ ), можливо завдяки зменшенню кількості локальних мінімумів простежується відсутність хаотичного стану. Фур'є спектрам (Рис. 4, и) даного інтервалу зміни  $\alpha$  притаманна незначна кількість гармонік, які по величині є в кілька разів менша ніж в попередніх вікнах прозорості. Подальше збільшення швидкості навчання супроводжується переходом до хаотичного стану (Рис. 3, й), який притаманний більшому діапазону зміни  $\alpha > 0.004$  (Рис. 3, з). Цікавою особливістю даного хаосу, є те, що його Фур'є спектрам не притаманне існування  $n$ - кратних гармонік. Згідно Рис. 4, і при  $\alpha = 0.0034-0.003405$  Фур'є спектр даного хаотичного стану характеризується меншою кількістю гармонік, що засвідчує існування механізму блокування виникнення локальних мінімумів.

Оскільки розглянутий метод оптимізації AMSGrad, як і Adagrad використовує різну швидкість навчання для кожного параметра  $\theta_i$  на кожному кроці [4], то ми спочатку одержимо оновлення AMSGrad для кожного параметра, яке потім векторизуємо. Для стислості ми використовуємо  $g_t$  для позначення градієнта на кроці часу  $t$ .  $g_{t,i}$  є частковою похідною цільової функції параметра  $\theta_i$  на кроці часу  $t$ . Тобто у своєму правилі оновлення AMSGrad змінює загальну швидкість навчання  $\alpha$  на кожному кроці часу  $t$  для кожного параметра  $\theta_i$  на основі попередніх градієнтів, які були обчислені для  $\theta_{i-1}$ . Отже функцію похибки, на кожному кроці слід розглядати, як набір похибок навчання на кожному нейроні. Похибка навчання на окремо взятому нейроні описується своєю функціональною залежністю, тому похибка навчання при даній швидкості і даному кроці є симбіоз від всіх нейронів, які задіяні в процесі навчання. Оскільки похибка навчання розраховується, як середньоквадратичне відхилення, то дані функціональні залежності похибки навчання на кожному нейроні є в першому

наближенні періодичними функціями з різними періодами. Тобто дані функціональні залежності характеризуються спектром значень хвильових векторів. Дані вектори характеризуються раціональними значеннями (тобто співмірними коливаннями, які визначаються кількістю нейронів в шарі і кількістю прихованих шарів). Сумарне значення хвильового вектора по такому ансамблю періодичностей може приймати, як співмірне так і неспівмірне значення.

Відомо, що в багатошарових нейромережах на корекцію ваг одного нейрона впливають всі нейрони попереднього шару. Оскільки при наближенні до глобального мінімуму цей вплив від швидкості навчання стає не однорідний, що може приводить до його ослаблення, а отже до не однорідного навчання. Ця неоднорідність повинна більше себе проявити при використанні оптимізаційних методів, які базуються на використанні алгоритму оновлює експоненціальних ковзних середніх градієнтів ( $m_t$ ) і квадрата градієнтів ( $v_t$ ) базуючись на попередніх значеннях. Тобто для таких багатошарових нейронних мереж повинна бути притаманна поява блочної структури, яка характеризується співіснуванням, як хаотичного стану так і стану, що характеризується декількома гармоніками. Виходячи із вище наведених результатів (Рис.3) даний стан можливо існує в інтервалі  $\alpha = 0.001982-0.001990$ .

## ОБГОВОРЕННЯ

Отже застосування оптимізаційного методу AMSGrad до процесу навчання багатошарової нейронної мережі приводить до виникнення блочної структури. Дана блочна структура характеризує стахостичним процес навчання нейронної мережі. А саме в певному діапазоні зміни швидкості навчання спостерігається перенавчання нейронної мережі, що супроводжується виникненням локальних мінімумів. Збільшення кількості локальних мінімумів приводить до виникнення гармонік вищого порядку. Зростання кількості подвоєн існуючих гармонік спричиняє перехід системи до хаотичного стану. Це виникає за умови, що розглянутий метод навчання нейронної мережі пов'язаний з корекцією ваг кожного нейрона при даній епосі, і на дану корекцію ваг впливають всі нейрони з попереднього шару. Отже в даному випадку функцію похибки навчання на кожному нейрані слід розглядати, як функціональну залежність яка описується набором хвильових векторів від різних періодичностей. В цьому випадку середнє значення похибки навчання по всіх нейронах можна розглядати, як усередненне значення по всіх існуючих періодичностей. А значення хвильового вектора сумарного коливання може приймати, як співмірне

так і неспівмірне значення. Так, як алгоритм AMSGrad оновлює експоненціальні середні ковзні градієнта ( $m_t$ ) і квадрата градієнта ( $v_t$ ), а гіперпараметри  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  (величина яких змінюється в інтервалі  $[0, 1)$ ) контролюють експоненціальні швидкості спаду цих середніх ковзних, то даний метод приводить до зміни спектру частот існуючих періодичностей функціональних залежностей похибки навчання кожного нейрона. Тобто проходить корекції швидкості навчання кожного нейрона, яка знімає виродженість даної системи шляхом запобігання процесам перенавчання нейронної системи.

## ПОСИЛАННЯ

1. Bordes A., Bottou L., Gallinari P. SGD-QN: Careful quasi-Newton stochastic gradient descent. *Journal of Machine Learning Research*. 2009. Vol. 10. P. 1737-1754. URL: <https://www.jmlr.org/papers/volume10/bordes09a/bordes09a.pdf>.
2. Olenych Y. et al. Features of deep study neural network. *OPEN-REVIEWHUB*. URL: <https://openreviewhub.org/lea/paper-2019/features-deep-study-neural-network#>.
3. Rudenko O., Bodianskyu E. Artificial neural networks. Kharkiv, Ukraine: SMIT Company, 2006. (Ukrainian).
4. Ruder S. An overview of gradient descent optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1609.04747*. 2016. URL: <https://ruder.io/optimizing-gradient-descent/index.html#adamax>.
5. Subotin S. Neural networks: theory and practice. Zhytomyr, Ukraine: Publisher O. O. Evenok, 2020. URL: <http://eir.zp.edu.ua/handle/123456789/6800> (Ukrainian).
6. Sveleba S. et al. Хаотичні стани багатошарової нейронної мережі. *Збірник наукових праць "Електроніка та інформаційні технології"*. 2021. №. 16. С. 20-35. <http://dx.doi.org/10.30970/eli.16.3>.
7. Sveleba, S. et al. Multilayer neural networks – as determined systems. *Computational Problems of Electrical Engineering*. 2021. Vol. 11. №2, P. 26–31. <https://doi.org/10.23939/jcpee2021.02.026>.
8. Taranenko Yu. Information entropy of chaos. URL: <https://habr.com/ru/post/447874/>.



## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ ФАКУЛЬТЕТУ

*Ольга Віталіївна Верба*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1030-4377>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Михайло Володимирович Овсов*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2571-5355>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

**Вступ.** Заклади вищої освіти є неприбутковими організаціями і здійснюють свою діяльність за рахунок коштів, які надає держава на підготовку здобувачів вищої освіти, та коштів фізичних або юридичних осіб відповідно до тарифів на навчання за рівнями вищої освіти та формами навчання. Отримані з зазначених джерел кошти розподіляються на оплату праці науково-педагогічних (педагогічних) працівників з усіма нарахуваннями та на інші витрати: комунальні платежі, капітальні вкладення, оплата праці іншого персоналу, оновлення матеріально-технічного забезпечення та інші витрати.

Одним із критеріїв аудиту оцінки ефективності роботи служб управління персоналом є критерій економічної ефективності. Сюди входить показник ефективності (відношення вартості робочої сили до отриманого результату) та вартість програми управління персоналом у розрахунку на одного працівника. Тому задача оцінювання рентабельності освітніх програм спеціальностей закладу освіти є нагальною та необхідною.

**Мета та задачі.** Необхідно розробити інформаційну модель визначення рентабельності освітньої програми спеціальності із знаходженням мінімального допустимого співвідношення кількості студентів, які навчаються в академічній групі на місцях державного замовлення, та кількості студентів, які навчаються за кошти фізичних та юридичних осіб.

Розробити програмне забезпечення із налаштуванням необхідних параметрів обчислень.

Здійснити розрахунки на реальних вхідних даних.

**Матеріали і методи.** Для розробки інформаційної системи «Рентабельність спеціальностей/факультету» були виконані наступні етапи.

Аналіз потреб та вимог організації. Фінансування закладів вищої освіти залежить від кількості здобувачів вищої освіти, які навчаються в закладі освіти за державним замовленням. Останні два роки заклади

вищої освіти розраховують необхідну кількість науково-педагогічних працівників відповідно до Постанови Кабінету Міністрів від 17.08.2002 № 1134 «Про затвердження нормативів чисельності студентів (курсантів), аспірантів (ад'юнктів), докторантів, здобувачів наукового ступеня кандидата наук, слухачів, інтернів, клінічних ординаторів на одну штатну посаду науково-педагогічного працівника у вищих навчальних закладах III і IV рівня акредитації та вищих навчальних закладах післядипломної освіти державної форми власності». За результатами надання розрахованої кількості науково-педагогічних працівників за загальним фондом (державне фінансування) профільне міністерство доводить закладам вищої освіти державне фінансування на календарний рік. Складовими витрат закладу вищої освіти є заробітна плата науково-педагогічних працівників, заробітна плата іншого персоналу із усіма нарахуваннями (єдиний соціальний внесок, матеріальна допомога на оздоровлення). До складу витрат також належать комунальні витрати і інші поточні витрати, що супроводжують освітній процес та сприятимуть розвитку закладу вищої освіти, інші супутні витрати. Держава фінансує мінімальний рівень стійкості закладу вищої освіти, надає кошти на покриття певних витрат на студентів, які навчаються за державним замовленням, а заклад вищої освіти повинен забезпечити виконання державного замовлення з випуску здобувачів освіти. Інші надходження закладу вищої освіти отримує від навчання студентів за кошти фізичних та юридичних осіб. Тобто, кошторис закладу вищої освіти складається із надходжень з державного бюджету та спеціального фонду. В найбільш критичних економічних ситуаціях держава може знизити фінансування закладів вищої освіти таким чином, що покриваються лише захищені статті бюджету, і це обов'язково необхідно враховувати закладам вищої освіти в організації своєї фінансової діяльності.

Проектування та розробка інформаційної системи. На цьому етапі було побудовано інформаційну систему «Рентабельність спеціальності/факультету», визначено три функціональні блоки, розроблено інтерфейс. Обґрунтовано розрахункові формули надходжень та витрат, за якими виконано обчислення показників ефективності на реальних даних про контингент студентів та з врахуванням поточної економічної ситуації із фінансуванням. Визначено прогнозні показники наповненості групи для забезпечення її функціонування на власних надходженнях. Систему розроблено на мові програмування Python із використанням пакету PySimpleGUI та бібліотек openpuxl та xlwings.

Впровадження та тестування. Розроблена система після тестування на різних вхідних даних та після налаштування параметрів моделі впроваджена у діяльність закладу вищої освіти.

**Результати.** За допомогою розробленого програмного забезпечення проведено обчислювальний експеримент, що містив розрахунки щодо встановлення за наявними робочими навчальними планами освітніх програм спеціальностей показників рентабельності кожної освітньої програми закладу вищої освіти та знаходження розподілу здобувачів з урахуванням джерел їх фінансування у складі академічної групи для забезпечення рентабельності освітньої програми спеціальності. Визначено показники рентабельності освітніх програм спеціальностей як в межах факультету, так і загалом по закладу вищої освіти за різними формами навчання.

**Висновки.** Інформаційна система «Рентабельність спеціальності/факультету» дозволяє розрахувати рентабельність однієї освітньої програми спеціальності, визначити співвідношення здобувачів з урахуванням джерел їх фінансування у складі академічної групи для забезпечення рентабельності освітньої програми спеціальності. Застосування інформаційної системи у діяльності закладу вищої освіти дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо перерозподілу наявних коштів закладу вищої освіти між освітніми програмами, щодо джерел фінансування «збиткових» освітніх програм спеціальностей, щодо закриття освітніх програм спеціальностей, для яких витрати на заробітну платню науково-педагогічних працівників з усіма нарахуваннями є більшими за значення показника, що встановлений закладом вищої освіти.

Впровадження цієї інформаційної системи дозволяє оцінити перспективи розвитку освітньої програми спеціальності із врахуванням показників фінансової стійкості та ефективності закладу вищої освіти для забезпечення реалізації стратегії розвитку.

## Посилання

1. Аудит і оцінювання управлінської діяльності : навчальний посібник / Н. Ю. Подольчак, В. Я. Карковська – Львів : видавництво Львівської політехніки, 2016. 128 с.

2. Економіка підприємства/ Л. Л. Лазебник, В. В. Гурочкіна, Л. В. Слюсарєва та ін.; за загальною редакцією Л. Л. Лазебник. – Ірпінь : Університет ДФС України, 2021. 426 с.

## **ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ МАШИННОГО НАВЧАННЯ SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ ЗАДЛЯ ВИРІШЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ОБРАННЯ ПРОФЕСІЙ МЕДИЧНОГО НАПРЯМКУ**

*Олексій Миколайович Измалков*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3732-7474>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

В теперішній час задля автоматизації машинного навчання необхідно проаналізувати їх переваги та недоліки для автоматизації машинного навчання.

Існує кілька алгоритмів машинного навчання, які можна використовувати для аналізу даних, зібраних з анкети та датчиків, щоб визначити шаблони, які можуть вказувати на придатність людини до різних медичних професій.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Визначення найкращого алгоритму для аналізу задля обрання найкращої практики.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ**

Для досягнення даної мети та задачі використовуються можливості Машини опорного вектору (SVM). Вбудовані алгоритми алгоритм можна застосовувати, наприклад, для класифікації людей у різні медичні професії на основі їхніх психофізичних рис.

Random Forest – цей алгоритм можна використовувати для визначення найважливіших психофізичних рис, які вказують на придатність людини до різних медичних професій. Він працює шляхом створення гіперплощини, яка розділяє дані на різні класи шляхом побудови кількох дерев рішень і агрегування їхніх прогнозів.

Такі моделі можна навчити на даних, зібраних із датчиків, щоб передбачити придатність людини до різних медичних професій. Точність прогнозів можна підвищити шляхом оптимізації гіперпараметрів алгоритмів і використання таких методів, як перехресна перевірка, для оцінки їх продуктивності.

## SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)

Support Vector Machine (SVM) — це популярний алгоритм машинного навчання, який використовується для класифікації та регресійного аналізу. Це контрольований алгоритм навчання, який можна використовувати для бінарної класифікації, багатокласової класифікації та завдань регресії.

Основною метою SVM є знаходження оптимальної гіперплощини у просторі з високою розмірністю, яка найкращим чином розділяє дані різних класів. Головна ідея полягає в тому, що SVM знаходить найширшу можливу гіперплощину, яка відокремлює класи один від одного, і максимізує відстань (заздалегідь визначений як "проміжок") між цією гіперплощиною та найближчими до неї точками обох класів. Ці точки, які лежать найближче до гіперплощини, називаються опорними векторами.

У SVM кожна точка даних представлена як вектор у просторі великої розмірності, і алгоритм намагається знайти найкращу гіперплощину, яка розділяє точки даних різних класів. Гіперплощина вибирається таким чином, щоб максимально збільшити відстань між найближчими точками даних різних класів. Ці найближчі точки даних називаються опорними векторами, звідси й назва опорна векторна машина.

SVM використовує функцію ядра для перетворення точок даних у простір більшої розмірності, де їх легше розділити. Найпоширенішими ядерними функціями є ядра лінійної, поліноміальної та радіальної базисної функції (RBF).

Коли гіперплощину знайдено, SVM може класифікувати нові точки даних залежно від того, з якого боку гіперплощини вони розташовуються. SVM також можна використовувати для завдань регресії, знаходячи найкраще підходящу гіперплощину, яка мінімізує похибку між прогнозованими та фактичними значеннями.

SVM має кілька переваг, таких як ефективність у просторах великої розмірності, хороша продуктивність узагальнення та здатність обробляти нелінійно розділені дані. Однак SVM може бути чутливим до вибору функцій і параметрів ядра, і це може бути обчислювально дорогим для великих наборів даних.

Загалом SVM — це потужний алгоритм машинного навчання, який можна використовувати для різноманітних завдань класифікації та регресії. Його здатність обробляти багатовимірні та нелінійно розділені дані робить його популярним вибором у багатьох програмах. Розглянемо приклад алгоритму для опорної векторної машини (SVM):

1) Ініціалізуйте модель SVM за допомогою типу ядра (лінійна, поліноміальна, радіальна базисна функція тощо) та параметра регуляризації (C).

2) Розділіть дані на навчальні та тестові набори.

3) Навчіть модель SVM на навчальному наборі за допомогою функції `fit()`.

4) Передбачте мітки класів для тестового набору за допомогою функції `predict()`.

5) Обчисліть точність моделі SVM, порівнявши передбачувані мітки класу з фактичними мітками класу в наборі для тестування.

6) Якщо точність незадовільна, налаштуйте параметри моделі SVM (тип ядра та параметр регуляризації) і повторюйте кроки 3-5, доки не буде досягнуто задовільної точності.

Використовуємо мову програмування Python для реалізації SVM за допомогою бібліотеки `scikit-learn`:

```
from sklearn import svm
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import accuracy_score
# Load the dataX, y = load_data()
# Split the data into training and testing sets
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X,
y, test_size=0.2, random_state=42)
# Initialize the SVM model with a linear kernel and
regularization parameter C=1
clf = svm.SVC(kernel='linear', C=1)
# Train the SVM model on the training set
clf.fit(X_train, y_train)
# Predict the class labels for the testing set
y_pred = clf.predict(X_test)
# Calculate the accuracy of the SVM model
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
# Print the accuracy
print("Accuracy:", accuracy)
```

Random Forest— це популярний алгоритм машинного навчання, який використовується як для завдань класифікації, так і для регресії. Він належить до категорії методів ансамблевого навчання, де для прогнозування використовуються кілька дерев рішень.

Алгоритм працює шляхом створення лісу дерев рішень, де кожне дерево навчається на випадковій підмножині навчальних даних і випадковій підмножині функцій. Під час процесу навчання алгоритм ітеративно вибирає найкращу точку розділення для кожної функції та створює дерево рішень, яке найкраще відповідає даним.

Щоб зробити прогноз, алгоритм запускає вхідні дані через кожне дерево рішень у лісі та обчислює середнє значення прогнозованих значень з усіх дерев. Це допомагає зменшити переобладнання та підвищити точність моделі.

Однією з ключових переваг Random Forest є те, що він може обробляти велику кількість вхідних функцій і може виявляти взаємодії функцій, які можуть бути пропущені іншими алгоритмами машинного навчання. Він також стійкий до зашумлених даних і може обробляти відсутні значення у вхідних даних.

Random Forest успішно застосовувався в різних сферах, включаючи біоінформатику, фінанси та класифікацію зображень. Однак це може бути дорогим з точки зору обчислень і може потребувати великого обсягу пам'яті для зберігання лісу дерев рішень.

Random Forest — це тип алгоритму машинного навчання, який використовується для завдань класифікації та регресії. Він заснований на концепції дерев рішень, які є діаграмами, які допомагають у прийнятті рішень, розбиваючи проблему на серію запитань «так чи ні». У Random Forest замість одного дерева рішень у нас є ліс дерев рішень. Кожне дерево в лісі вирощується незалежно, використовуючи підмножину навчальних даних і випадкову підмножину ознак. Цей процес допомагає зменшити переобладнання та підвищити точність моделі.

Коли ми хочемо класифікувати нову точку даних, ми вводимо її в усі дерева рішень у лісі та приймаємо більшість голосів, щоб визначити остаточну класифікацію. Такий підхід допомагає підвищити надійність і точність моделі.

Наприклад, передбачення, чи є у пацієнта діабет чи ні, на основі його віку, ІМТ та рівня цукру в крові. Ми можемо навчити модель, використовуючи історичні дані про пацієнтів із відомим статусом діабету. Модель вивчатиме зв'язок між віком, ІМТ, рівнем цукру в крові та ймовірністю діабету. Коли модель навчена, ми можемо використовувати її, щоб передбачити, чи є у нового пацієнта діабет чи ні, на основі його віку, ІМТ та рівня цукру в крові. Модель аналізуватиме дані нового пацієнта та використовуватиме дерева рішень у лісі, щоб зробити прогноз. Потім ми можемо використовувати цю інформацію для надання індивідуальної медичної допомоги пацієнту.

```
python
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.datasets import load_iris
# Load the iris dataset
iris = load_iris()
# Split the data into training and testing sets
```

```
X_train, X_test, y_train, y_test =  
train_test_split(iris.data, iris.target,  
test_size=0.3)  
# Initialize the Random Forest classifier with 100  
trees  
rf = RandomForestClassifier(n_estimators=100)  
# Train the classifier on the training data  
rf.fit(X_train, y_train)  
# Use the classifier to predict the target values for  
the testing data  
y_pred = rf.predict(X_test)  
# Print the accuracy score of the classifier on the  
testing data  
print("Accuracy:", rf.score(X_test, y_test))
```

У цьому прикладі ми спочатку завантажуюємо набір даних і розділяємо його на навчальний і тестовий набори. Потім ми ініціалізуємо класифікатор випадкового лісу зі 100 деревами та навчаємо його на навчальних даних. Нарешті, ми використовуємо класифікатор для прогнозування цільових значень для даних тестування та друкуємо оцінку точності класифікатора на даних тестування. Цей класифікатор дозволяє визначити ймовірність та похибку вимірювання що надає повний спектр дослідження та аналіз задачі та дослідження.

## ВИСНОВОК

Ці алгоритми можна навчити на даних, зібраних з анкети та датчиків, щоб передбачити придатність людини до різних медичних професій. Точність прогнозів можна підвищити шляхом оптимізації гіперпараметрів алгоритмів і використання таких методів, як перехресна перевірка, для оцінки їх продуктивності. Для подальшого дослідження будуть використовуватися нові алгоритми та формули задля забезпечення більш точного аналізу даних та аналізу інших дослідження в рамках наукової роботи.

## ПОСИЛАННЯ

1. "Support Vector Machines for Pattern Classification" by Shigeo Abe and Yoichi Takenaka
2. "Support Vector Machines: Theory and Applications" by S. Sathiya Keerthi and C. J. Lin: This book offers a detailed treatment of SVMs, exploring both the theoretical foundations and practical aspects.



## ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕКОНОМІКИ КОСМОСУ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ КРАЇН

*Лариса Леонтіївна Антонюк*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6921-2800>

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, Київ

*Ганна Валеріївна Нямецук*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3199-8988>

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро

### Вступ

Сьогодні, коли глобалізоване суспільство потерпає від пандемії, голоду, економічної нерівності, нераціонального використання природних ресурсів, зміни клімату, урбанізації, військових конфліктів, гібридних загроз надактуальним постає питання досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР). Важливим інструментом цього є діяльність щодо освоєння і використання космічного простору. Тому довгострокова стійкість такої діяльності має бути предметом спільних зусиль як вже зрілих її учасників, так і «новачків».

### МЕТА І ЗАДАЧІ

Метою наукової статті є обґрунтування необхідності трансформаційних процесів економіки космосу в контексті сталого розвитку країн.

Для досягнення визначеної мети поставлено такі завдання: ідентифікувати основних стейкхолдерів, що опікуються питаннями сталого провадження діяльності щодо використання космічного простору, та основні форми їх взаємодії; з'ясувати сутність та основні виклики такої діяльності сучасному глобалізованому суспільству; визначити основні напрями забезпечення сталого розвитку космічної діяльності.

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Інформаційну основу проведеного наукового дослідження становлять матеріали глобальних інституцій, профільних міжнародних міжурядових організацій та національних космічних агенцій. Методологічний апарат дослідження становлять: діалектичний метод пізнання, систематизації та узагальнення, індукції, дедукції, аналізу і

синтезу. Використання та комбінування згаданих методів дослідження дало змогу отримати обґрунтовані висновки та результати, що викладено у статті.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Пошук тематичних інформаційних ресурсів за допомогою інструментів Google видає як результат запиту «space sustainability» публікації ключових зацікавлених стейкхолдерів: Управління з питань космічного простору ООН [*United Nations*], Secure World Foundation [*Secure World*], Всесвітній економічний форум (ВЕФ) [*The World Economic*], Європейське космічне агентство (ЄКА) [*The European Space*], MIT Media Lab [*MIT Media*], McKinsey & Company [*McKinsey*], Airbus [*Airbus*], ОЕСР [*OECD*] та численних інших. Цей факт дозволяє нам окреслити наступні реалії.

Стала діяльність щодо використання космічного простору становить порядок денний глобальних інституцій, міжнародних міжурядових організацій, національних космічних та консалтингових агенцій, науково-освітніх установ, приватних спеціалізованих компаній.

Ідентифіковані стейкхолдери здійснюють таку діяльність на принципах взаємодії, міжнародного сприяння та спільних зусиль. Зокрема, Управлінням з питань космічного простору ООН, у співробітництві з ЄКА та Космічним агентством Об'єднаного Королівства, розроблено Керівні принципи забезпечення довгострокової стійкості космічної діяльності Комітету з використання космічного простору в мирних цілях [*United Nations*]. Secure World Foundation разом з НАСА розроблено Практичне керівництво зі сталого провадження космічної діяльності [*A Practical Guide*]; спільно з Космічним агентством Об'єднаного Королівства, «United Launch Alliance» та іншими учасниками проводяться Саміти з космічної стійкості [*Space sustainability 101*]. Спільними зусиллями учасників ОЕСР реалізується міждисциплінарний проєкт «ОЕСР Космічний Форум», мета якого – вивчення економічних аспектів провадження сталої космічної діяльності та сприяння академічним дослідженням в цій сфері [*OECD*]. Консорціум у складі Ради з глобального майбутнього Всесвітнього економічного форуму, ЄКА, Массачусетського технологічного університету, Техаського університету і компанією «Bruce Space and Technology» провадять місію Рейтинг сталої космічної діяльності [*Space sustainability rating*]. Разом із компанією Airbus і науковою установою MIT Media Lab в рамках цієї місії здійснюється оцінювання зусиль учасників діяльності щодо використання космічного простору із забезпечення довгострокової стійкості і відповідності

міжнародним рекомендаціям [*Protecting the space*]. Чисельність асоційованих учасників згаданого консорціуму систематично зростає, так само, як і кількість акторів, що бажають пройти рейтингування [*Leading the path towards*].

Широке коло зацікавлених стейкхолдерів та диференціація форм їх взаємодії акцентують увагу наукового дослідження на сутності сталого розвитку діяльності щодо використання космічного простору. За визначенням ООН, «довгострокова стійкість космічної діяльності визначається як здатність підтримувати здійснення космічної діяльності у подальшому до безкінечності в такий спосіб, аби забезпечувати досягнення цілей справедливого доступу до вигід від дослідження і використання космічного простору в мирних цілях, аби задовольнити потреби сучасного покоління, зберігаючи при цьому космічне середовище для наступних поколінь» [*United Nations, c. 2*]. Secure World Foundation оперує поняттям «сталість космічної діяльності», під яким розуміється «забезпечення того, щоб усе людство могло продовжувати використовувати космічний простір у мирних цілях і для отримання соціально-економічної вигоди зараз і в довгостроковій перспективі» [*A Practical Guide, c. 4*]. Основу для безпечності, надійності та мирного характеру використання космічного простору створює міжнародна співпраця, багатосторонній діалог та угоди на вищому рівні.

Центральним питанням сталої діяльності щодо використання космічного простору є попередження утворення та зменшення кількості космічного сміття. Саме тому значним викликом є зростаюча чисельність учасників такої діяльності, кількість і диференціація пропонованих місій, бо нестабільні космічні операції спричиняють збільшення кількості космічного сміття. Станом на 2022 р. 87 країн світу мали супутники, виведені на орбіти, а кумулятивний показник кількості об'єктів, запущених у космос, становив 14,281 од. [*Earth's Orbits at, Cumulative number*]. При цьому, на LEO-орбітах дрейфують близько 20 тис. од. об'єктів, спричиняючи зіткнення між собою та подальше подрібнення [*Making space more*]. Станом на грудень 2020 р., на 2,7 тис. од. працюючих космічних супутників у космічному просторі припадало 8,8 тис. т космічного сміття. Для моніторингу із Землі доступними є ступені ракетоносіїв (близько 1,95 тис. од.), нефункціонуючі супутники (2,85 тис. од.), великі частини сміття різного походження (21 тис. од.). Кількість фрагментів сміття, що мають розмір 10 см та менше, обчислена статистичними інструментами гіпотетично, досягає майже 129 млн од. [*UNOOSA and ESA*].

Кожен активний супутник ЄКА, в середньому, двічі на рік виконує маневри для уникнення зіткнення із космічним сміттям, що призводить до витрат додаткових ресурсів: часових – на моніторинг,

обчислення потенційних ризиків і прокладення нового маршруту; матеріальних – на додаткове пальне для маневрів; інтелектуальних – через тимчасове вимкнення інструментів спостереження та неотримання даних [*UNOOSA and ESA*].

Актуальні інноваційні проєкти ЄКА мають за мету удосконалення процесу виробництва космічних кораблів і супутників, зокрема програмування таких об'єктів на повернення в атмосферу Землі по завершенні місії та забезпечення розпадання конструкцій на менші частини для покращення ефективності згоряння. Нові вимоги висуваються й до керування космічними літальними апаратами: набуває важливості реєстрація пусків в UNOOSA для моніторингу траєкторії польоту, її оперативного коригування до малозаселених регіонів земної кулі на випадок падіння залишків, забезпечення можливості повторного спрямування об'єктів в атмосферу Землі [*UNOOSA and ESA*]. При цьому важливим є демонстрація учасниками космічної діяльності зобов'язань щодо сталого розвитку за допомогою спеціалізованої системи показників [*Leading the path*], та вживання заходів щодо попередження утворення космічного сміття.

Питання трансформації економіки космосу в контексті сталого розвитку країн буде загострюватись, бо, за прогнозами команди Morgan Stanley, до 2040 р. очікується зростання обсягів комерційних операцій до близько 1 трлн. дол. США, а за прогнозами Bank of America цей показник буде досягнуто вже у 2030 р. (для порівняння: у 2016 р. – 350 млрд. дол. США, у 2021 р. – 469 млрд. дол. США) [*The Space Economy's; Transforming space*]. З початку ХХ ст. відбулася модифікація структури загального обсягу об'єктів на орбіті на користь комерційних місій (співвідношення місій «некомерційна – комерційна» становила у 2000 р. 10:3, 2020 р. – 1:13) [*UNOOSA and ESA*]. Нарощуються наукові розробки і виробництво нових ракетноносіїв (у 2022 р. – 15 нових моделей) [*The Space Report*]. Подальше збільшення частки «недержавного» сектору космічної діяльності сприятиме лише прискореному зростанню зазначених показників.

## ВИСНОВКИ

Отримані результати проведеного наукового дослідження дозволили авторам сформулювати такі висновки:

- стала діяльність щодо використання космічного простору становить порядок денний глобальних інституцій, міжнародних міжурядових організацій, національних космічних та консалтингових агенцій, науково-освітніх установ, приватних спеціалізованих компаній. Ідентифіковані стейкхолдери взаємодіють в рамках спільних науково-

дослідних проєктів, міжнародних місій, обговорень на вищому рівні, спеціалізованих консорціумів;

- викликом сталого розвитку космічної діяльності є зростаюча чисельність її учасників, кількість і диференціація пропонованих місій, нестабільні космічні операції, що здійснюються недостатньо досвідченими акторами. Результатом цих викликів є зростаюча кількість космічного сміття, перш за все на ЛЕО-орбітах, кліматичні зміни, підвищення ризиків небезпеки та вартості місій, що провадяться. Сутність сталої космічної діяльності полягає в забезпеченні здатності у коротко- і довгостроковій перспективі використовувати космічний простір, дотримуючись цілей справедливого доступу і мирного освоєння;

- основними напрямками забезпечення сталого розвитку космічної діяльності є удосконалення процесу виробництва космічних кораблів і супутників, їх програмування на повернення в атмосферу Землі по завершенні місії та забезпечення розпадання конструкцій на менші частини для покращення ефективності згоряння, реєстрація пусків об'єктів для моніторингу траєкторії польоту, демонстрація учасниками космічної діяльності зобов'язань щодо сталого розвитку.

Отримані результати наукового дослідження спонукають до подальших пошукувань у предметній області позицій України у сучасних реаліях економіки космосу та в контексті сталого розвитку глобалізованого суспільства.

## ПОСИЛАННЯ

1. United Nations: Office For Outer Space Affairs. *Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*. URL: [https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2021/stspace/stspace79\\_0\\_html/st\\_space79E.pdf](https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2021/stspace/stspace79_0_html/st_space79E.pdf).

2. Secure World Foundation. *Space sustainability 101*. URL: <https://swfound.org/space-sustainability-101/>.

3. Secure World Foundation. *Space sustainability. A Practical Guide*. URL: [https://swfound.org/media/206407/swf\\_space\\_sustainability\\_booklet\\_2018\\_web.pdf](https://swfound.org/media/206407/swf_space_sustainability_booklet_2018_web.pdf).

4. The World Economic Forum. *Space sustainability rating*. URL: <https://www.weforum.org/projects/space-sustainability-rating>.

5. The European Space Agency. *Making space more sustainable, one rating at a time*. URL: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Preparing\\_for\\_the\\_Future/Space\\_for\\_Earth/Making\\_space\\_more\\_sustainable\\_one\\_rating\\_at\\_a\\_time](https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Making_space_more_sustainable_one_rating_at_a_time).

6. MIT Media Lab. *Space sustainability rating*.

URL: <https://www.media.mit.edu/projects/ssr-space-sustainability-rating/overview/>.

7. McKinsey & Company. The role of space in driving sustainability, security, and development on Earth. URL: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/aerospace%20and%20defense/our%20insights/the%20role%20of%20space%20in%20driving%20sustainability%20security%20and%20development%20on%20earth/the-role-of-space-in-driving-sustainability-security-and-development-on-earth-vf.pdf>.

8. Airbus. Protecting the space environment. Mitigating debris in space. URL: <https://www.airbus.com/en/sustainability/respecting-the-planet/protecting-the-space-environment>.

9. OECD. Earth's Orbits at Risk. The Economics of Space Sustainability. URL: <https://www.oecd.org/sti/innospace-forum/earth-s-orbits-at-risk-16543990-en.htm>.

10. OECD. Space Sustainability the Economics of Space Debris in Perspective. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/a339de43-en.pdf?expires=1685214676&id=id&accname=guest&checksum=9A52B81AB878ADD96788C94FE4AE3C1E>.

11. Space Sustainability Rating. Leading the path towards a more sustainable use of space. URL: <https://spacesustainabilityrating.org/#>.

12. Our World in Data. Cumulative number of objects launched into space. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/cumulative-number-of-objects-launched-into-outer-space>.

13. The United Nations Office for Outer Space Affairs. UNOOSA and ESA space debris infographics and podcasts. URL: <https://www.unoosa.org/oosa/en/informationfor/media/unoosa-and-esa-release-infographics-and-podcasts-about-space-debris.html>.

14. Morgan Stanley. The Space Economy's Next Giant Leap. URL: <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy>.

15. Bank of America. Transforming space. The new space era: Expansion of the space economy. URL: <https://business.bofa.com/en-us/content/bank-of-america-institute/transformation/expansion-of-the-space-economy-january-2023.html>.

16. Space Foundation. The Space Report. URL: <https://thespacereport.org/about-memberships/>.

## ТЕАТРАЛІЗАЦІЯ КОНТЕКСТУ ДОСВІДУ СПОЖИВАННЯ ПРОДУКТІВ КУЛЬТУРИ

*Роман Анатолійович Павлов*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7629-2730>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Тетяна Сергіївна Павлова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7178-3573>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Маркетинг виробництва досвіду більше зосереджений на контексті, у якому він відбувається, а саме, на різних інструментах, які можна використовувати практиками до створення варіантів змістів досвіду [5-6].

Дослідження, які ґрунтуються на досвідному підході до контексту споживання, часто використовують театральну метафору, щоб показати як теоретичний, так і управлінський потенціал театралізації змісту споживчого досвіду. У роботі [5] зроблено спробу чіткіше описати можливі дії компаній для створення контексту досвіду, об'єднавши їх у три групи:

1. Створення «декорації». Такий набір дій полягає у контролі за постановкою досвіду. «Сценічне» оформлення переважно концентрується навколо місця продажу товару. «Повторне зачарування» у межах досвіду має відбивати позиціонування компанії та бути прибутковим. Оцінка коефіцієнта конверсії відвідувань у реальні продажі може дати можливість опосередковано контролювати ефективність цього набору дій.

2. Формування «інтриги». Метою є створення історії навколо продукту. Компанії намагаються інформувати споживача про походження, життя та перспективи розвитку продукту (бренду), наприклад, пов'язуючи його з подіями, які заохочують прагнення покупця до гедонізму та демонструють продукт (бренд) у певному контексті.

3. Дії, які спрямовані на сприяння відносинам суб'єкт-продукт (суб'єкт-бренд), тобто споживчий досвід буде задоволеним, якщо споживач відчуває зв'язок із «декораціями» та запропонованим йому продуктом.

Для даного наукового напрямку уявлення про досвід як категорію продукту може обмежити управлінський потенціал тематичних досліджень. Тому в роботі [5] пропонується розглядати комерційні пропозиції на континуумі досвіду, де крайнощі варіюються від продукту із внутрішньою функціональністю (наприклад, борошно) до продукту

із внутрішньою складовою досвіду, такого як культурні продукти (наприклад, концерт). Між цими двома крайнощами компанія може прагнути театралізувати свою комерційну пропозицію шляхом створення «декорації», формуванням «інтриги» та встановленням зв'язку між продуктом та споживачем (рис. 1).

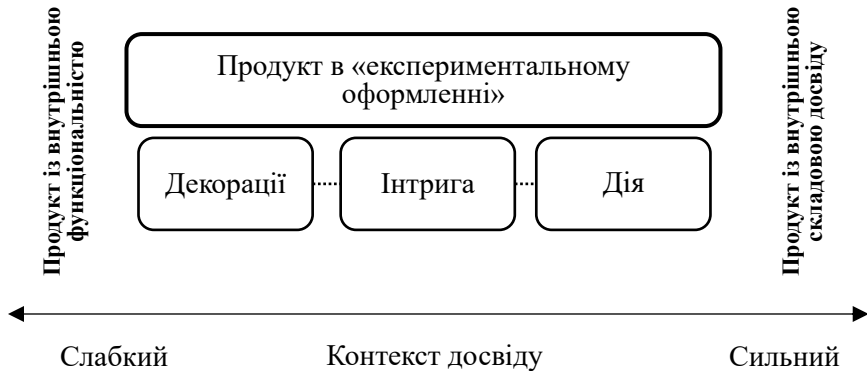


Рисунок 1. Континуум виробництва досвіду  
Складено на основі узагальнення та адаптації [5-6]

Така перспектива маркетингу виробництва досвіду відкриває безліч різноманітних сфер застосування [1-3; 8]. Фактично, театралізація оточення досвіду зачіпає багато вимірів – культурних та інших, починаючи від створення так званих імерсивних сценографій у музеях до роздрібної торгівлі.

Проте театралізація в таких випадках звужується до ізольованих, тематичних і безпечних просторів. Метою виробництва досвіду є занурення споживача у гіперреальний світ [7]. Для цього необхідно, щоб обрії такого досвіду було визначено, наприклад, у межах комерційного об'єкта чи музею. Досвід вважається тематизованим, коли ці межі відрізняються від повсякденного життя споживача. У цьому сенсі тематизація меж досвіду має дозволити споживачеві зосередити увагу саме на ньому і не викликати занепокоєння. Дослідження, що йдуть у цьому напрямі, в меншій мірі сфокусовані на способах занурення споживача у досвід, а більше висвітлюють аспекти створення певних меж досвіду [9].

Маркетинг виробництва досвіду здається вихідним з припущення, що він створює і управляє ним, тоді як насправді може лише управляти і створювати його контексти. У зв'язку з цим стає необхідним розрізняти контексти досвіду, що знаходяться під контролем суб'єкта підприємства, та такі, що знаходяться поза його контролем



[6-7]. Контексти досвіду, що знаходяться під контролем суб'єкта підприємництва, стосуються головним чином двох з чотирьох ідентифікованих в роботі [4] фаз досвіду: досвіду купівлі та в деяких випадках досвіду споживання. Проте, контроль є вкрай частковим, оскільки він обмежується місцем продажу або продуктами, споживання яких обов'язково здійснюється у торгових та/або культурних просторах.

## ПОСИЛАННЯ

1. Павлов Р.А., Павлова Т.С. Образ постмодерністського споживача продуктів культури. *Підприємництво: сучасні виклики, тренди та трансформації*: монографія / за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. Т. Гринько. Дніпро: Видавець Біла К.О., 2023. С. 310–333.

2. Павлова Т.С., Павлов Р.А., Левкович О.В. Моделі споживання коміксів як варіант постмодерністської соціально-економічної комунікації. *Управління розвитком суб'єктів підприємництва в умовах викликів XXI століття*: колект. моногр. / за заг. ред. Т.В. Гринько. – Дніпро: Біла К.О., 2019. С. 313-324.

3. Гудошник О.В. Крупський, О.П. Медійні можливості коміксів: сучасні інструменти формування та представлення організаційної культури. *European Journal of Management Issues*. 2023. № 31(1). С. 40–49. <https://doi.org/10.15421/192304>

4. Arnould E.J., Price L., Zinkhan G.M. Consumers (2nd ed.). New York: McGraw-Hill, 2004. 896 p.

5. Filser M. Le marketing de la production d'expérience: Statut théorique et implications managériales. *Décisions Marketing*. 2002. № 18. P. 13–22. URL: <http://www.jstor.org/stable/40592824>.

6. Filser M., Roederer C. L'expérience: objet académique et réalités managériales. Caen: EMS Editions, 2021. 334 p.

7. Fuschillo G., Cayla J., Cova, B. Brand magnification: when brands help people reconstruct their lives. 2022. *European Journal of Marketing*, № 56(3). P. 768–798. <https://doi.org/10.1108/ejm-09-2020-0722>

8. Hudoshnyk, O.V., Krupskiy O.P. Science and comics: from popularization to the discipline of Comics Studies. *History of Science and Technology*. 2022. № 12(2). P. 210–230. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2022-12-2-210-230>

9. Mencarelli R., Chaney D., Pulh M. Consumers' brand heritage experience: between acceptance and resistance. *Journal of Marketing Management*. 2019. № 36(1–2). P. 30–50.

## РЕНДЕРІНГ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ТІЛ

*Владислав Вікторович Жушман*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7292-5879>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Складною але актуальною є проблема візуалізації задач механіки контактної взаємодії, а також розробка практичних методик, які дозволяють інтерпретувати візуалізовані дані. Низка нерозв'язаних теоретичних, методичних й обчислювальних проблем тривимірної візуалізації звужує сферу її застосування. Тому безперечно актуальним є створення ефективних методів та алгоритмів чисельного моделювання та візуалізації задач механіки контактної взаємодії, а також розробка відповідного програмного забезпечення для вирішення важливих практичних проблем. Якщо відбувається, наприклад, деформація деякого об'єкту, то у цьому випадку, дослідник має змогу побачити і проаналізувати навіть сам процес деформації.

Все більш популярним стає процес 3D-моделювання. У комп'ютерній графіці, це процес розробки математичного представлення будь-якої тривимірної поверхні об'єкта за допомогою програмного забезпечення. Продуктом моделювання є 3D-модель. За допомогою 3D моделювання, візуалізації і прототипування, можна детально вивчити модель об'єкта, внести необхідні зміни, оцінити ергономічність і функціональність, змінити дизайн виробу, створити фотореалістичні зображення та інше. Рендерінг – етап у комп'ютерній графіці, який забезпечує обробку 3D-моделі виробу за допомогою спеціалізованих програмних середовищ. Модуль, який виконує рендерінг, називають рендером. Дуже важливо ретельно відпрацьовувати аналіз етапів перетворення звичайної 3D-моделі до максимально реалістичної, використовуючи при цьому різні методи систем автоматизованого проектування. Це допомагає покращити якість зображення та отримати значно більше уявлення про модель, оцінити її зовнішній вигляд та процес моделювання, а також, деталізувати параметри розробки.

Існуює ряд пакетів тривимірного моделювання, що мають власні рендерери. Наприклад: Blender [1]; Realsoft 3D; SketchUp; Terragen; Autodesk 3ds MAX (Scanline); Autodesk Maya (Maya Software, Maya Hardware, Maya Vector) [2]; Luxology Modo[3]; SideFX Houdini [4] та ін.

Рендерінг передбачає створення 3D-моделі та її переведення у 2D-зображення з 3D-фотореалістичними ефектами або без фотореалістичної візуалізації на комп'ютері. Процес починається з налаштування моделі з освітленням і властивостями матеріалу, які потім

застосовуються у віртуальній сцені. Після створення сцени модель «відтворюється» за допомогою рендером, що часто вимагає значної обчислювальної потужності. Програми візуалізації обчислюють затінення, змішування та колір кожного пікселя на зображенні.

У механіці контактної взаємодії 3D моделювання використовується дуже широко, в різних сферах, включаючи автомобільну, авіаційну та медичну техніку. За допомогою 3D геометрії інженери можуть створювати конструкції з точними специфікаціями, включаючи розмір, форму, кути тощо. Це дозволяє досягати більш високої точності та ефективності при проектуванні.

ANSYS [7] – це сучасне та широко використовуване програмне забезпечення, яке застосовується інженерами та науковцями для створення, аналізу та оптимізації 3D-геометрій та компонентів [5]. Воно надає потужні засоби для створення та симуляції поведінки структур, машин та систем. Також цей програмний комплекс надає широкий набір актуальних можливостей, таких як аналіз скінченних елементів (FEA) та мульти-фізичне моделювання та інші. Використання ANSYS для статичного структурного аналізу стає все більш популярним серед механіків та інженерів, які потребують оцінювати та оптимізувати продуктивність складних конструкцій. ANSYS це потужний пакет програмного забезпечення, який дозволяє користувачам створювати детальну комп'ютерну модель структури і проводити різні аналізи на ній. Даний програмний комплекс здатен обробляти широкий діапазон вимог до проектування, що дозволяє інженерам досліджувати складні форми та матеріали. Точність результатів також дуже висока – симуляції можуть бути використані для передбачення поведінки структур на різних навантаженнях та умовах навколишнього середовища. Це включає в себе статичний структурний аналіз, який використовується для оцінки статичних властивостей конструкцій з урахуванням зовнішніх навантажень, таких як гравітація, вітер або інші види навантажень.

Комп'ютерне моделювання процесів контактної взаємодії є потужним інструментом для аналізу впливу навантажень на контактуючі об'єкти. Воно надає числові дані про напруження та деформації, що дозволяє приймати інформовані рішення при складанні ревізій проекту. Моделювання є корисним в ситуаціях, коли є недостатні або неповні дані та допомагає визначити потенційні точки поломки. Нарешті, наведений метод може використовуватися для перевірки точності даних проекту. За рахунок порівняння результатів аналізу скінченних елементів з даними проекту, можуть бути виявлені і вирішені недоліки без витрат на створення реального протопиту. Цей вид аналізу допомагає бути впевненим, що проект відповідає всім потрібним

специфікаціям по проходженню і зменшує ризик діагностування дизайну. В результаті, тривимірне комп'ютерне моделювання контактних задач дає інженерам і науковцям корисний інструмент, щоб аналізувати вплив навантажень на досліджувану конструкцію. Воно може бути використано для різних цілей, включаючи машинобудівництво, громадське будівництво, аерокосмічну техніку, робототехніку та автомобільну техніку.

Авторами за допомогою метода скінчених елементів було розв'язано ряд задач взаємодії штампів складної форми з пружним напівпростором. Розглядалися штампи як канонічної так і неканонічної форми. До системи прикладалися різні типи навантажень [5,6]. Особливе значення процес рендерінгу відігравав на етапі визначення невідомих зон локалізації міжповерхневих просвітів та проковзування. Авторами було проаналізовано еволюцію ділянок проковзування під час різного силового навантаження.

Візуальне представлення рендерів моделей взаємодій контактуючих тіл надало додаткові можливості зрозуміти їх, сам процес взаємодії і його особливості для тіл складної форми, що за відсутності експериментальної бази уможливило уточнення отриманих чисельних результатів.

## ПОСИЛАННЯ

1. Blender. URL: <https://www.blender.org> (дата звернення: 25.05.2023).
2. Autodesk. URL: <https://www.autodesk.com> (дата звернення: 25.05.2023).
3. Luxology Modo. URL: <https://www.foundry.com/products/modo> (дата звернення: 25.05.2023).
4. SideFX Houdini. URL: <https://www.sidefx.com> (дата звернення: 25.05.2023).
5. Roitman A., Shishkanova S. The solution of the annular punch problem with the aid of recursion relations. *Soviet Applied Mechanics*. 1973. Vol. 7, no. 9. P. 725–729.
6. Мартиняк Р. М., Приходько О. Задача про вдавлювання близького до плоского штампу в пружний шорсткий півпростір. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. 2020. № 31. С. 66–77.
7. Ansys Free Student Software Downloads. URL: <https://www.ansys.com/academic/students> (дата звернення: 25.05.2023).

## КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ З НЕВІДОМИМИ СТАТИСТИЧНИМИ ЗАКОНОМІРНОСТЯМИ

*Владислав Андрійович Левченко*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3549-7463>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Наталія Олександрівна Лисенко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6865-6207>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Сучасне виробництво неможливе без виконання розрахунків при проектуванні і перевірці якості готових деталей і їх частин у відповідності до технічних вимог. Всі вихідні для розрахунків числа, за рідкісними виключеннями, є продуктами вимірювань. У властивостях експериментальних вибірок міститься інформація не лише про об'єкт, а також і про вимірювальні процедури. В процесі контролю якості продукції ключову роль відіграє коректна та адаптивна технологія обробки вимірювань.

В роботі розглянута задача еталонної дефектоскопії, яка використовує лише еталони норми, а еталонів браку для виявлення дефектів або відхилень в технічних об'єктах не має [1]. Передбачається, що в результаті контролю отримано вибірки вимірювань, що характеризують нормальний стан об'єкту. Отже, всі інші стани, які відрізняються від нормального, будуть вважатися дефектними або ненормальними. Для вирішення задач такого типу можна застосовувати статистичні критерії однорідності. Серед критеріїв перевірки однорідності вибірок випадкових величин розрізняють параметричні та непараметричні критерії [2-4]. Параметричні критерії можуть бути застосовані тільки до даних, що мають певні припущення про певний закон розподілу ймовірностей. Тобто, вони застосовуються тільки для певних законів і невідомість зберігається на рівні параметрів [5]. Непараметричні критерії – це критерії, які не потребують знань параметрів розподілу вибірки та не залежать від конкретного виду закону розподілу ймовірностей. Більшість непараметричних критеріїв є ранговими, а саме ґрунтуються на ранжуванні даних, тобто перетворенні вхідних даних на послідовність за їхньою величиною, а потім на порівнянні цієї послідовності з іншими послідовностями даних. Ці критерії можуть бути використані для порівняння середніх значень, медіан, дисперсій і інших характеристик двох або більше вибірок [5].

Застосування рангових критеріїв дозволяє здійснювати контроль

стану технічних об'єктів без потреби знань про статистичні закономірності вимірювань. Існують непараметричні критерії, які перевіряють гіпотезу про однорідність вибірок окремо за зсувом та окремо за масштабом [2].

Метою роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої технології, яка призначена для автоматизації прийняття рішень щодо стану об'єктів в задачах еталонної дефектоскопії. Для автоматизація прийняття рішень потрібно обрати такі критерії, які є ефективними в умовах обмеженості і невизначеності вхідних даних. В якості непараметричного критерія зсуву в роботі запропоновано потужний та відомий критерій Манна-Уїтні-Вілкоксона, а в якості критерія масштабу – критерій Клотца.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі задачі, як розробка алгоритмів для реалізації критеріїв Манна-Уїтні-Вілкоксона та Клотца. На основі розроблених алгоритмів необхідно сформувати блок-схему комп'ютерно-інтегрованої технології для одночасного контролю зсуву і масштабу.

Основна ідея критерію Манна-Уїтні-Вілкоксона [6, 8] полягає на порівнянні між собою рангів спостережень у двох вибірках і визначенні, чи є статистично значима відмінність між ними. Цей критерій може бути застосований до даних з будь-яким законом розподілу ймовірностей, що робить його більш гнучким, ніж критерій Стьюдента, який в свою чергу, вимагає щоб дані мали нормальний закон розподілу ймовірностей.

Алгоритм критерія Манна-Уїтні-Вілкоксона відбувається наступним чином:

1) Задається довжина порівнюваних вибірок та кількість цих вибірок (дослідів).

2) Генеруються експериментальні вибірки з різними коефіцієнтами асиметрії.

3) Впорядковуються за зростанням порівнювані вибірки вимірювань.

4) Розраховуються статистика критерія Манна-Уїтні-Вілкоксона.

5) Якщо досліджуються вибірки з довжиною, меншою за 20, то порівнюється ця статистика  $U$  з пороговими значеннями  $U_1(\alpha)$  та  $U_2(\alpha)$ , які беруться з таблиці критичних значень критерія Манна-Уїтні-Вілкоксона [7]. Після цього приймається гіпотеза, щодо однорідності вибірок за зсувом.

6) Якщо досліджуються вибірки з довжиною, більшою за 20, то застосовується апроксимація, яка зв'язана з статистикою Вілкоксона. Після цього, вже розрахований показник Вілкоксона порівнюється з розрахованим пороговим значенням. Якщо значення показника  $W$

менше порогового значення, то тоді приймається нулева гіпотеза, щодо однорідності вибірок за зсувом [9].

На рис. 1 показано розроблений алгоритм реалізації критерія Манна-Уїтні-Вілкоксона.

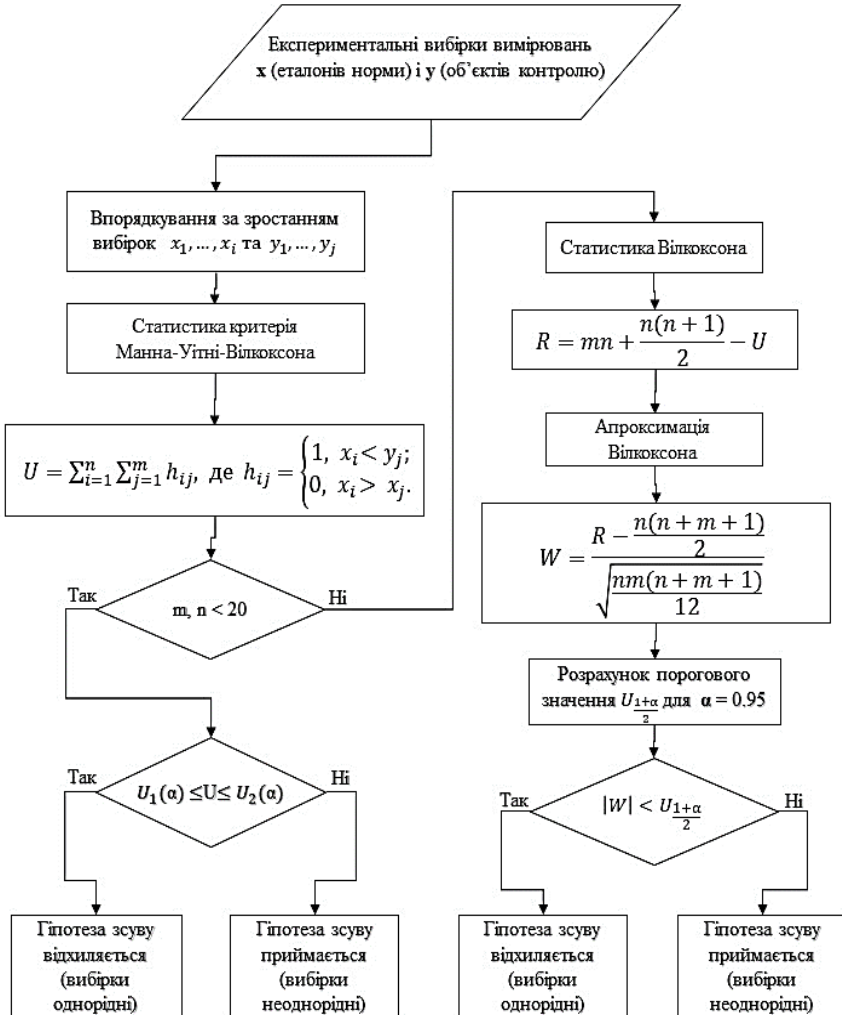


Рисунок 1 - Схема алгоритму реалізації критерія Манна-Уїтні-Вілкоксона

Критерій Клотца [11] є непараметричним критерієм масштабу. Тобто він базується на порівнянні дисперсій або середніх рангів в двох, трьох або більше вибірок вимірювань.

Основна ідея критерія Клотца полягає в тому, що якщо дисперсії вибірок є однаковими та не відрізняються значущим чином, то можна припустити, що ці вибірки належать до однієї генеральної сукупності.

Алгоритм критерія Клотца відбувається наступним чином:

1) Задається довжина порівнюваних вибірок та кількість цих вибірок (дослідів).

2) Генеруються експериментальні вибірки з різними коефіцієнтами асиметрії.

3) Обчислюються ранги однієї з вибірок на узагальненій вибірці.

4) Розраховуються квантілі стандартного нормального розподілу та обчислюється статистика критерія Клотца.

5) Якщо досліджуються вибірки довжиною, меншою за 10, то порівнюється ця статистика  $L$  з пороговими значеннями, які беруться з таблиці критичних значень критерія Клотца [10]. Після цього приймається гіпотеза, щодо однорідності вибірок за масштабом.

6) Якщо досліджуються вибірки довжиною, більшою за 10, то розподіл статистик  $L$  задовільно апроксимується нормальним із математичним очікуванням і дисперсією за відповідними формулами. Після цього, розраховується вже нормований критерій Клотца та порівнюється з розрахованим пороговим значенням. Якщо значення показника  $L$  менше порога, тоді приймається нулева гіпотеза, щодо однорідності вибірок за масштабом [11].

На рис. 2 продемонстровано розроблений алгоритм реалізації критерія Клотца.

На рис. 3 показана схема комп'ютерно-інтегрованої технології контролю зсуву і масштабу. Таким чином, на вхід комп'ютерно-інтегрованої технології надходять експериментальні вибірки, які характеризують нормальний стан об'єкту контролю та вибірки контрольованого об'єкту, який знаходиться в невідомому стані. Розроблена технологія дозволяє контролювати і зсув, і масштаб. Критерій Клотца і Вілкоксона в запропонованій технології виконуються паралельно. За результатами виконання цих критеріїв приймається рішення, однорідні вони чи ні. Після прийняття рішення, щодо однорідності вибірок вимірювань, проводиться візуально-аналітичний аналіз за побудованими гістограмам показників критеріїв Манна-Уїтні-Віллоксона та Клотца.



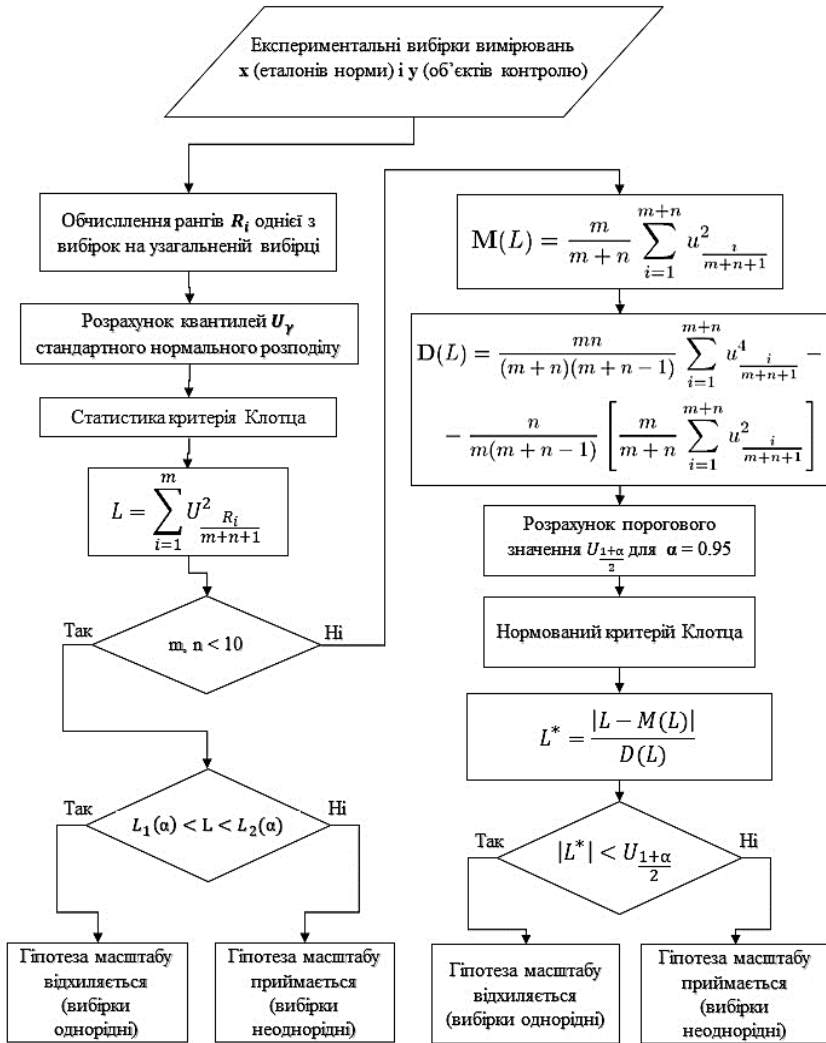


Рисунок 2 – Схема алгоритму реалізації критерія Клотца

В результаті проведеної роботи розроблено схеми алгоритмів для реалізації критеріїв Манна-Уїтні-Вілкоксона та Клотца. На основі розроблених алгоритмів сформована комп'ютерно-інтегрована технологія контролю експериментальних вибірок вимірювань, яка дозволяє перевіряти їх щодо зсуву та масштабу одночасно.

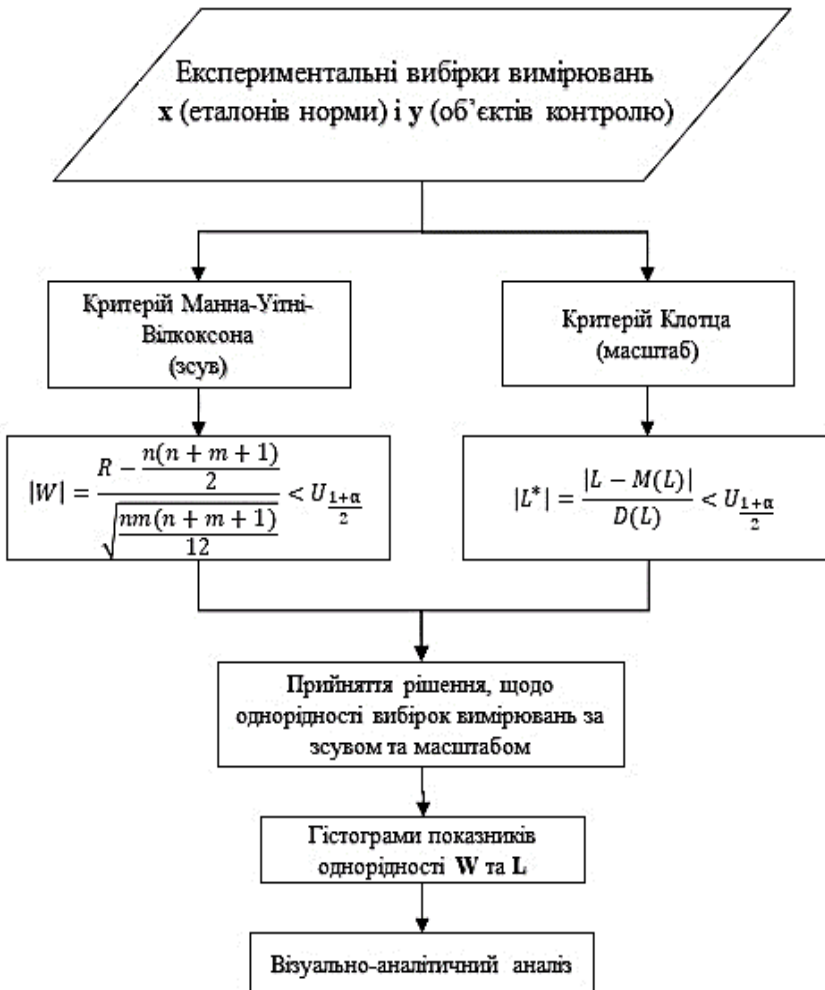


Рисунок 3 - Блок-схема комп'ютерно-інтегрованої технології контролю зсуву і масштабу

Запропонована в роботі технологія контролю не залежить від виду статистичних закономірностей вибірок вимірювань, а отже вона може бути запропонована для вирішення практичних задач еталонної дефектоскопії в умовах невизначеності статистичних закономірностей експериментальних вибірок вимірювань.

Розроблену комп'ютерно-інтегровану технологію планується

дослідити шляхом проведення розрахункових експериментів. Генеруючі однорідні та неоднорідні вибірки та керуючи їх статистичними властивостями, планується оцінити ефективність запропонованої технології.

У найближчій перспективі проведення обчислювальних експериментів та побудова графіків залежностей емпіричних ймовірностей розпізнавання при зсуві та зміні масштабу з метою обґрунтування практичних рекомендацій щодо застосування розробленої комп'ютерно-інтегрованої технології контролю експериментальних вимірювань з невідомими статистичними закономірностями.

## ПОСИЛАННЯ

1. Малайчук В. П., Клименко С. В., Лысенко Н. А. Математическая дефектоскопия. Монография, Второе издание. – Днепропетровск: репозиторий ДНУ имени Олесея Гончара, 2017 – 180 с. ([http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner\\_material&id=9331](http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner_material&id=9331))

2. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с. – ISBN 5-9221-0707-0

3. Высшая математика и математическая статистика: учебное пособие для вузов / Под общ. ред. Г. И. Попова. – М. Физическая культура, 2007. – 368 с.

4. Малайчук В. П., Петренко О. М., Рожковський В. Ф. Обробка вимірювань і сигналів неруйнівного контролю: Навч. посіб. – Д. : РВВ ДНУ, 2004. – 144 с.

5. Бахрушин В. С. Методи аналізу даних : навчальний посібник для студентів / В. С. Бахрушин. – Запоріжжя : КПУ, 2011. – 268 с.

6. Mann H. B., Whitney D. R. On a test the whether one of two random variables is stochastically larger than the other // AMS. 1947. V. 18. P. 50-60.

7. Ликеш И., Ляга Й. Основные таблицы математической статистики. – М. : Финансы и статистика, 1985.

8. Руденко В. М. Математична статистика. Навч. посіб. – К. : Центр учбової літератури, 2012. – 304 с

9. Singh N. The ratio test for the parameters exponential distributions // Commun. Stat. -Theor. Meth. 1985. V. 13, №6. P. 116-119.

10. Sidak Z. Tables for two normal-scores tests for the two-sample scale problem // Aplik. Matematiky. 1973. V. 18, №5. P. 346-363.

11. Klotz J. Nonparametric tests for scale // AMS. 1962. V. 33, P. 498-512.

## КЕРУВАННЯ РИЗИКАМИ ПІД ЧАС РЕАЛІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ ТА СТАРТАПІВ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

*Володимир Іванович Стаценко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8252-9335>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Надія Іванівна Федоряцька*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2695-9661>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Питання розбудови інноваційної екосистеми завжди були актуальними. Останніми десятиріччями цей процес трансформувався в розбудову стартап екосистеми, яка вже є де-факто стандартом в провідних університетах світу. Якщо на протязі декількох сторіч основними рушіями інноваційного розвитку були промислові підприємства, які співпрацювали з академічними установами та університетами, то останніми десятиріччями основними драйверами стають саме університети, де є величезний ресурс мотивованих молодих людей та досвідчені науковці, які на протязі навчального процесу залучають талановиту молодь до наукових досліджень та вирішення завдань з боку стейкхолдерів. Саме така модель ефективно працює в умовах розвитої інноваційної стартап екосистеми, коли великі корпорації, майбутні «Єдинороги» з капіталізацією понад мільярд доларів, починають свій шлях з студентської лави та невеличких стартап команд, які працюють в умовах невизначеності та ризиків.

Формування сучасної західної інвестиційної екосистеми проходило в умовах ринку, коли майже була відсутня фінансова підтримка з боку держави, основними гравцями були і є приватні підприємства та споживачі різних секторів – B2B, B2C, B2G, відносини між якими регулює ринок, а держава залишає за собою обмежені регуляторні функції. Саме ринкові традиції зумовили основні риси західної екосистеми:

- Конкуренція, увага до маркетингу та реклами.
- Приціл на кінцевий результат – фінансовий та репутаційний.
- Фокусування на потребах споживача, ретельний аналіз та моніторинг його поведінки.
- Великі ризики, робота в умовах невизначеності.
- Персональна відповідальність фаундерів за кінцевий результат, увага до ризик менеджменту на всіх етапах життєвого циклу продукту.
- Ретельний юридичний та бухгалтерський супровід,

налагоджений оперативний облік.

- Сформований ринок інвестицій, «доступні кошти», грантова підтримка з боку державних та приватних фондів.

Така система дозволяє ефективно розробляти та впроваджувати інноваційні розробки з комерційним потенціалом, створювати нові продукти, та отримувати прибуток, що є основним КРІ ринкової економіки.

Разом з цим, спираючись на досвід впровадження інновацій, можна відзначити деякі особливості формування української інвестиційної екосистеми:

- Відсутність ринкової конкуренції на протязі тривалого часу.
- Фокус на «процесах», а не на результатах.
- Делегування відповідальності на державу, схильність до корпоративної відповідальності, уникнення ризиків.
- Невисокий рівень патентної грамотності.
- Нехтування інформаційною безпекою.
- Брак навичок побудови бізнес-моделі.
- Внутрішня конкуренція в умовах недостатнього фінансування з боку держави.

- Психологічна інерція суб'єктів інноваційних процесів та інерція поведінки споживача.

- «Токсичні» гроші з боку недобросовісного інвестора.

Ці особливості є результатом доволі драматичної історії створення та розвитку нашої інноваційної екосистеми. Декілька десятиріч у нас панувала адміністративно-планова модель розвитку промисловості та науки, коли держава була і «замовником» для науковців і «джерелом фінансування» і «власником» інтелектуальної власності. За тих умов науковців, здебільш, оминали питання комерціалізації, залучення інвестицій, патентної охорони. При цьому багато розробок, особливо «подвійного призначення», не отримували комерційного розвитку, а залишалися під «грифом».

З 1992 року ситуація різко змінилася. З падінням планової економіки та тоталітарної системи, у наших науковців з'явилася можливість на рівних інтегруватися в Світовий науково-інвестиційний простір. Звісно, після тривалого часу роботи за завісою, поза ринкових умов та ринкової конкуренції, у наших науковців сформувалися певні традиції та навички, які гальмують розвиток та ведуть до реалізації багатьох ризиків.

**Невисокий рівень патентної грамотності.** Веде до ризику втрати інтелектуальної власності. Ми дуже гарно навчилися складати заявки на авторські свідоцтва, але мало хто розумівся в перехідний період на особливостях патентного захисту інновацій в умовах ринку.

Мало хто замислюється над «стійкістю» патенту під час подачі заявки. Висока вірогідність такого ризику веде до зниження зацікавленості з боку потенційних інвесторів, які враховують ризики «обходу патентів» з боку конкурентів.

**Нехтування інформаційною безпекою.** Легковажне ставлення до правил інформаційної безпеки, зокрема охорони промислових секретів, які традиційно охороняються у режимі «ноу-хау», завжди було неприпустимим в умовах ринку. Доволі часто трапляються випадки втрати вигоди, пов'язана з «витіканням промислових секретів» через недостатньо пророблену «Політику безпеки» на підприємствах, формальний підхід до її впровадження, необачність з боку персоналу, витік конфіденційної інформації технічними каналами. Також дуже часто реалізуються ризики порушення цілісності та доступності інформації, що веде до прийняття хибних управлінських рішень.

**Брак навичок побудови бізнес-моделі та якісних маркетингових досліджень.** Недостатньо пророблена бізнес модель та нерозуміння основних принципів сталого розвитку завжди веде до реалізації низки ризиків, які є причиною банкрутства інноваційних підприємств. Дуже часто це проявляється в слабкому зворотному зв'язку та недостатньому консультуванню з іншими стейкхолдерами.

**Внутрішня конкуренція замість зовнішньої.** Приводить до розпорошення ресурсів, внутрішнім конфліктам в компанії, погіршенню морального клімату та надмірної бюрократії.

**Психологічна інерція.** Заважає оперативню та якісно аналізувати зміни в навколишньому та внутрішньому середовищі та вчасно реагувати на зміни в конкурентному оточенні. Також слід враховувати інерцію поведінки споживача, яка реалізує ризик повільного зростання об'єму продаж на ринку, що теж веде до банкрутства.

**«Токсичні» гроші** - це доволі новий термін, який вживають венчурні інвестори на Заході, коли аналізують інвестиційні проекти з країн СНД. Дуже часто буває, що з боку недобросовісного інвестора висувуються вимоги повного контролю над підприємством, або установчі документи складаються таким чином, що частка акцій власника інтелектуальної власності швидко стає малою при наступних раундах інвестування.

Кожен з цих ризиків потребує детальної обробки згідно з стандартами ISO 27005, ISO 31000 та інших, які надають настанови для управління ризиками інформаційної безпеки та методи їх аналізу та обробці. Аналіз ризиків необхідно проводити безперервно на протязі всього життєвого циклу інноваційного продукту, користуючись циклом PDCA (плануй – дій – перевіряй – активно керуй).

Багато з проблемних питань по обробці ризиків простіше

вирішити, якщо при університетах є бізнес-інкубатори та інші елементи стартап екосистеми. Європейські ЗВО, як правило, мають розвинену стартап екосистему, яка дозволяє побудувати цільні відносини між бізнесом, університетами та державою. Останніми роками спостерігається також розвиток української інноваційної стартап екосистеми. З 2020 року Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара долучився до проекту «Підприємницькій університет», в рамках якого студентам викладається курс по вибору, присвячений стартапам та інноваційному менеджменту. Формуються навички по створенню команди, розробці Продукта та якісної бізнес-моделі за допомогою «Дизайн мислення» та інших інструментів розвитку креативності. Використовуючи ці інструменти здобувачі мають можливість підготувати якісний стартап проект та презентувати його потенційним інвесторам на стартап демо-днях, які зараз є основними майданчиками, де інвестори та представники інвестиційних фондів зустрічаються з командами новаторів, оцінюють короткі презентаційні пітчі проєктів, дають зворотній зв'язок по якості проробки проєктів та приймають рішення стосовно інвестування.

### Посилання

1. Карпенко Н. В., Стаценко В. І., Федоряцька Н. І., Коломоєць І. І. Впровадження стартапів під час підготовки фахівців у галузі інформаційних технологій // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 5 (142). – Дніпро, 2022.
2. Інноваційно-інвестиційна діяльність підприємств міського господарства / О. В. Димченко, О. О. Рудаченко // Конспект лекцій. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – Харків, 2018. – 102с.
3. Інвестування інноваційної діяльності: навч. посіб. / О. В. Гук, Л. П. Шендерівська, Г. А. Мохонько. Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 186 с.
4. Вовченко О. В. Інновації у промисловості: вплив на економічну безпеку України: монографія. Київ: КРОК, 2021. – 134 с.
5. ДСТУ ISO/IEC 27005:2015 Інформаційні технології. Методи захисту. Управління ризиками інформаційної безпеки.
6. ДСТУ ISO/IEC 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови.

## ЦІНОВА СТРАТЕГІЯ ПРОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНОГО ПРОДУКТУ НА СВІТОВИЙ РИНОК

*Лілія Сергіївна Головка*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8202-2294>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Зростання комерційної значущості технологій в сучасному світі вимагає розуміння суті комерціалізації інновацій в ринковому середовищі. Інноваційна продукція – це нові конкурентоздатні товари або послуги, що відповідають вимогам до інноваційної діяльності.

Комерціалізація інновацій має ринкову природу, залежить від кон'юнктури ринку та розглядається як відтворення руху інтелектуального капіталу з метою отримання прибутку.

Виробництво інновацій являє собою багатоетапний процес, що передбачає створення на основі принципів маркетингу способів реалізації власного потенціалу компанії, виявлення тенденцій розвитку ринку і просування на ньому нових високоякісних товарів, орієнтованих на задоволення сучасних і майбутніх потреб споживачів.

Суб'єктами комерціалізації інновацій є великі компанії (ТНК), середні компанії, венчурні компанії і фонди, приватні інвестори, спеціалізовані банки [2].

Якщо компанія планує зайняти провідні позиції в галузі, освоїти нові напрями, збільшити обсяги виробництва інноваційного продукту та завоювати світовий ринок – компанії без стратегії не обійтись. Стратегія визначає, що необхідно зробити, куди рухатися і на чому сконцентруватися компанії.

Важливим аспектом здійснення маркетингової стратегії компанії є підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку. Для підвищення конкурентоспроможності необхідно визначити конкурентні переваги фірми шляхом впровадження нових технологій, розробки та виробництва нових продуктів, покращення якості, ребрендингу тощо.

Всі стратегії ТНК спрямовані переважно на вдосконалення та розвиток власних конкурентних переваг. Найвідомішими компаніями, котрі запроваджують інновації, є: Apple, Google, Toyota Motor Corporation, Microsoft Corporation.

Представлені компанії успішно використовують інноваційні стратегії, що дає їм можливість розвивати свій продукт та успішно конкурувати на світовому ринку. Ринкова капіталізація представлених міжнародних компаній дає змогу з економічної точки зору оцінити ефективність використання інноваційних стратегій порівняно з базовими стратегіями, що використовувались до моменту розвитку світової



глобалізації [4].

Цінова маркетингова стратегія є довгостроковим планом фірми в галузі ціноутворення.

Для інноваційних продуктів застосовується стратегія “зняття вершків”, якщо продукт новий та гідних аналогів ще немає, або коли споживачі купують товар для підтримання свого статусу. Важливою умовою для встановлення такої стратегії є наявність у компанії конкурентних переваг.

Інноваційні стратегії є важливою економічною умовою взаємодії між сучасним виробником і споживачем. Перехід до міжнародного розвитку міжнародних компаній має бути одним із основних напрямів в міжнародній діяльності. В умовах зростаючої конкуренції між компаніями, інноваційна діяльність набуває найбільшої актуальності [4].

Глобальні стратегії маркетингу – інтернаціоналізація - означає комплекс заходів щодо виходу на закордонні ринки та зміцнення позицій компанії. Важливо визначити країни, які найбільш відповідають параметрам та оцінити всі чинні та потенційні ризики. Така стратегія потребує значних витрат на реалізацію, є досить ризиковою, але в результаті компанія може відкрити вігідний ринок збуту та у разі збільшити прибуток (Apple, McDonald’s, ІКЕА) [1].

Диверсифікація означає розширення асортименту виробленої чи реалізованої продукції чи послуг з освоєнням нових напрямів. Компанія Toyota, котра окрім виробництва автомобілів надає фінансові послуги, займається інформаційними технологіями та телекомунікаціями, розвиває ще кілька напрямів. Компанія Nokia в різний час займалася виробництвом електроенергії, паперової продукції, побутової техніки, військового спорядження тощо, а потім почала виготовляти телефони.

Сегментування означає поділ потенційних споживачів на групи на основі певних критеріїв та створення продуктів для окремих сегментів. Як автомобілі марки Rolls-Royce орієнтовані на вузьке коло покупців з високим рівнем доходів.

Розроблення маркетингової стратегії відбувається в декілька етапів:

1. Аналіз ринку та ніші;
2. Визначення цільової аудиторії та сегментація ринку;
3. Аналіз конкурентів;
4. Постановка цілей в короткостроковому та довгостроковому періодах (бізнес-цілі бренду, маркетингові, комунікаційні та медіа цілі) [1].

Ефективність інноваційних стратегій компаній:

- прискорюють ефективний розвиток в умовах ринку;
- забезпечують переваги в конкурентній боротьбі на основі технологій та якості;
- сприяють лідерству в цінах;
- створюють імідж компанії;
- визначають стійку позицію на світовому ринку [4].

Слабкі сторони та загрози інноваційних стратегій:

- підвищений рівень невизначеності кінцевих результатів;
- внутрішньо-організаційна перебудова структури компанії;
- високі інвестиційні ризики довгострокових проєктів [4].

Отже, впровадження інноваційної стратегії може створювати ризики для діяльності компанії, як будь-який економічний процес.

Міжнародні компанії, які інвестують переважно в свій інноваційний розвиток, будуть мати провідне місце в світі завжди, адже глобалізація захоплює всі верстви споживачів [3].

“Незабаром основою економічного зростання стануть не капітал чи природні ресурси, а інновації та людська уява”, - таку ідею озвучив в одній зі своїх статей засновник і президент Всесвітнього форуму в Давосі Клаус Шваб [4].

Зміцнення акцентів до раціонального ефективного споживання, освоєння ресурсів має очевидні причини. Інновації дають іншу якість виготовленої продукції, стимулюють створення нових галузей, розвиток ринку праці та сферу освіти, призводять до зниження витрат, служать інструментом для залучення інвестицій, є фактором глобальних трансформацій на міжнародний бізнес.

## Посилання

1. Маркетингові стратегії бізнесу. SendPulse Блог URL: <https://SendPulse.ua/blog/what-are-the-marketing-strategies>.

2. Комерціалізація інновацій [Електронний ресурс] : навч. посіб./ КПП ім. Ігоря Сікорського; уклад. С.О.Пермінова. – Електронні текстові дані (1 файл: 287 КБ). Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2020, 126 с.

3. Прушківська Е.В. Інноваційні стратегії розвитку міжнародних компаній в умовах глобалізації/ Economics Bulletin, 2020, 4, 28-35 URL: <https://doi.org/10.33271/ebdut/72.028>

4. Forbes: врятувати майбутнє (перший рейтинг найінновативніших компаній України) URL: <https://www.agrilab.ua/forbes-vryatuvaty-majbutnye-pershij-rejtyng-najinnovatsijnishyh-kompanij-ukrayiny/>

## ПРОБЛЕМА ВИГОРАННЯ ПРАЦІВНИКІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Настя Віталіївна Самойло*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5309-2717>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Yevgen Bogodistov (Євген Володимирович Богодістов)*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5904-8362>

MCI Management Center Innsbruck: Innsbruck, Tirol, Austria

### Вступ

У сучасному світі зайнятість та вимоги роботодавців стають все більш високими, а працівники, зокрема на підприємствах харчової промисловості, часто стикаються з проблемою вигорання. Згідно з визначенням ВООЗ (2001), «синдром вигорання— це фізичне, емоційне або мотиваційне виснаження, що характеризується порушенням продуктивності в роботі та втому, безсонням, підвищеною схильністю до соматичних захворювань, а також вживанням алкоголю або інших психоактивних речовин з метою одержати тимчасове полегшення, що має тенденцію до розвитку фізіологічної залежності (у багатьох випадках) та суїцидальної поведінки» [2].

### ТЕОРЕТИЧНЕ ПІДҐРУНТЯ

Існує два підходи до визначення вигорання, які, в свою чергу, зосереджуються на різних симптомах синдрому. Так наприклад Маслах і колеги [10] стверджують, що є три симптоми вигорання: емоційне виснаження, цинізм і втрата впевненості в своїх силах. Більш новий підхід Крістенсена і колег [8] значно відрізняється. Науковці стверджують, що не тільки емоційне и фізичне виснаження а також втомленість є синдромами вигорання. Втрата впевненості в своїх силах є наслідком вигорання, в той час як цинізм є природнім механізмом захисту від вигорання. Будучи цинічними індивіди дистанціюються від емоційної праці і таким чином заощаджують власні психологічні ресурси.

Вищеперераховані симптоми можуть бути спричинені перевантаженням, високим рівнем стресу, недостатньою підтримкою від керівництва, неправильним розподілом робочого навантаження, відсутністю контролю над робочим процесом, конфліктами в колективі, тощо [1, 7, 9]. Вигорання було вперше досліджене в галузі охорони здоров'я

і потім набуло уваги в інших галузях, пов'язаних із роботою з людьми [9]. Проте із розвитком теорії робочих вимог та ресурсів (Job Demands-Resources model) стало очевидним, що будь-які галузі і сфери роботи є уразливими до вигорання [5, 6].

Так наприклад у харчовій промисловості, де інтенсивність роботи, тиск та вимоги щодо дотримання стандартів безпеки харчових продуктів є надзвичайно високими, працівники стикаються з важкими викликами та стресовими ситуаціями. Це може включати непередбачувані зміни виробничого графіку, великі обсяги роботи, фізичну напругу та вимоги до забезпечення безпеки на робочому місці. У такому середовищі працівники можуть відчувати втому, безпорадність та втрату мотивації, що може призвести до вигорання. Висока зарегульованість галузі в поєднанні із державним і власним контролем спричиняють підвищене навантаження на психіку працівників і менеджерів.

Враховуючи вищезазначені фактори, дослідження проблеми вигорання працівників на підприємствах харчової промисловості набуває значущості. Розуміння причин та наслідків вигорання, а також виявлення ефективних стратегій запобігання та управління цим явищем, може сприяти покращенню якості життя працівників, збільшенню їх задоволеності роботою та підвищенню продуктивності виробництва [11].

На прикладі ТОВ «Ліга Юг», що є представником харчової промисловості, будуть досліджені фактори, що призводять до вигорання працівників, такі як високий рівень стресу, несумісність робочого навантаження зі здоров'ям, недостатнє управління робочим часом та інші. Розглядання даного прикладу дозволить проаналізувати та зрозуміти особливості цієї галузі та виділити конкретні проблемні аспекти, що впливають на вигорання працівників.

## **МЕТОДОЛОГІЯ**

### **ВИБІРКА**

ТОВ «Ліга Юг» заснована 28 березня 2007 року та займає провідну позицію на ринку постачання продуктів харчування в Запорізькій та Дніпропетровській областях вже протягом багатьох років.

Підприємство має на меті здійснення торговельно-комерційної, виробничої, науково-дослідної та благодійної діяльності з метою отримання прибутку та інших потреб. Підприємство «Ліга Юг» має право здійснювати такі види діяльності:

- Торговельна діяльність у сфері роздрібної торгівлі та

громадського харчування з реалізації продовольчих та непродовольчих товарів, алкогольних напоїв, тютюнових виробів;

- Консультаційні послуги;
- Комерційна, маркетингова, посередницька діяльність;
- Складські послуги [12].

Задля коректного дослідження теми вигорання працівників, варто приділити структурі персоналу підприємства, що представлена в таблиці 1 [4]. Підприємство «Ліга Юг» обрано для дослідження за двома причинами: по-перше, це підприємство є достатньо типовим за особливостями менеджменту та обсягом персоналу для м. Запоріжжя. Крім того на підприємстві досить низька ротація кадрового складу, тому існує можливість вивчення процесів вигорання працівників у середньостроковій перспективі.

Таблиця 1

Структура персоналу ТОВ «Ліга Юг» за видами діяльності та статтю, осіб

Категорії	2020	2021	2022	2022 р. до 2020, %
Працівники, всього	48	44	38	-21,1
У тому числі:				
– керівники	6	6	5	-16,7
– спеціалісти	15	13	12	-20
– основні та допоміжні працівники	27	25	21	-22,2
Коефіцієнт навантаження працівників і спеціалістів на 1-го керівника	7,0	6,3	6,6	-5,7
У тому числі:				
– жінки	15	16	14	-6,7
– чоловіки	33	28	24	-20,4

Дані представлені в таблиці демонструють поступове скорочення кількості трудових ресурсів підприємства, за два останні роки їх кількість зменшилась на 21,1%. У загальній структурі працівників найбільшу частку займають основні та допоміжні працівники.

На підставі серії інтерв'ю мі припускаємо, що вигорання працівників має серйозний вплив на плинність кадрів в організації. Постійний стрес, перевантаження та високі робочі вимоги можуть призводити до незадоволення та виснаження працівників, що впливає на їх бажання залишатися в компанії. Динаміка плинності кадрів на ТОВ «Ліга Юг» представлена в таблиці 2 [4].

Таблиця 2

Динаміка плинності кадрів на ТОВ «Ліга Юг»

Показник	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2022 р. до 2020 р., +/-
Середньооблікова чисельність працівників, осіб	48	44	38	-10
Кількість прийнятого на роботу персоналу, осіб	8	13	6	-2
Кількість вибулих працівників, осіб	16	17	9	-7
Коефіцієнт загального обороту кадрів	0,5	0,7	0,4	- 0,1
Коефіцієнт плинності кадрів	0,33	0,39	0,24	-0,09

Дані з таблиці показують, що спостерігається тенденція регулярного скорочення кадрів. Коефіцієнт загального обороту кадрів зменшився на 0,1 в 2022 році порівняно з 2020, це може свідчити про зниження швидкості заміни працівників на підприємстві. Зниження цього коефіцієнта означає, що заміна працівників стає менш інтенсивною.

З таблиці також бачимо, що коефіцієнт плинності кадрів зменшився на 0,09 порівняно з 2020 роком, це може свідчити про зниження рівня текучості працівників на підприємстві. Зменшення Коефіцієнта плинності кадрів може свідчити про покращення стабільності кадрів на підприємстві, задоволення потреб працівників та зниження ризику втрати цінних кадрів [4].

Не дивлячись на такі позитивні показники, все ж на підприємстві простежується досить регулярна зміна працівників, та виникає необхідність дослідити їх на симптоми вигорання і чи не стало вигорання на робочому місці приводом для звільнення.

### ПЕРЕБІГ ПОПЕРЕДЬОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою аналізу вищезазначених проблем із плинном кадрів на підприємстві ТОВ «Ліга Юг» було проведене анонімне анкетування задля виявлення симптомів вигорання у працівників. Це дослідження малює на меті отримати інформацію про рівень вигорання, його вплив на працівників та розробити ефективні стратегії поліпшення робочих умов і забезпечення добробуту персоналу.

Опитування було проведене за допомогою анонімної анкети, яка

складалась з 10 запитань, орієнтованих на визначення рівня вигорання працівників [3]. В анкетуванні погодились взяти участь 21 з 38-ми працівників, що змушує нас розглядати ці данні як попередні, а дослідження як пілотажне дослідження вигорання працівників підприємств харчової промисловості.

Перелік питань, розділених на заголовки відповідно до різних аспектів схильності до вигорання мали наступний вигляд (див. табл. 3):

Таблиця 3  
 Анкета для виявлення вигорання у працівників ТОВ «Ліга Юг»

Питання	Оцінка
Розділ 1: Робоче навантаження та обсяг роботи.	
1. Чи вважаєте ви, що обсяг роботи, який вам доручається, відповідає вашим можливостям та ресурсам?	1-5
2. Як часто ви відчуваєте, що встигаєте виконати всі свої робочі обов'язки вчасно?	1-5
Розділ 2: Емоційна виснаженість та стрес.	
3. Чи відчуваєте ви постійний спокій на робочому місці?	1-5
Розділ: Підтримка колег та керівництва.	
4. Чи відчуваєте ви підтримку та розуміння від своїх колег та співробітників на підприємстві?	1-5
5. Чи відчуваєте ви підтримку та розуміння з боку вашого керівництва?	1-5
6. Чи відчуваєте ви, що ваші думки та внесок цінуються?	1-5
Розділ 3: Баланс між роботою та особистим життям.	
7. Чи маєте ви достатньо часу для відпочинку, сімейних справ та інтересів поза роботою?	1-5
8. Чи відчуваєте ви, що ваша робота позитивно впливає на ваші відносини з сім'єю та близькими людьми?	1-5
Розділ 4: Загальне благополуччя.	
9. Чи задоволені ви своїм професійним розвитком та можливостями зростання на підприємстві?	1-5
10. Чи відчуваєте ви, що ваша робота має сенс та важлива?	1-5

Шкала оцінювання, яка використовувалась, мала наступний вигляд:

- 1 - Повністю не згоден/Ніколи
- 2 - Здебільшого не згоден/Рідко
- 3 - Нейтральний/Іноді
- 4 - Здебільшого згоден/Часто
- 5 - Повністю згоден/Завжди

Для надання дескриптивної статистики для підприємства, процедура обчислення біла спрощена. На відміну від факторного аналізу, який на майбутніх стадіях проекту буде використаний для обчислення, підприємства потребують простішої репрезентації результатів. Тому результати опитування обчислювались, складанням суми балів для кожного розділу або кожного аспекту вигорання. Тлумачення результатів включає такі аспекти, якщо оцінка тестування варіюється:

Від 40 до 50, свідчить про низький рівень вигорання, або його відсутність. Якщо загальна сума балів вказує на низький рівень вигорання, це може означати, що працівники відчують задоволення від своєї роботи, мають достатній рівень підтримки та баланс між роботою та особистим життям.

Від 20 до 40, свідчить про помірний рівень вигорання. Якщо загальна сума балів вказує на помірний рівень вигорання, це може означати, що деякі аспекти роботи або умови праці потребують уваги та вдосконалення.

Від 10 до 20, свідчить про високий рівень вигорання. Якщо загальна сума балів вказує на високий рівень вигорання, це може свідчити про серйозні проблеми в робочому середовищі, які потребують негайного втручання. Високий рівень вигорання може призводити до погіршення фізичного та психологічного стану працівників, зниження продуктивності та зростання ризику виникнення випадків виснаження та втрати персоналу [9].

## ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На підставі проведеного опитування виявлено, що серед працівників ТОВ «Ліга Юг» існує високий рівень вигорання, як серед представників чоловічої статі, так і серед жіночої (рис. 1.).

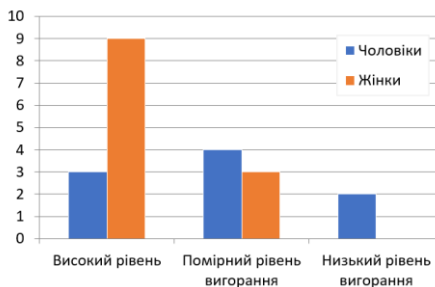


Рисунок 1. «Кількісна оцінка працівників чоловічої та жіночої статі за рівнем вигорання на ТОВ «Ліга Юг» [4]



Аналізуючи дані з опитування, можна зробити наступні спостереження щодо рівня вигорання серед працівників на підприємстві «Ліга Юг». Зазначені результати показують, що серед 12 працівниць жіночої статі, які взяли участь у дослідженні, 9 мали оцінки від 10 до 20, що свідчить про високий рівень вигорання. Крім того, 3 працівники жіночої статі отримали оцінки від 20 до 40, вказуючи на помірний рівень вигорання. Жодна працівниця не мала оцінки 40-50 балів, що свідчить про наявність проблеми вигорання працівників жіночої статі на ТОВ «Ліга Юг». Щодо 9 працівників чоловічої статі, 3 з них отримали оцінки від 10 до 20, 4 отримали оцінки від 20 до 40, а лише 2 мали оцінку від 40 до 50, свідчачи про низький рівень вигорання або відсутність його симптомів.

Таким чином.

Серед працівників жіночої статі, які взяли участь у опитуванні, переважна більшість (9 з 12) мають високий рівень вигорання. Це свідчить про те, що жінки на підприємстві "Ліга Юг" можуть бути високо вразливими до вигорання і потребують уваги та підтримки для збереження психологічного благополуччя.

Серед працівників чоловічої статі, є двоє (2 з 9) працівників, які мають низький рівень вигорання або навіть відсутність його симптомів. Це може вказувати на те, що чоловіки на підприємстві "Ліга Юг" можуть краще справлятися з факторами, що спричиняють вигорання, або вони мають ефективні стратегії саморегуляції і витримки, або вони не достатньо відверті у своїх відповідях.

Отже, загальна тенденція показує, що жінки на підприємстві «Ліга Юг» стикаються з вищим рівнем вигорання, в той час як чоловіки мають більше випадків помірного або низького рівня вигорання. Ці результати говорять про необхідність уваги до проблеми вигорання на підприємстві. Високий рівень вигорання може призвести до зниження продуктивності, погіршення фізичного та психологічного стану працівників, а також збільшення ризику втрати персоналу. Помірний рівень вигорання також може вказувати на потенційні проблеми, які варто вирішити.

Одним з ключових аспектів, який варто розглянути при дослідженні рівня вигорання серед працівників на підприємстві «Ліга Юг», є їх досвід роботи. Це відкриває можливість зрозуміти, як саме працівники реагують на робоче навантаження та стрес з плином часу. Аналіз змін в їх рівні вигорання залежно від тривалості роботи може допомогти виявити, чи розвиваються у них стратегії протистояння вигоранню, або спостерігається збільшення рівня вигорання протягом робочої кар'єри.

Структура якісного складу персоналу ТОВ «Ліга Юг» за стажем наведена в таблиці 4 [4].

Таблиця 4  
Аналіз структури якісного складу персоналу ТОВ «Ліга Юг»  
за стажем, %

Категорії працюючих за стажем, років	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2021 р. до 2019 р., +/-
до 3	8,1	4,6	3,2	-4,9
3-6	6,9	7,1	6,3	-0,6
6-9	36,3	39,0	44,2	7,9
9-15	36,6	35,3	32,8	-3,8
понад 15	12,1	14,0	13,5	1,4
Всього	100,0	100,0	100,0	0

Найбільший відсоток працівників відносяться до категорії «зі стажем 6-9 років» та займають частку від 36,3% до 44,2%, при чому, в даній категорії спостерігається зростання частки кожного року. Категорії «зі стажем 9-15 років» належить частка від 32,8% до 36,6%. Ця категорія навпаки зменшується протягом останніх трьох років. Найменшу частку займають працівники зі стажем до 3-х років.

На основі цих даних можна зробити висновок, що працівники з більшим стажем роботи мають більшу здатність протистояти вигоранню. Зростання частки працівників у категорії "зі стажем 6-9 років" може свідчити про те, що ці працівники знаходять способи ефективного управління своїм вигоранням та зберігають високий рівень мотивації та задоволення від своєї роботи. Загалом, ці дані свідчать про те, що з часом працівники можуть набувати навичок та ресурсів, які допомагають їм уникати вигорання та зберігати свою працездатність та позитивне ставлення до роботи.

Отримані результати анкетування та аналізу свідчать про необхідність вжиття заходів для зменшення вигорання та покращення робочих умов на підприємствах харчової промисловості. Можливі кроки включають:

- аналіз робочого навантаження;
- впровадження стратегій підтримки працівників;
- сприяння балансу між роботою та особистим життям;
- розвиток механізмів для висловлення скарг, побажань та пропозицій.

Важливо створити ефективну систему зворотного зв'язку, де працівники зможуть вільно висловлювати свої скарги, побажання та

пропозиції. Це може включати створення анонімних опитувань, регулярні зустрічі для обговорення проблем та впровадження системи обробки звернень. Такий підхід стимулює активну участь працівників у покращенні робочих умов та сприяє вирішенню проблем, що можуть спричиняти вигорання.

Для досягнення позитивних змін необхідна активна комунікація з працівниками, їх залучення до процесу прийняття рішень та розробка конкретних стратегій для подолання проблем, виявлених у опитуванні.

Важливо приділити увагу знайденим проблемам та відкрито спілкуватися з працівниками, щоб зрозуміти їхні потреби та пропозиції. Результати опитування можуть служити основою для подальших досліджень та розробки стратегій управління вигоранням, вдосконалення робочих умов, підтримки колег та розвитку здорових механізмів вирішення проблем.

Всі ці запропоновані заходи мають на меті створення сприятливого та стимулюючого робочого середовища для працівників підприємства харчової промисловості. Зменшення ризику вигорання, збереження здоров'я та добробуту працівників, а також підвищення продуктивності та задоволеності роботою - це ключові фактори, що впливають на результативність підприємства.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, результати дослідження проблеми вигорання працівників на підприємствах харчової промисловості на прикладі ТОВ «Ліга Юг», підкреслюють необхідність глибокого розуміння цього явища та його впливу на весь сектор.

Виявлені проблеми з вигоранням на підприємстві свідчать про важливість проведення подальших досліджень з метою усунення цих проблем та забезпечення стабільності та розвитку галузі. Дослідження в майбутній ретроспективі мають на меті глибше розуміння причин вигорання та розробку ефективних стратегій для його попередження та управління.

Запропоновані варіанти для вирішення проблеми включають аналіз робочого навантаження, впровадження стратегій підтримки працівників, сприяння балансу між роботою та особистим життям, а також розвиток механізмів для висловлення скарг, побажань та пропозицій. Ці кроки можуть сприяти створенню сприятливого та здорового робочого середовища, зниженню рівня вигорання та підвищенню задоволення та продуктивності працівників.

## ПОСИЛАННЯ

1. Груба Є. Професійне вигорання: головні причини та способи боротьби. *hurma.work*. 2021. URL: <https://hurma.work/blog/05-2021-profesijne-vygorannya-golovni-prychyny-ta-sposoby-borotby/> (Дата звернення 25/05/2023).

2. Назаренко І. П. Синдром емоційного вигорання серед медичних працівників психіатричної сфери. *Новини медицини та фармації*. 2011. №. 1. С. 35-43. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/20574> (Дата звернення 25/05/2023).

3. Низкуз Ж.І. Профілактика та подолання синдрому «професійного вигорання». *Миколаївський ПЛ*. URL: <https://mykolaivpl.org/metodrozrobka/171-profilaktyka-ta-podolannia-syndromu-profesiinoho-vyhorannia.html> (Дата звернення 25/05/2023).

4. ТОВ «Ліра Ю» URL: <http://stor.ligaug.zp.ua/> (Дата звернення 25/05/2023).

5. Bakker A. B., Demerouti E., Verbeke W. Using the job demands-resources model to predict burnout and performance. *Human Resource Management*. 2004. Vol. 43. №. 1. P. 83-104. <https://doi.org/10.1002/hrm.20004>.

6. Demerouti E. et al. The job demands-resources model of burnout. *Journal of Applied psychology*. 2001. Vol. 86. №. 3. P. 499-512. <https://doi/10.1037/0021-9010.86.3.499>.

7. Hromtseva O. V. Notion of professional burnout of medical workers and research of its phenomenology. *European Journal of Management Issues*. 2019. Vol. 27. №. 3. P. 63-72. <https://doi.org/10.15421/191907> (in Ukrainian).

8. Kristensen T. S. et al. The Copenhagen Burnout Inventory: A new tool for the assessment of burnout. *Work & stress*. 2005. Vol. 19. №. 3. P. 192-207. <https://doi.org/10.1080/02678370500297720>.

9. Krupskiy O. P. et al. The Influence of Emotional Labor of Family Doctors on their Well-Being and Job Satisfaction. *European Journal of Management Issues*. 2022. Vol. 30. №. 4. P. 215-223. <https://doi.org/10.15421/192218> (in Ukrainian).

10. Maslach C., Jackson S. E., Leiter M. *Maslach Burnout Inventory Manual Consulting Psychologists Press*. Palo Alto, CA, EEUU. 1986.

11. Schaufeli W. B. Applying the job demands-resources model. *Organizational dynamics*. 2017. Vol. 2. №. 46. P. 120-132. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.orgdyn.2017.04.008>.

12. You Control. ТОВ «Ліра Ю». URL: [https://youcontrol.com.ua/catalog/company\\_details/35037432/](https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/35037432/).

## ECONOMETRIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF COMPETITIVENESS ON THE INCOME OF THE POPULATION IN AZERBAIJAN

*Yadulla Hamdulla oglu Hasanli*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9497-5607>

SRIES, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

*Sardar Ahmadiyya oglu Shabanov*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8020-6954>

SRIES, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

### INTRODUCTION

The concept of global competitiveness index (GCI) was proposed in 2004 [9]. The GCI index is calculated by the World Economic Forum since 2007. The GCI is an aggregate indicator that includes more than 110 sub-indicators in 12 groups. According to the values of this indicator, the countries of the world are ranked in descending order [11, 12]. GCI indicator consists of the following groups:

1. Institutes (institutions)
2. Adequate infrastructure
3. Stable macroeconomic framework
4. Health and primary education
5. Higher education and training
6. Efficient commodity markets
7. Efficient labor markets
8. Developed financial markets
9. Ability to use existing technology
10. Market size (domestic and international)
11. Production of new and different goods using the most complex production processes
12. Innovation.

It is clear that international competitiveness covers all spheres of a country's life - political, social, economic and cultural - and ultimately plays a leading role in the well-being of the country's population. One of the important components of well-being is the income of the population. In this article, the issue of the impact of competitiveness on the income of the population was considered in the case of Azerbaijan.

## 1. LITERATURE REVIEW

The concept of competitiveness has been widely interpreted in the economic literature. One of the most widespread articles in this field [8] belongs to Porter. In this article, Porter indicated four main factors of countries' competitiveness: factor conditions, demand conditions, firm strategy, structure and rivalry, related and supporting industries. The article [14] examines the impact of national competitiveness on productivity, economic growth and per capita income in a number of post-Soviet countries (Moldova, Ukraine, Armenia, Georgia, Azerbaijan, Kazakhstan and Russia). It shows that the Global Competitiveness Index (GCI) has a high correlation with the level of productivity, and selected post-Soviet countries with high national competitiveness had higher long-term economic growth and per capita income. It was determined that GCI contributed positively and statistically significantly to the increase of the income level in the considered post-Soviet countries in 2004-2018. The article [10] examined the relationship between competitiveness and per capita income in countries with natural resources and drew specific conclusions on Nigeria. The aim of the article [4] was to provide insights into the role of competitiveness in promoting economic growth and development in the context of Iran. By evaluating the relationship between GCI and economic growth, the authors shed light on the factors that contribute to or hinder economic progress in Iran and other comparable countries. The main idea of the article [13] was to identify and analyze the main factors that drive competitiveness in the European Union (EU) member states. The authors tried to clarify the determinants of competitiveness and their impact on the economic performance of the EU-28 countries. They examined a wide range of factors affecting competitiveness, such as innovation, human capital, infrastructure, business environment and institutions. In this article, empirical analysis and statistical methods were used to evaluate the relationship between these factors and competitiveness indicators. The article examines the key drivers of competitiveness, providing insights and policy recommendations to increase the competitiveness of EU member states. The paper's findings can help policymakers and stakeholders identify areas that require attention and investment to improve economic performance, promote growth, and maintain long-term competitiveness. The main idea of the paper [1] is to investigate the relationship between GCI and economic growth in developed and developing countries. The authors assessed the impact of the GCI, a widely recognized indicator of competitiveness, on economic growth in selected countries. They used quantitative methods and statistical analysis to examine the relationship between GCI score and economic growth indicators. The model estimation results show that GCI score has

positive and significant effects on per capita GDP growth in selected developed countries, and a 10% increase in a country's GCI score will lead to a 17.33 percentage point increase in economic growth. This value is 15.49 percentage points for selected developing and emerging countries. The results of this paper show that compared to the GCI score; the "net growth rate" reveals a positive and strong correlation, which is consistent with the idea that the GCI is a good indicator of an economy's level of productivity or competitiveness. The main idea of the article [5] is to identify and analyze the factors affecting the competitiveness of national economies, with special attention to per capita income as an indicator. By examining countries' per capita incomes, the authors attempted to identify the determinants that contribute to the competitiveness of their economies. They examined various factors that can affect per capita income, such as economic policy, infrastructure, education, technological advances, trade openness, and institutional quality. The article aims to shed light on the determinants of national competitiveness by analyzing these factors and their impact on per capita income. Using quantitative analysis and statistical methods to assess the relationship between identified factors and per capita income, the authors provide insights into the drivers of economic performance and competitiveness. The results of the study can contribute to a better understanding of the factors that promote or hinder economic competitiveness, and provide valuable information for policymakers and stakeholders in the development of strategies and policies that increase national competitiveness and improve the level of per capita income. The purpose of this paper is to conduct an empirical analysis to identify the factors that are important in the construction of GCI. From the latter study, it can be concluded that the determining factors of a nation's global competitiveness depend on its development level. The role of factors in the construction of the global competitiveness index is different. In all countries, the most powerful factor influencing global competitiveness is the business environment. Next, come the factors of infrastructure and innovation, institutions and governance, education and telecommunications. The article [3] shows that economic growth is associated with both price and non-price competitiveness factors, for example, as other studies show, with education [6, 7] and knowledge dissemination [2]. Here we are talking about different pillars of the GCI index. Gaining competitiveness is a key objective for the medium and long term, and has a significant impact on improving living standards by boosting economic growth. The analysis can be extended by using other measures of competitiveness (e.g. export market shares) as well as disentangling the effects of different components of the GCI. This includes infrastructure, institutions, etc., among the pillars that have a strong impact on economic development in EU countries. It

should be noted that a brief overview of the numerous literatures available in this field leads to the conclusion that the country's competitiveness has a positive effect on its economic growth, population welfare, and per capita income.

## 2. DATASET AND MODEL SPECIFICATION

It should be noted that in the relevant literature, the global competitiveness index was evaluated on a scale of 0-7 for the years 2007-2015, and on a scale of 0-100 starting from 2016. Considering this point, the values on the 0-7 scale were transferred to the 0-100 scale, and the dataset was formed and described in the following table.

Table 1. Dataset

Year	Azerbaijan Competitiveness Index (mix format)	Azerbaijan Competitiveness Index (in 0-100 scale)	INCOME_PC (in Azerbaijani manat)
2007	4,12	58,86	1692.3
2008	4,07	58,14	2378.3
2009	4,10	58,57	2560.4
2010	4,30	61,43	2866.1
2011	4,29	61,29	3371.7
2012	4,31	61,57	3789.3
2013	4,41	63,00	4040.3
2014	4,51	64,43	4192.4
2015	4,53	64,71	4380.7
2016	4,50	64,29	4710.1
2017	60,28	60,28	5053.2
2018	60,04	60,04	5407.8
2019	65,72	65,72	5731.8

Source: author's calculations based on official data of SSC AR and weforum.org

The model specification is as follows:

$$\text{LOG}(\text{INCOME\_PC}) = C(1) + C(2)*\text{LOG}(\text{COMP\_INDEX}(-5)) \quad (1)$$

Here, INCOME\_PC shows per capita income (in Azerbaijani manat), and COMP\_INDEX shows Azerbaijan's international competitiveness index (on a scale of 0-100).



### 3. THE MAIN RESULT

The corresponding regression equation is constructed as follows:

$$\text{LOG}(\text{INCOME\_PC}) = -6.83550866357 + 3.71726679545 * \text{LOG}(\text{COMPET\_INDEX}(-5)) \quad (2)$$

The main statistical characteristics of the model are described in table 2 below.

Table 2. The main statistical characteristics of the model

Dependent Variable: LOG(INCOME_PC)					
Method: Least Squares					
Date: 02/22/23 Time: 10:57					
Sample (adjusted): 2012 2019					
Included observations: 8 after adjustments					
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
C	-6.835509	2.419659	-2.824989	0.0302	
LOG(COMPET_INDEX(-5))	3.717267	0.588873	6.312509	0.0007	
R-squared	0.869132	Mean dependent var			8.438078
Adjusted R-squared	0.847321	S.D. dependent var			0.146004
S.E. of regression	0.057050	Akaike info criterion			-2.677463
Sum squared resid	0.019528	Schwarz criterion			-2.657602
Log likelihood	12.70985	Hannan-Quinn criter.			-2.811413
F-statistic	39.84777	Durbin-Watson stat			2.055627
Prob(F-statistic)	0.000738				

The economic interpretation of the model is that 1% increase in Azerbaijan's international competitiveness index increases the per capita income of the population by 3.72% with a 5-year delay. We explain the 5-year delay by the fact that the international competitiveness index is an aggregate indicator consisting of 110 sub-indices, which are grouped in 12 directions. These groups cover almost all areas of economic, social and cultural life. Naturally, these points lead to the fact that per capita incomes are realized as a unity of numerous combinations through various mechanisms. Note that the calculations were performed using the Eviews application package. All necessary tests were performed (correlogram of residuals, Jacque-Bera normality test, Breusch-Pagan-Godfrey test to check whether the residuals are heteroscedastic, ADF test to check whether the residual series is stationary) and the constructed model is adequate.

## 4. CONCLUSION

In the article, the effect of competitiveness on the income of the population in the example of Azerbaijan was evaluated econometrically. The assessment was carried out for the global international competitiveness index and per capita income indicators. It was determined that the international competitiveness index has a positive effect on the per capita income of the population with a certain time delay. The fact that the positive effect occurs with a certain delay is related to the fact that the per capita income is realized both directly and indirectly and through various mechanisms under the influence of various factors. International competitiveness is a driver of socio-economic and cultural development, and its positive impact on per capita income, which is one of the main components of human well-being, matches the relevant theoretical provisions of economic theory and the results obtained in relevant scientific literature.

## REFERENCES

1. Bafandeh Imandoust S., Mofidi A. Measuring the impact of global competitiveness index (gci) on economic growth in selected developed and developing countries. *Journal of Economics and Regional Development*. 2017. Vol. 23. №. 12. P. 65-95. <https://doi.org/10.22067/erd.v23i12.57262>. (date of application: 21.05.2023).
2. Boiko A., Kramarenko O., Shabanov S. The State of Dissemination of Open Research Data in Ukraine and the World: Bibliometric Analysis. *European Journal of Management Issues*. 2021. Vol. 29. №. 4. P. 209-217. <https://doi.org/10.15421/192120>. (date of application: 21.05.2023).
3. Cazacu A. M. et al. Global Competitiveness Index and economic growth. *In International Finance and Banking Conference*. 2015. P. 369-381. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Ana-Maria-Cazacu/publication/335618896\\_Global\\_Competitiveness\\_Index\\_and\\_economic\\_growth/links/5d70a8764585151ee49e570a/Global-Competitiveness-Index-and-economic-growth.pdf#page=369](https://www.researchgate.net/profile/Ana-Maria-Cazacu/publication/335618896_Global_Competitiveness_Index_and_economic_growth/links/5d70a8764585151ee49e570a/Global-Competitiveness-Index-and-economic-growth.pdf#page=369).
4. Dadgar Y., Nazari R., Fahimifar F. The impact of Global Competitiveness Index (GCI) on Economic Growth in Iran and some selected countries. *OIDA International Journal of Sustainable Development*. 2018. Vol. 11. №. 12. P. 53-60. URL: <https://ssrn.com/abstract=3340682> (date of application: 21.05.2023).
5. Gdairia A., Sellaouti F. Determinants of national economies' competitiveness based on per capita income. *China-USA Business Review*. 2018. Vol. 17. P. 122-134. URL:

<https://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/5b06385c0372d.pdf> (date of application: 21.05.2023).

6.Hajiyev N., Shabanov S., Hasanli Y. Econometric Evaluation of Impact of Education Quality on Economic Growth in Azerbaijan. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*. 2021. Vol. 12. №. 6. P. 1397-1404. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i6.2484>.

7.Hasanli Y., Shabanov S. Estimation of Impact of Innovations on the Quality of Tertiary Education. *The 6th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications*. 2018. P. 185-187. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4323632>.

8.Porter, M. E. The competitive advantage of nations. *Harvard Business Review*. 1990. Vol. 68. №2. P. 73-93.

9.Sala-i-Martin X., Artadi E. V. The global competitiveness index. *The global competitiveness report*. 2004. Vol. 2005. P. 51-80.

10.Sala-i-Martin X., Subramanian A. Addressing the natural resource curse: An illustration from Nigeria. *Journal of African Economies*. 2013. Vol. 22. №. 4. P. 570-615. <https://doi.org/10.1093/jae/ejs033>.

11.Schwab K. The global competitiveness report 2018. – *World Economic Forum*, 2018. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018/> (date of application: 21.05.2023).

12.Schwab K. The global competitiveness report 2019. – World Economic Forum, 2019. URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf) (date of application: 21.05.2023).

13.Simionescu M. et al. The main drivers of competitiveness in the EU-28 countries. *Journal of Competitiveness*. 2021. Vol. 13. №. 1. P. 129. <https://doi.org/10.7441/joc.2021.01.08>.

14.Sodikov A. et al. Impact of national competitiveness on economic growth and income level—evidence from the selected post-Soviet countries. *Res. World Econ.* 2021. Vol. 12. №. 2. P. 17-36. <https://doi.org/10.5430/rwe.v12n2p17>.

# **INNOVATIVE TRANSFORMATIONS OF SCIENCE-INTENSIVE INDUSTRIES IN THE NATIONAL ECONOMY OF AZERBAIJAN: FROM ENGINEERING TO A DEVELOPED ICT SECTOR**

*Samira Huseyn Abasova*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7059-7664>

Economy institute of Azerbaijan Ministry of Science and Education,  
Baku, Azerbaijan

## **INTRODUCTION**

Azerbaijan exports to other countries not only processed agricultural products, but also science-intensive and high-tech ICT services. If until 1990 the science-intensive industries of Azerbaijan were oil engineering, machine tool building, shipbuilding, instrument making, electrical engineering, then since 2013 Azerbaijan has become a space power and science-intensive and high-tech industries have become telecommunications and the ICT sector.

If the share of manufactured machine-building equipment in the world's imports and exports is now 0.1%, then the share of the turnover of ICT services in the world is equal to 14%. This study examines the role of innovative transformations in science-intensive and high-tech sectors of national economy of Azerbaijan. In 2021 the share of exports with high technological intensity increased to 13.6%, and imports with high technological intensity increased to 2.3%. Export of creative goods increased by 25 points for 2022. The volume of import and export operations on computer services has continued to increase since 2016 - in 2020, imports increased by 1.5 times compared to 2016, and exports increased by 167.8%. Let's investigate the role innovations in science intensive sector of national economy of Azerbaijan from 1920-2023 years.

## **1. INNOVATIVE TRANSFORMATIONS IN THE SCIENCE-INTENSIVE SECTORS OF THE ECONOMY OF AZERBAIJAN FOR 1920-2023**

The development of oil engineering in Azerbaijan and the issues of intensification of scientific and technical development in engineering are reflected in the works of S. Akhverdova; problems of organization and management of the machine-building complex of the Azerbaijan Republic in the works of T. Veliyev, M. Akhundov, T. Aliyev, M. Atakishiyev, G. Suleymanov. R. Agayev and B. Kadirov studied the problems of the scientific and technical potential of Azerbaijan in the conditions of transition to

the market; and T. Abbasov - problems of integration of science and production in Azerbaijan [1].

The following scientists-economists of Azerbaijan dealt with the organization of innovation management in industry: G.Ganjiev studied the development of science and its role in scientific and technological progress; M.Rubinshtein studied the problems of stimulating the process of innovation in economic activity; T.Huseynov was interested in ways to improve the use of fixed assets of the oil engineering industry in Azerbaijan and the problems of the efficiency of engineering in the scientific and technical development of society.

In addition, general methodological issues and organizational and managerial functions of innovations were covered in the works of economists-researchers such as G.Z. Yuzbashiyeva, R. Sultanova, N. Kurbanov, E. Kasymov, A. Abbasov and others [2].

Until 1920, the Azerbaijani industry was based both in joint-stock companies (for example, the Caspian Society), which included both shipbuilding and ship repair, metallurgical and metalworking plants, as well as large diversified engineering plants, and small tool repair plants [23-24].

During the years of industrialization (1920-1930) in the field of mastering new equipment and technologies were created only domestic samples of new equipment and technology in the field of drilling and oil production, and also were created the production of rods and deep-well pumps, oil equipment and equipment for sale to abroad. Products were sent not only to the oil-producing regions of Baku and Grozny, but also to the coal basin of Donetsk. During this years Azerbaijan enterprises were organized and implemented new management methods like as social competition.

In the period 1931-1940 were manufactured the first series of mud pumps, metal above, were introduced into production, electric hoists were put into operation, the first Soviet turbodrills, were developed a cementing unit, serial LT2-60 hoists, flushing units, was created oilfield equipment for drilling in offshore fields and for geological exploration, which was not the analogues all over the world. The new methods of production functioning include the transition from universalization to specialization, the organization of socialist competition, the organization of the Stakhanovist movement, the movement of "thousanders". There is a spasmodic development of mechanical engineering and a downward trend in growth rates. Production expansion underway in an extensive way.

Scientific laboratories have been set up in "Azneft" and "Azneftemash" trusts, in company "Vseburneftemash" to conduct experimental design, either for design and technological innovations in oil engineering and oil production. Was created the Main Research institute for Petroleum Engineering. Before the start of World War II, the oil

engineering plant was completely updated with the most modern equipment from the USA and England, due to which the latest turbodrills for oil production were produced not only for the USSR, but also for foreign countries [2].

But during the war, all oil engineering plants were evacuated to Perm (Russian Federation). In Baku, were functioned either military-profile factories or small-scale factories for the production of oilfield equipment and tools. A number of new types of products were mastered: auto-tractor parts, spare parts for compressors of the Clark system, diesel spare parts, power stations, lifts and washing units, spare parts for some imported tractors and cars, were applied new methods of steel smelting.

During these years, local resources are used to the maximum. Is organized the production of many types of raw materials, materials, semi-finished products in the republic, are used the substitutes for raw materials and semi-finished products in the production of some types of machine-building products. There is an expanded reproduction on the basis of extensive types of industry development.

For 1946-1960 “Azneftemash” Trust was reformed from the remaining 32 small engineering and metalworking plants. 9 new factories were organized in the field of the electrical industry, instrument making and household engineering [2].

In 1956-1963 all trusts were transformed into Machine-building State Department under Economic Council of Azerbaijan. The industry of Azerbaijan already consisted of six main areas: 1) metalworking, 2) mechanical engineering, 3) electrical industry, 4) instrument making, 5) household engineering and 6) building materials industry. About 770 types of new products and 1500 standard sizes were developed and put into operation. The main exporters were the countries of Asia Minor, Latin America, the socialist camp. These years saw radical innovations in oil engineering, for which the government of the USSR allocated subsidies for the renewal of equipment. But there remained a fairly large amount of labor-intensive work requiring physical labor, mainly in the field of oil production.

The territorial-branch management structure was fully formed in Azerbaijan for 1964-1972. Small-, medium-, and large-scale plants united in USSR Department of Production Unit and Scientific&Production Unit. During these years, the bearing industry was also established. Were created about 184 samples of new types of machines, equipment, devices, apparatus; was produced over 650 items of industrial products nomenclature; mastered the production of complex drilling rigs and blowout prevention equipment; produced products of power engineering, instrumentation, electrical industry, machine tool building. In this years has been prepared the Main plan for the development of subject specialization. More than 20,000 rationalization

proposals have been put into production. Features of industrial production are characterized by the absence of closed cycles of industrial production and a wide program for the disposal of industrial waste.

Improving innovations were next: modernization of equipment, the introduction of advanced technologies for the manufacture of oilfield equipment, the production of equipment for the separate operation of oil and gas, the introduction of a subject-industry type of specialization and its various types - nodal specialization, detailed specialization, measures for the specialization of technologies [1].

In 1973-1984 was born the electronic and radio industry of Azerbaijan. Are observed the improvement innovations, reorganization of production processes' management and transfer to intensification in manufacturing. During these years, the management system is partially transferred to a 3-level system, top and middle managers give preference to the development of program-targeted management methods. Over the years, 230 standard sizes of obsolete equipment have been removed from production, products of the electronic and radio industries, mechanical engineering, light and food industries have been mastered [3-4].

Will be applied the electrophysical and electrochemical processing methods, ultrasonic and electroerosive methods, group technological processes. The production of equipment for non-destructive control of production has been mastered. Has been arranged the export of oilfield equipment to the countries of the Middle East, Latin America, the countries of Union for Mutual Economic Assistance and have been organized the single orders for capitalist countries.

There is a development of new types of materials, polymers in parts and components of equipment, especially in instrument making and the electrical industry. Over the years, the industry of Azerbaijan has shown a trend of slow renewal of technological equipment and non-compliance with world technical requirements.

During the period of perestroika (1985-1991), various innovations were introduced in the field of industrial production's functioning and in the field of the rational use of economic management methods, such as independence and self-financing of production units from the site to the software, self-financing. Joint ventures are being created in the production of high-tech motors, in the field of household instrumentation (Azerbaijan-Italian company "Bakmil", Azerbaijan-Japanese company "Bakkonditioner"). The production of household appliances based on import licenses is being mastered. Elements of remote and automatic control are produced. There is an increase in the share of automatic and semi-automatic, flow-mechanized and flow-conveyor lines, complex-mechanized shops and sections; deepening of nodal and technological specialization

and concentration of production [7].

Certification of machine-building products by quality categories is carried out. There is a decrease in metal consumption due to the use of synthetic materials. Are being created the first territorial-production complexes in the field of thermal power engineering. Is being achieved the access to the world market for products of instrument making, radio industry and electrical industry, as well as household engineering.

During the period 1992-2003 Azerbaijan's national economy has undergone a number of changes. If in the early 1990s the industry was still creating new models of oil equipment - new generation deep-well pumps, that meet the technical conditions of world standards, special vehicles, auto containers, new (more than 10) types of electric motors, electric motors low power, then since the middle of 1995 this has not been observed [5-6].

The privatization of small machine-building enterprises began simultaneously with the restructuring of industry. The government is developing programs for the revival of mechanical engineering in 1996, creating a draft of a new trade policy. Trade relations are expanding. Azerbaijan is creating new foreign economic relations with Iran, Turkey, Turkmenistan, Russia, Kazakhstan, Ukraine, Uzbekistan, Egypt. The experience of the Italian enterprises of the company Soilmek and Komerint in Milan in the field of household instrumentation is being introduced. But market relations dictate their own laws and many industries die off gradually [7].

Since 1990, the number of created new types of machines, equipment, devices, devices and automation equipment has decreased from 39 units to 8 units in 1995 [1-2], [25]. Among them, there were no samples, the technical level of which is higher than the level of the best domestic and foreign analogues. In addition, for 1991-1996 on average for the year were created 47.6% less of new types of machines, equipment, apparatus, instruments and automation tools.

Many industries have ceased to exist: instrument making, the electrical industry, ferrous metallurgy, the tool industry, machine tool building, the production of household appliances, and many backlogs of advanced technologies. Some large and medium-sized industrial enterprises cease to function. Small enterprises are being created in the field of repairing cars, computers, and calculators. Pharmaceuticals, medical services, banking infrastructure, information technology and telecommunications are developing. At this time, a multi-structural economic system is being created, a triad of the economic management system is being formed: the state, the market, the hierarchy [5-6].

There are main shortcomings in the insufficient capital investments in scientific and production developments, an exorbitant long period of R&D development from idea to consumer in the form of scientific and technical



products, poor organization of innovation process management in industry, especially in the machine building of the republic. To solve this problem, it is necessary to use technical, technological, economic, organizational and social factors in the development of industrial production and rationalize the process of organizing innovation management [1-2]. The technological underdevelopment of the industry, including the machine-building complex of Azerbaijan, creates problems in the organization of innovations. Technological development is directly related to state support in the field of science, education and industry. Technological development is unthinkable without state intervention: through legal, financial or market-oriented mechanisms for regulating innovation processes [1-2].

Reconstruction and intensification process, development of new scientific and technical products and the use of high technologies for the means of production, the innovation cycle of transformations were important elements of the study of the innovation management process.

Table 1 reflects the industrial performance of Azerbaijan in the UNIDO ranking [32]. As can be seen from Table 1, the share of medium and high value-added sectors of the manufacturing industry, as well as the share of the manufacturing industry in total exports, decreased in 2011 compared to 2006 [8]. And the share of products of medium and high technological level in the export of the manufacturing industry, on the contrary, increased from 11.9% in 2006 to 13.9% in 2011. This is also due to the fact that since 2010 Azerbaijan began to develop ICT sector of the economy.

Table 1: Industrial indicators of Azerbaijan in the UNIDO rating [8, 32]

Indicators	2006	2010	2011
The share of medium and high technological level industries in the value added of the manufacturing industry, %	9,5	6,3	6,3
Share of products of medium and high technological level in manufacturing exports, %	11,9	17,2	13,9
Share of manufacturing industry in total exports, %	34,5	10,5	9,8

Since 1990, Azerbaijan has been transforming its economy. First, the market structure and its accompanying infrastructure developed (1992-2003): banking, insurance, financial and credit institutions. Further attention began to attract the tourism industry and related hotel business, food and restaurant business, banking services, ticketing and tourist insurance services, passenger transportation by road and air (2003-2023). Along with tourism, carpet weaving, the manufacture of scarves and daddies, leather goods and souvenirs also developed to satisfy the interest of foreign tourists.

Since 2013, Azerbaijan has become a space power and has been developing both its own and improving software and technologies for this

industry [13-15]. Electronic types of services are developing - e-government, e-banking, e-medicine, e-trade [14], e-commerce, etc. During the pandemic, the areas of e-banking [17], e-medicine, e-trade, e-education, e-training, e-sign, e-tourism and etc. Simultaneously with electronic services, telecommunications and information technologies have been developed [9-10].

During the years of the pandemic (2020-2022), Azerbaijan quickly switched to the digitalization of the national economy. The presence of satellites and a wide range of telecommunications equipment made it possible to cover all regions of the country with high-quality communications and ICT services [11-12].

Over the past 20 years (2003-2023), the structure of the national economy has undergone a number of changes - many branches of engineering and metalworking have lost their status, the former machine-building complex is now characterized mainly by oil engineering, the production of special vehicles and maritime transport. The chemical industry - only petrochemistry, the manufacture of plastics and polymer products.

## **2. ANALYSIS AND ASSESSMENT OF AZERBAIJAN'S INNOVATIVE TRANSFORMATIONS IN THE SCIENCE-INTENSIVE SECTORS OF THE ECONOMY**

The Azerbaijan government has focused on effective measures for the socio-economic development of the country. In January 2022, residents of industrial zones invested 6.4 billion manats in the country's economy, including in 2021 - 247.7 million manats. More than 9.7 thousand jobs were created. Under existing projects, it is additionally planned to invest more than 370 million manats of investments and create more than 2,400 permanent jobs. Non-oil sector of Azerbaijan grew in 2021 by 7.2%, foreign exchange reserves increased by 2.5 billion dollars USA.

Minimum wage on December 2021 became 300 manats, the subsistence minimum for the able-bodied population - 220 manats, the average wage – about 425 US dollars. Social spendings in 2022 will increase by 1 billion 649 million manats (AZN) and will reach the volume of 13 billion 850 manat (AZN) or 46.4% of state budget expenditures [27]. In 2021 exports reached 22.2 billion USA dollars, non-oil exports amounted to 2.7 billion USA dollars, exports in the non-oil sector increased by 870 million USA dollars (47.2%) compared to 2020. Exports of fruits and vegetables increased to 22.9 USA million dollars (in common 630.4 million US dollars), exports of the chemical industry increased by 2.9 times. The positive balance in foreign trade exceeded 10 billion USA dollars [16].

Radiophysics, laser technology, electronics, optoelectronics, chemistry and catalysis, cosmonautics, a number of new technologies and

inventions have led to the creation of science-based products [18]. The technologies that enable the creation of such products are called science-based technologies.

Today Azerbaijan is represented by more than 100 types of science-intensive and innovative products and services in the field of construction engineering; metal processing and detection of defects; in the field of purification and regeneration of liquids, oils, fuels; in the field of installation and repair of construction equipment; in the field of providing construction equipment services; in the field of electrical engineering; in the field of shipbuilding; in the automotive industry and etc. Among them are the following [31]:

- Device for laser scanning of objects - products of the company "Laser Gulf";
- Rent, rental of equipment for telecommunications, development of projects of telecommunication systems of the campaign - products and services of the campaigns "Fuadakva, JV", "Granit, AS Company"; "Criogen, JV", "Altun Temel, JV", "4Comfort, JV", "ABC Consulting, JV";
- Production of auto parts by subcontracting from "AST-M-Trans";
- Manufacture of parts and units of general engineering from "AST-M-Trans";
- SKD and SKD car assembly from "Berlin Wasser";
- Exploration works – service of "Kangarli, JV" campaign;
- Production of models of industrial and residential buildings - products and services of the campaign "M Studio".

Since 2008, the sources of financing were not only investors, but also the enterprises themselves - 73.5% in the industry of Azerbaijan. Consider the data on investments, on technological costs and on profits in the industry of Azerbaijan for 2017-2020 (Table 2.).

As can be seen from Table 2. the pandemic has affected the economic performance of Azerbaijan's industry. For 4 years the indicators on investments (-14.5%), on profit (-18.0%), on net profit (-21.0%) worsened. But the cost of technological innovation has increased by about 2 times.

Azerbaijan's exported ICT services continue to grow, despite the fact that they are about 100 times less than imported ICT services. As can be seen from Table 6, this increase in the export of computer and peripheral equipment was 212.9%, in the export of telecommunication equipment it was 128.3%, and in the export of electronic equipment a 5.5 times increase was observed [28].

If we look at to Table 3., we will see that Internet communication, mobile phone communication service, telephone communication, as well as the sale of computer and peripheral equipment have the main share in the volume of product release and service provision in ICT sector of Azerbaijan [18].

**Table 2: Investments, technological innovations' expenditures and profits in Azerbaijan industry (million AZN) [25-26]**

Indicators	2017	2018	2019	2020	In 2020 to 2017, in %
Investments	10610.1	8497.2	9258.0	9065.3	-14.5
Total profit	25466.4	326443.1	30489.5	20884.2	-18.0
Net profit	23986.8	31104.8	28628.9	18949.6	-21.0
Expenditures to technological innovations	16.1	34.3	48.0	35.9	222.9

**Table 3: Azerbaijan ICT sector's producing outputs and services, million AZN [28]**

	2015	2017	2019	2021	In 2021 compared to 2015, %
Total:	1589,3	1688,0	2089,2	2249,6	141,5
<i>From them:</i>					
Internet communication	112,5	132,7	157,1	249,0	221,3
Other communication activities	137,1	174,5	264,9	260,1	189,7
Mobile phone communication service	874,3	857,0	912,2	980,9	112,2
Phone communication service	222,3	194,5	196,9	224,3	100,9
Sales of computer and peripheral equipment	27,3	22,3	35,5	46,0	168,5
Computer manufacturing	0,01	1,7	8,0	17,0	17 times

As can be seen from Table 3., the share of mobile phone communication in the export of ICT products and services is equal to 43.6%, the share of internet communication - 11.0%, the share of other communication activities - 11.6%, and the share of telephone communication - 10.0%. In 2021 compared to 2015, computer production increased 17 times, and internet communication increased by 221.3%.

In 2010-2018, despite a 10% decrease in ICT sector investments, ICT goods' production in Azerbaijan increased by 1.5 times, and import by 4.9 times. VAT increased by 56%, and the volume of investments decreased by 10% [24-25], [28].

Recording Table 4, the import of ICT products has increased by 4 times, and its share among the products imported into the country has increased by almost 2 times. The volume of capital investments decreased by 60.1%. ICT product output has increased about 41.6%, but the volume of added value has risen about 71.4% [22].

Table 4: Dynamics of technical and economic indicators of Azerbaijan ICT sector, million AZN and % [26]

Indicators	2015	2017	2019	2021	In 2021 compared to 2015, %
Product (service) output	1589,2	1688,0	2083,2	2249,7	141,6
The amount of added value created	970,7	1038,1	1293,3	1663,8	171,4
The share of created added value in GDP, %	1,8	1,5	1,6	1,8	
Investments focused on fixed capital	338,4	170,2	294,7	135,0	60,1
Import of ICT products	268,6	565,1	901,6	1083,2	403,3
Specific weight of imported ICT products in the value of products entered the country, %	2,8	3,7	3,9	5,4	
The number of employees working in the ICT sector, thousand man	20,1	18,1	19,3	21,1	104,9
The ratio of workers in ICT sector to the number of workers in the economy, %	1,3	1,2	1,3	1,4	

As shown in the "Azerbaijan industry" state statistic collection, the production volume of computer, electronic and optical products that underwent significant changes or were newly applied due to the level of innovation was 27.9% of all industrial products in 2019, and 5.7% in 2021. The weight of significantly changed or newly applied products in the machine-building industry was 1.1% in 2019 and 0.1% in 2021 [29, p.77].

Look at the Table 5. Expenditures of technological innovation shows that a significant part falls on the manufacturing industry, including the metallurgy, engineering, and food industries (Table 5.).

As can be seen from Table 5. the technological innovations mainly cover product innovations. But recently the innovations have increased in metallurgy and mechanical engineering, which update technological lines. Metallurgy and mechanical engineering enterprises are modernising their production and introducing up-to-date automated lines.

Table 6. shows knowledge-intensive products in the industry of Azerbaijan, which have no analogues in the world and which have been improved. As can be seen from Table 6. the creation of science-intensive products is of a spasmodic nature and depends on investments. In recent years the domestic enterprises have mainly used the internal sources of financing for innovation.

Capital investments in all branches of machinery are spasmodic in nature. Machinery is dominated by an extensive, labour-intensive method and a territorial-production orientation of expanding production. Expect of enterprises in the oil and petrochemical industries, of industrial park in the

city of Mingachevir [30] and of Sumgayit Technological Park [30-31] many republic enterprises are developing in a territorial-production way of expanding production, which most of all corresponds to the extensive type of industrial development.

Table 5: Expenditures to technological innovations in industry by types of innovations (thousand USA dollars) [25, p. 104]

Indicators	2017	2018	2019	2020	In 2020 to 2017, in %
All industry	16135.7	34353.6	48037.1	35919.8	222.6
-product innovations	10439.6	23298.7	38343.5	20059.2	192.1
-process innovations	5696.1	11054.9	9693.6	15860.6	278.4
Manufacturing	16104.0	32967.6	47658.5	34918.7	216.8
-product innovations	10438.6	22619.4	38053.5	19421.0	186.1
-process innovations	5665.4	10348.2	9605.0	15497.7	273.5
Manufacture of food products	81.5	-	208.7	8667.0	App. 100 times
-product innovations	81.5	-	208.7	8667.0	App. 100 times
Manufacture of beverages	151.0	338.0	642.0	-	-
-product innovations	-	336.0	642.0	-	-
-process innovations	151.0	2.0	-	-	-
Chemical industry	664.7	215.4	-	-	-
-product innovations	637.4	214.4	-	-	-
-process innovations	27.3	1.0	-	-	-
Manufacture of basic metals	72.0	144.0	4202.2	12479.2	173 times
-product innovations	72.0	144.0	4202.2	3983.2	55 times
-process innovations	-	-	-	8496.0	-
Machinery	13940.1	18432.5	15583.0	9510.3	-31.8
-product innovations	8620.7	18421.2	5983.0	3008.6	34.9
-process innovations	5319.4	11.3	9600.0	6501.7	122.2

The fourth Programme for the socio-economic development of Azerbaijan regions (2019-2023) suggests taking this circumstance into account and creating industrial and agricultural processing enterprises, taking into account innovative transformations [30].

Table 7. demonstrates how could the organizational resources increase the production efficiency of science-based products. Production processes improve and renew the funds in manufacturing fields, involve of technically and technologically complex products with high R&D expenditure, optimize the organizational relations, attract all of financial resources [18-19].

One of the main conditions for Azerbaijan's participation in the world economy is the activation of innovation and scientific and technical activities, the structural reconstruction of the economy on basis of development

of high-tech science-intensive products. At present, countries that do not apply new scientific and technological innovations in production cannot compete in the world market. Thus, the most important factor to take into account in the development of enterprise development strategies is the application of science-based technologies and scientific innovations in production.

Table 6: The volume of innovation products by level of innovation and by kinds of economic activity, thousand AZN [25, p. 102]

	Production which has undergone to significant changes or again restored			Improved products		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
All industry	28952.2	21698.1	11759.7	855.3	3905.9	16828.4
Manufacturing	28736.9	19202.4	9344.2	855.3	3905.9	16828.4
Manufacture of food products	831.2	328.0	-	-	210	-
Chemical industry	55.0	-	-	738.0	-	-
Manufacture of basic metals	7690.0	12560.0	2436.7	-	352.0	16800.0
Manufacture of computer and other electronic equipment	19937.9	6073.2	4742.0	-	-	-
Manufacture of machinery and equipment	222.8	8241.2	44.2	82.8	-	-

Over the past decade Azerbaijan has built a number of enterprises in the agricultural sector for the industrial production of dairy products and winemaking by European partners, and has also modernized the industrial enterprises in various sectors of the economy - in metallurgy, in engineering and in the railway sector by foreign investment from developed countries. Innovations in industrial production, in the infrastructure of the economy contribute to the development of the national economy of Azerbaijan.

Another area of innovative development is the ability to actively use government marketing policies, marketing strategies and advertising companies to export science-based products and services.

The increase in Internet use in Azerbaijan in recent years has created an important infrastructure for the development of e-commerce. This is due to the fact that Internet has changing towards innovation and their application of new management methods in many business models. Through them, Internet users become an important part of e-commerce. As we know, one of the most important factors for the sustainable development of e-commerce is the number of Internet users in the country. The spread of the Internet alone is not enough for e-commerce to thrive. A strong information infrastructure must be created in the country, the security of

e-commerce must be ensured, and legal regulation mechanisms must be created and applied.

Table 7: SWOT analysis of scientific intensity products of manufacturing field of Azerbaijan

STRENGTHS	WEAKNESSES
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ manufacturing production increasing last 10 years;</li> <li>➤ increasing the share of domestic investment in the country's economy;</li> <li>➤ industrial per capita profit increasing.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ decrease of VAT share in GDP;</li> <li>➤ technological innovations' low expenditures in many manufacturing industries;</li> <li>➤ approximate decrease in fixed capital investment in engineering industry;</li> <li>➤ product quality in the processing industry is below international standards.</li> </ul>
OPPORTUNITIES	THREATS
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ industry modernisation (especially opportunities for structural improvement);</li> <li>➤ export competitiveness increasing in non-oil industry;</li> <li>➤ high-tech production capacity using;</li> <li>➤ foreign investors' attracting;</li> <li>➤ proximity to major regional markets.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ existence of organizational difficulties in gaining access to foreign financial markets;</li> <li>➤ the country's industry lags behind the innovative processes taking place in the world industry.</li> </ul>

Starting a business in the field of ICT is the most successful business. Documentation on market development, ease of access to credit, micro-finance conditions, as well as the availability of ICT and creative organisational models provides the large opportunities for Azerbaijan entrepreneurs and stimulates the development of new businesses.

It is of particular importance to choose the right strategy for the sale of ICT services in Azerbaijan and the development of electronic commerce and e-banking systems and the realization of ICT products in foreign markets. These strategies should be based on attracting new customers and retaining old customers in foreign and domestic markets. Development of strategies will ensure the access of ICT products and services of Azerbaijan to foreign markets in the long term.

Marketing strategies are based on 2 main ones - pull and push strategies [21]. Push and pull strategies also are divided into stratification, differentiation, diversification and elimination marketing strategies. Table 8. shows the classification of these strategies.

In differentiated marketing strategy a company can offer a consumer



a new product that is different from its competitors. Through this differentiation, each firm can identify its target customer. Differentiation marketing strategy includes some strategies like as specialization on a certain ratio of quality and price. At the same time, the company should be engaged in the provision of either high-quality geographical specialization. The company provides services in a particular locality or region. Next strategy is the specialization on a certain ratio of quality and price. At the same time, the company should be engaged in the provision of either high-quality or low-cost services.

Table 8: Marketing strategies of ICT sector of Azerbaijan

Push strategies	Pull strategies
<i>Stratification marketing strategies</i>	<i>Diversification marketing strategies</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Offensive strategy;</li> <li>➤ Breakthrough strategies;</li> <li>➤ Innovative development strategy;</li> <li>➤ Strategies as a pioneer or innovator;</li> <li>➤ Follower strategies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Market entry strategy;</li> <li>➤ Product creation strategy is effective when new products appear;</li> <li>➤ The market expansion strategy is effective in identifying market areas with acceptable sales demand and revenue generation;</li> <li>➤ A retention strategy that can maintain its market position.</li> </ul>
<i>Differentiation marketing strategies</i>	<i>Elimination marketing strategies</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ End-user specialization;</li> <li>➤ Vertical specialization;</li> <li>➤ Specialization depending on the size and importance of customers;</li> <li>➤ Specialization in individual customer service;</li> <li>➤ Specialization on a certain ratio of quality and price;</li> <li>➤ Low-cost services;</li> <li>➤ Specialization in service;</li> <li>➤ Public Marketing Strategy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Retreat strategy;</li> <li>➤ Focused marketing strategy.</li> </ul>

One of differentiation strategy branch is a specialization in service. The firm offers one or more unique services that are not provided by its competitors. We also consider the vertical specialization - typical for companies that concentrate their efforts on the provision of certain types of services. Next strategy is a specialization depending on the size and importance of customers Strategy for entering the consumer market. It is recommended to use such a strategy when a company introduces an already known product to the market. A public marketing strategy is a specific cost

advantage. Using this strategy, the company is aimed at a wide target audience.

Let's consider diversification marketing strategies [1-2]. These strategies contribute to improvement of products' and services' positions through various strategic approaches. The product creation strategy is effective when new products appear. This strategy favors traditional sales methods using supportive marketing activities. The market expansion strategy is effective in identifying market areas with acceptable sales demand and revenue generation.. In this case the company focuses on serving small, medium or large customers. The market expansion strategy is effective in identifying market areas with acceptable sales demand and revenue generation. A retention strategy that can maintain its market position. It is used: with a stable position of the company, with missing opportunities for an offensive strategy, as a result of caution before taking specific actions. A public marketing strategy is a specific cost advantage. Using this strategy, the company is aimed at a wide target audience [1].

A retreat strategy is more often a necessary measure than a determinable one. In this case, the company independently reduces its market share. The rules of this strategy assume a gradual cessation of cases. A focused marketing strategy enables companies to organize opportunities in a single market segment.

Let's consider stratification marketing strategies. The marketing strategy of stratification requires large financial costs, which are necessary for radical and basic innovations that have no analogues in world. Monopolist producers also spend a lot of money on large-scale marketing research and on an advertising company. Due to the fact that the marketing strategy of stratification requires large investments in innovations of a radical nature, it is located in the Strength quadrant of SWOT analysis [1-2]. One of stratification marketing strategy is offensive strategy. It is an active, aggressive position of the company in the market, its goal is to gain and expand market share.

## CONCLUSION

The situation is improving, but the manufacturing industries have not yet improved their position, as there is no system and focus on specific priorities for sustainable economic development. It is advisable to facilitate the transition to an innovative stage of growth and development by attracting investments and qualified personnel that ensure the production of modern and high-tech products to achieve sustainable development of the economy and increase its competitiveness.

The specific weight of both imports and exports of knowledge

economy, hi-tech and creative products is very low, which indicates a low application of both process and product innovations. It is necessary to increase attention to this area.

Any slight increase observed in the import and export of ICT services in general trade can further improve the position of Azerbaijan. The increase and decrease of net FDI flows abroad (weight in GDP, three-year average) have a slight effect on the position of Azerbaijan among the world countries.

During last century science intensive sector of Azerbaijan Economy used to product and process technology innovations. After souverinisation Azerbaijan will use to another innovation changings' implementation methods like as marketing, searching new administrating approaches and new sources for producing products. Marketing method in modernity has using of all information technology applications such as social networks, electronic sites of the state, banks, industrial enterprises, advertising agencies and other institutions.

E-commerce leads not only to the increase of ICT services, but also to the increase of their quality and improvement of their technological characteristics, as well as to the increase in the realization of modern products and services in foreign markets.

In order to actively use innovations in the field of foreign economic relations, taking into account the factors affecting them, the areas with innovative development and high technological capacity, especially in the field of ICT, should be developed.

The ICT sector occupies a special place in Azerbaijan's import-export operations and has a positive effect on Azerbaijan's GDP evaluation indicators. Another direction of innovative development is the ability to actively use the state marketing policy, marketing strategies and advertising companies of science-intensive products and services exported abroad.

## REFERENCES

1. Abasova S.H. Technologies and Innovations' Management Organising. Baku, Azerneshr, 2007, 288p. (monograph in Azerbaijan)
2. Abasova S.H. State regulation of innovation processes in the industry of Azerbaijan. Munich, LAP-Lambert Academic Publishing, 2013, 177p. ISBN 978-3-659-37257-5. German book catalog – <http://dnb.dn-d.de>
3. Abasova S.H. On the issue of economic efficiency of the organization of the scientific and production cycle in the machine building of Azerbaijan Materials of the scientific conference of young researchers of the problems of the history of Azerbaijan, dedicated to the Independent

Azerbaijan Republic, Baku, AzINEFTECHIM named after. M.Az-izbekova, 1992, 492c. (c.172-186). (in Russian)

4. Abasova S.H. Problems of the scientific and production cycle in the engineering industry of Azerbaijan in a market economy. Azerbaijan scientific journal "Economics and Life", No. 1-3, 1993, p.1-13. (in Russian)

5. Abasova S.H. Innovation - as an organizational management mechanism. In the book: "Formation of Market Relations in Azerbaijan under the Conditions of Transformation of the Socio-Economic System". Baku, Elm, 1998, p. 127-133.

6. Abasova S.H. Application of innovation types in mechanical engineering. book: "Formation of market relations in Azerbaijan in the context of the transformation of the socio-economic system". Baku, Elm, 1998, p. 133-141.

7. Abasova S.H. On the issue of the influence of external and internal factors on the organization of management of innovations in the engineering industry of Azerbaijan. "The main trends in the socio-economic development of Azerbaijan at the present stage". Collection of articles: issue 1, Baku, Elm, 1999, p. 178-186.

8. Abasova S.H. State Support of Innovations in the ICT Sector for Increase the Export Potential of Azerbaijan. A collection of scientific articles on the materials of the 4th international scientific and practical conference "Role and importance of intellectual property in the innovative development of the economy". Kyiv, Institute of Intellectual Property, 372p. (p.10-16)

9. Abasova S.H. State Regulation of Foreign Trade Operations by Information Technology in Azerbaijan. Management of the development of social and economic systems in the new economy: materials of the International Scientific and Practical Internet Conference on October 19, 2017. ISBN 978-966-184-292-1. Poltava: PUET, 2017, 407p. (c.134-136)

10. Abasova S.H. The role of technological transfers in Azerbaijan. Proceeding of the first International Conference of European Academy of Science. ISBN 9781790335893. Bonn, Germany, 30-31.10 2018, 124p. (p.8-9). <https://academeofscience.com/archive> Google Scholar, Academy.edu

11. Abasova S.H., Shamkhalova S. Azerbaijan National Economy's Innovation Changing: in Case of Azerbaijan-Germany Economic Relationship. Book of Proceeding Vol.4/4 of 55th International Scientific Conference on Economic and Social Development was dedicated to Azerbaijan State university of Economics 90th anniversary. ISSN 1849-7535. Baku, 18-19 June 2020, 890 p. (p.360-371)

12. Abasova S.H., Safarov R., Yahya S. Influence of Macroeconomic Indicators to State Marketing Activity Management of Azerbaijan National Economy. The 7th International Conference on Control and

Optimization with Industrial Applications, 26-28 August 2020, Baku, Azerbaijan. COIA 2020, vol.2., 380p. (p. 14-17). <http://www.coia-conf.org/en/view/pages/22>

13. Abasova S.H. Changes in the innovation index of Azerbaijan in the context of globalization. The system "science - technology - innovation": methodology, experience, prospects : materials of the International Scientific and Practical Conference, Minsk, September 24–25, 2019 / Ed. V.V.Goncharova. ISBN 978-985-6999-24-9. Minsk: Center for System Analysis and Strategic Research of the National Academy of Sciences of Belarus, 2020, 656 p. (p. 85-91) (in Russian)

14. Abasova S.H. Online trade of Azerbaijan in pandemia. Proceedings of the scholarly abstracts. European Academic Science and Research. "EASR" SciPub.de, June, 2021, 43p. (p.6-7)

15. Abasova S.H., Safarov R.A. Analysis of on-line operations by Azerbaijan ICT sector in pandemia. Materials of the international scientific-practical conference "The system" science - technology - innovation ": methodology, experience, prospects". Minsk, Center for System Analysis and Strategic Research of the National Academy of Sciences of Belarus, 2021.

16. Abasova S.H., Yuzbashiyeva G.Z., Yuzbahsiyev I.H. Innovative Factors' Influencing to Azerbaijan National Economy Transformation. 07.07.2022. İARA conference <http://iaraconference.com/pdf/2nd-icctmr-souvenir.pdf>

17. Abasova S.H. E-banking implementation in pandemic: innovation changings in Azerbaijan. Scientific conference "System "Science-Technologies-Innovations": methodology, experiences, perspectives". Center for System analysis and strategic research of the National Academy of Sciences of Belarus. 22-23 September 2022. Minsk 2022. p.6. <https://sg.docworkspace.com/d/slMmd-d6dAcn4sJkG?sa=00&st=0>

18. Abasova S.H., Safarov R.A. Analysis of technological factors affecting e-commerce in Azerbaijan. Scientific conference "System "Science-Technologies-Innovations": methodology, experiences, perspectives". Center for System analysis and strategic research of the National Academy of Sciences of Belarus.22-23 September 2022. Minsk 2022. p.6. <https://sg.docworkspace.com/d/slMmd-d6dAcn4sJkG?sa=00&st=0>

19. Abasova S.H. 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, p.7-13.

20. Abasova S.H., Yuzbashiyeva G.Z., Yuzbashiyev I.H. Impact of innovative development on state regulation of the national economy:

comparative data of former USSR countries. *Journal Endless Light in Science, Kazakhstan, Almaty, 2, 2022, p.109-117*. Ret: <https://cyberleninka.ru/article/n/impact-of-innovative-development-on-state-regulation-of-the-national-economy-comparative-data-of-former-ussr-countries>

21. Abasova S.H., Safarov R.A., Shamkhalova S.O. 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, 2022, 890p. (p.69-82) ISBN 978-625-6380-58-5. URL:[www.iksadkongre.com/economy](http://www.iksadkongre.com/economy)

22. Abasova S.H. Analysis and Assessment of ICT Innovations Impact on Competitiveness of Foreign Economic Relations: Azerbaijan's Experience. *Ukraine Journal "Technology Audit and Production Reserves" № 5/4(67), 2022, p.29-37*.

23. Akhverdova S.H. Mechanical engineering is the basis for accelerating scientific and technological progress. Baku, Elm, 1988, 98c. (monograph in Russian)

24. Akhverdova S.H. Development of oil engineering in Soviet Azerbaijan. Baku, Elm, 1977, 170 p.

25. Azerbaijan industry. (2021). Statistical issue. Baku, Azerbaijan Statistical Committee, 245 p.

26. Azerbaijan Statistic Indicators. (2020). Statistical issue. Baku, Azerbaijan Statistical Committee, 2020, 814p.

27. Economy and military-industrial complex of Azerbaijan. (2022) Retrieved from: <https://t.me/oreps> [Ekonomika i VPK Azerbajdzhana], t.me / ORepsilon.

28. Information Society (2021). The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Available at: [https://stat.gov.az/source/information\\_society/?lang=en](https://stat.gov.az/source/information_society/?lang=en)

29. Foreign trade operations of Azerbaijan (2021). Statistical issue. Baku, Azerbaijan Statistical Committee, 124 p. (in Azerbaijan)

30. The social-economic development of regions during 2019-2023. (2021). Statistical issue. Baku, Azerbaijan Statistical Committee, 1, 728p.

31. Business portal Azerbaijan. Trade in a new way <https://az.all.biz/en/>. *All-Biz Ltd*. URL: <https://az.all.biz>.

32. [https://www.unido.org/sites/default/files/2013-12/UNIDO\\_IDR\\_2013\\_main\\_report\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2013-12/UNIDO_IDR_2013_main_report_0.pdf).

## TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL MODERNIZATION OF AZERBAIJAN ECONOMY: SOLUTIONS

*Gulshen Zahid kizi Yuzbashieva*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9609-5347>

Economy institute of Azerbaijan Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

*Israfil Habib oglu Yuzbashiev*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5854-3866>

SOCAR Trade Company, Geneva, Switzerland

### INTRODUCTION

The technical and technological modernization of the Azerbaijan economy at the current stage of development does not yet meet the requirements of long-term economic growth and development. Today, a lot of work is being done to overcome the technical and technological gap with developed countries, despite some local achievements, which requires a large-scale one. The lack of modern market relations, the low level of competition is one of the causes of technical and technological problems, which reveals the need to find our own way of effective modernization of the economy.

#### 1. AZERBAIJAN ECONOMY IN A COMPETITIVE ENVIRONMENT

As you know, a high level of competition can contribute to the deterioration of the country's economic development, as well as its low level or complete absence. For Azerbaijan this statement is relevant, due to the fact that there is still no mass market for innovations. There is a jump-like model of technical and technological development due to the presence of targeted incentives for enterprises. The need is revealed to determine how the innovation market is connected with the innovation policy of the state.

Azerbaijan Government is taking many measures to strengthen the innovative development of economy, actively contributing to its technical and technological growth and development. But the full development of innovative technologies' sector is hindered by foreign manufacturers that occupy a leading position in the technology market. This problem is closely related to the problem that hinders the development of exports of innovative products and services from the country.

The main prerequisite for the transition is a change in the relative efficiency of borrowing and innovation.

Table 1: High-tech exports and innovation index for the former USSR countries [4-5]

	Export of high technologies, mln. \$ and place						Innovation index and place			
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021		
Azerbaijan	21.18/104	28.00/92	33.91/89	22.21/76	30.20/81	30.20/84	27.20/82	28.40/80		
Belarus	716.99/56	756.91/57	801.65/55	856.74/48	29.40/85	32.10/72	31.30/64	32.60/62		
Georgia	26.95/101	19.35/101	14.03/100	16.89/79	35.00/58	37.00/48	31.80/63	32.40/63		
Kazakhstan	1762.98/47	2251.49/43	2492.25/43	-	31.40/73	31.00/79	28.60/77	28.60/79		
Kyrgyzstan	40.02/92	29.88/90	27.64/72	84.09/66	27.60/93	28.40/90	24.50/93	24.50/98		
Latvia	1881.86/46	1471.92/48	1837.83/47	1944.25/41	43.20/34	43.20/34	41.10/36	40.00/38		
Lithuania	2516.32/41	2527.02/41	2619.24/40	3106.96/36	-	41.50/38	39.20/40	39.90/39		
Moldova	18.94/107	24.97/95	18.9/95	21.77/77	37.60/47	35.50/58	33.00/59	32.30/64		
Russia	10183.01/31	10864.83/30	6524.88/33	10553.18/26	37.90/45	37.60/46	35.60/48	36.60/45		
Tajikistan	7.13/118	7.87/117	1.55/122	-	26.50/100	26.40/100	22.20/109	23.90/103		
Turkmenistan	12.43/109	20.48/99	42.22/87	15.07/80	-	-	24.5-94	27.40/86		
Uzbekistan	1247.56/49	1247.99/49	1175.95/51	1283.59/43	38.50/42	37.40/47	36.30/45	35.60/49		
Ukraine	1909.86/45	1735.68/47	2169.73/42	2680.43/38	50.50/25	50.00/24	48.30/25	49.90/21		



The lack of development of the innovation sector is the low demand for innovative products and services from the state and business [11]. Neither the private nor the public sector has yet shown sufficient interest in innovation [4-5] (Table 1).

We can see a slight increase in high-tech exports contributed to an increase in the innovation index and an improvement in the positions held (in 2018 - 30.20/81, in 2020 - 27.20/82, in 2021 - 28.40/80) in Azerbaijan. High-tech export positions improved (percentage of exports of finished products) in 2015 - 13.93 (109th place), in 2020. - 33.91 (86th place). Belarus has got the best position: in 2018 – 716.99/56 (million dollars/seat), in 2019 – 756.91/37 and in 2020. – 801.65/55.

Table 1. demonstrates a slight increase in high-tech exports contributed to an increase in the innovation index and an improvement in the positions held of Belarus (2018 - 29.40/85, 2020 - 31.30/64, 2021 - 32.60/62). High-tech export positions improved (percentage of exports of finished products) in 2015 - 577.13 (59th place), in 2020 - 801.65 (55th place) .

High-tech export positions improved (percentage of exports of finished products) in 2015 in Georgia. - 34.24 (98th place), in 2020 - 14.03 (96th place). Kazakhstan - in 2018 – 176.98/47 (million dollars/seat), in 2019 – 2251.49/43. Some growth in high-tech exports has not yet contributed to an increase in the innovation index and improvement in positions (in 2018 - 31.40/73, in 2020 - 28.60/77, in 2021 - 28.60/79).

High-tech export positions of Kyrgyzstan (percentage of exports of finished products) worsened in 2015 - 2855.23 (38th place), in 2020 - 2492.25 (43rd place). Some growth in high-tech exports has not yet contributed to an increase in the innovation index and improvement in positions (in 2018 - 27.60/93, in 2020 - 24.50/93, in 2021 - 24.50/98).

The share of Latvia exports of finished products has improved since 2015. Some growth in exports of high technologies has not yet contributed to an increase in the innovation index and improvement in positions (in 2018 - 43.20/34, in 2020 - 41.10/36, in 2021 - 40.00/38).

High-tech Lithuania export positions improved (percentage of exports of finished products) in 2015 - 1919.84 (42nd place), in 2020 - 2619.11 (41st place) - in 2018 – 18.94/107 (million dollars/seat), in 2019 – 24.97/95 and in 2020 - 18.9/95.

A slight increase in Moldova high-tech exports did not contribute to an increase in the innovation index and improvement in positions (in 2018 - 37.60/47, in 2020 - 33.00/59, in 2021 - 32.30/64). High-tech export positions improved (percentage of exports of finished products) in 2015 - 20.72 (103rd place), in 2020. - 18.90 (92nd place).

Table 1. shows some growth in Russia exports of high technologies contributed to the improvement of the innovation index and the

improvement of the positions held (in 2018 - 37.90/45, in 2020 - 35.60/48, in 2021 - 36.60/45). High-tech Russia export positions (percentage of exports of finished products) worsened in 2015 - 11449.52 (28th place), in 2020 - 6603.64 (33rd place).

The growth in Uzbekistan exports of high technologies contributed to an increase in the innovation index and improved positions (in 2020 - 24.50/94, in 2021 - 27.40/86). For high-tech exports in 2020 - 42.22 (84th place).

A slight increase in high-tech exports in Ukraine did not contribute to an increase in the innovation index and improvement in positions (in 2018 - 38.50/42, in 2020 - 36.30/45, in 2021 - 35.60/49).

A slight increase in high-tech Estonia exports contributed to an increase in the innovation index and improved positions (in 2018 - 50.50/25, in 2020 - 48.30/25, in 2021 - 49.90/21). High-tech export positions (percentage of exports of finished products) worsened in 2015 - 2052.94 (41st place), in 2020 - 2150.75 (45th place).

This confirmation is also provided by the regulation on the export of ICT services. Consider the data for the countries of the former USSR (Table 2.).

As shown in Table 2, in 2021 export of ICT services in Azerbaijan in the total percentage of export of services amounted to 2.54%, in Belarus - 31.3%, in Georgia - 8.5%, in Kazakhstan - 3.03%, in Kyrgyzstan - 2.6%, in Latvia - 18.5%, in Lithuania - 9.14%, in Moldova - 24.6%, in Russia - 12.99%, in Tajikistan - 3.19%, in Uzbekistan - 7.81%, in Ukraine - 38.64%, in Estonia - 21.43%.

Activation of state impact on country economic development will contribute to optimizing process of production structure in order to ensure the efficiency of economic systems' functioning. The main thing is to ensure economic growth and development through qualitative factors, including the achievements of science and new knowledge, since it is not just innovations and qualifications that are important, but their rational balance in order to obtain synergistic effects from their use.

It is advisable to transform and restructure industries, since the structure of industry is one-sided/ For example in 2021 industry structure consist from mining - 65.6%, processing (manufacturing) - 28.8%, power and water supply - 5.6%. In 2000 industry structure consist from mining - 53.5%, processing - 31.3%, power industry - 15.2%; in 2008: mining - 78.6%, processing - 17.7%, power industry - 4.7% [2].

The technological level of an economy depends on three components:

1. Disposal of obsolete and loss of qualities of existing technologies over time;
2. Positive activity of the authorities for technological modernization

based on the existing power potential;

3. Market processes for the creation and implementation of existing inventions (assumes the activity of the innovation market, depending on the potential number of real entrepreneurs).

Table 2: Export of ICT services  
 (in balance of payments, current \$ and in %) [3]

	Export of ICT services (balance of payments, current \$)				Exports of ICT services (% of exports of services, balance of payments)			
	2015	2019	2020	2021	2015	2019	2020	2021
Azerbaijan	86.82	58.44	65.2	96.3	2.96	1.6	2.5	2.54
Belarus	1004.7	2412.5	2700.2	3220.3	11.4	25.0	30.7	31.3
Georgia	45.0	113.8	113.9	215.9	1.9	2.5	7.2	8.5
Kazakhstan	550.3	131.6	144.95	175.9	2.09	1.7	2.9	3.03
Kyrgyzstan	42.4	14.7	13.8	13.5	2.3	1.4	3.2	2.6
Latvia	400.3	948.1	973.95	1133.94	7.04	15.2	18.1	18.5
Lithuania	284.1	759.2	1087.7	1464.6	3.64	5.72	8.71	9.14
Moldova	162.0	257.9	302.8	401.7	16.3	16.7	23.7	24.6
Russia	3933.5	5489.4	5936.2	7232.3	6.85	8.86	12.4	12.99
Tajikistan	12.8	6.8	5.7	4.7	4.92	2.82	4.11	3.19
Turkmenistan								
Uzbekistan	206.6	165.4	166.5	176.3	10.1	5.34	9.80	7.81
Ukraine	2105.0	4331.0	5181.0	7107.0	13.72	24.80	33.29	38.64
Estonia	509.3	1042.2	1132.9	2085.3	9.04	12.95	17.3	21.43

A twofold situation has developed: on the one hand, there are existing obstacles to full-fledged market processes and competition (and for the development of an innovative market), on the other hand, the state can participate in the creation of technological innovations. It can be said that the technological development of the country depends on the inventive, entrepreneurial ability of the population and on the activity of state power. The spasmodic and uneven nature of technological development is justified by the growth or slowdown in the pace of technological progress (Table 3).

Structural independence in Azerbaijan is low in 2020 (1.28), but improved in relation to 2018 (1.70), despite the measures taken to stimulate the development of industry, since the structure depends on the world market conditions [7, 12].

Table 3: Fixed assets and investments  
in fixed assets by industry in Azerbaijan [1]

Branches/years	2018	2019	2020	2021
1. Fixed assets, total %	100	100	100	100
Mining	71.1	74.1	67.3	62.2
Manufacturing	11.3	7.4	23.8	19.2
Electricity and water supply	17.6	18.5	8.9	18.6
2. Investments in fixed assets, %	100	100	100	100
Mining	67.1	61.3	61.9	64.2
Manufacturing	16.9	26.7	28.8	26.9
Electricity and water supply	16.0	12.0	9.3	8.9
3. Structural independence	1.70	1.44	1.28	-
4. Economic complexity of the country, place	124	120	-	-

As noted above, a sustainable economy that can compete on the basis of innovation requires a certain level of economic complexity. The economic complexity of a country is a reflection of its current competitiveness and determines its potential for future competitiveness. Therefore, in order 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 development sustainability (the level of complexity of the economy in 2018 is 124th place, in 2019 - 120th place).

## 2. THE IMPACT OF MODERNIZATION ON THE STRUCTURE OF THE NATIONAL ECONOMY OF AZERBAIJAN

Modernization is finding the priorities of future in reality and finding the best ways to this future. Structural changes occur due to factors of production, investment and innovation, but high-level structural changes are created due to innovations in the conditions of economic growth, which are more effective. This leads to the development of infrastructure, the

growth of qualifications, the expansion of sales opportunities, the growth of internal competition, investment in reducing production costs, and increasing the overall potential. Structural changes, at the level of factors, are carried out due to the availability of natural resources, surplus and cheap labor.

Initially, on this basis, economic growth is ensured, then mechanisms for changing proportions, but the most effective structural changes are achieved when using sources of national wealth. This, as noted above, revealed the need to create conditions not for the economic growth of an inefficient structure, but for real innovative growth and development, which involves improving the structural quality of the economic system and expanding its capabilities in terms of innovation; the expediency of the relationship between science, business and the state to solve existing problems.

If the economy remains based on raw materials, then economic growth will never be able to turn into economic progress. If the economy becomes technological but does not expand, economic growth will be impossible. The problem of quality remains the main economic problem. This is especially important, since the comparative advantage that determines national competitive advantages is now being formed. As noted above, the real and effective implementation of many projects does not depend on the amount of investment (invested money), but on the quality and efficiency of the management system [12].

It is expedient to optimize public spending more effectively. It is not just the direction of money as a resource that is important, the return on them is important. Effective innovation processes should be iterative, which ensures that promising ideas are quickly developed in practice and unsuccessful ideas are discarded. The full development of the sector of innovative technologies is hampered by foreign manufacturers that occupy a leading position in the technology market [6].

Now most of the oil and gas equipment is imported from abroad. As a result, millions of dollars are being invested in the development of foreign machine-building complexes, while the domestic machine-building industry does not have the means to develop, stimulate and regulate production, there is a process of artificial limitation of production at domestic enterprises [6].

Customers are focused on the purchase of imported equipment, specialized design institutes do not have the funds not only to design new modern models of equipment, but also to maintain the existing potential, difficulties with the sale of manufactured products. It is advisable to carry out a product leadership strategy that promotes an innovative way of economic development. The main elements of this strategy are: high quality,

market leadership, penetration into new markets.

The development of the economy and its modernization is associated with the need to change the structure of the economy. The main problem of industrial growth is [7, 12]:

- inefficient sectoral and technological structure of the industry (high-tech industries - 2-3% of output, although in developed countries 15-17%);
- low labor productivity; low level of competitiveness of domestic products in the world and domestic markets;
- high material intensity, energy intensity, import dependence, low use of public investment, low level of coordination, modern equipment is bought for the production of non-innovative products.

All this reveals the feasibility of a real definition of priorities for industrial development, restructuring, modernization and restructuring of industry, strengthening the development of high-tech science-intensive industries.

An important factor in economic growth is the economic structure, i.e. what potential growth it is capable of, what structural changes will lead to future growth, and what will slow it down. So far, there is a polarization in the development of extractive and manufacturing industries (2021: mining - 65.6%, processing - 28.8%). The economy is still dependent on oil, the structure of the economy has not changed radically. The pace and direction of development of the manufacturing industries will shape the future development of the economy, determine the optimal ratio between orientation to domestic markets and orientation to foreign markets [8].

In modern conditions, the main factor in intensifying economic growth is the strengthening of the role of the innovative component of the economy, which complements the existing growth factors. Small investments can lead to large profits, as the development of the innovative component gives a synergistic impetus to other industries [8].

An important initial methodological principle is the use of qualitative factors that ensure the introduction of the latest achievements of science, new possibilities of knowledge. It is not just innovations and qualifications of personnel that are important, but their rational correlation, which, given the systemic state of investment resources, contributes to obtaining additional synergistic effects from their use [8].

Modern economic growth is characterized by the leading importance of scientific, technical and technological progress and the intellectualization of the main factors of production. A characteristic feature of modern economic growth has been the transition to a continuous innovation process in management practice.

In Azerbaijan, the common problems of innovative development are the following [9-10]:

– lagging behind and growing gap from developed countries. A small percentage of industrial enterprises (5-6%) are developing and implementing technical and technological innovations; innovative products do not reach 1%, the share of science-intensive products in the world trade volume does not exceed 0.3-0.5%;

– R&D spending is a small percentage of GDP;

– low potential of applied science, which determines the sources of economic development. Science turned out to be unclaimed, its results are not used;

– in the adopted concepts, programs, strategies, road map there is no precise definition of "who is the subject" of innovative development, the role of the state apparatus in the implementation of innovative development directions, existing personnel problems;

– at the heart of innovative development are not breakthrough, but inertial components.

The pandemic has revealed the existing problems, for the solution of which certain considerable financial resources are directed, but they cannot be solved only by directing funds there without changing the system of their organization, also, by raising tariffs for gas and electricity, we contribute to increased dependence on monopolists.

It is important to know who, why and for what purpose will carry out innovative development, since for progressive development it is expedient to develop the real sector of the economy by using the innovative and investment potential in order to ensure sustainability and reduce dependence on the world market conditions. Therefore, it is advisable:

– for the introduction of innovative technologies in public administration, the state itself must be the producer and main supplier of these innovations to itself. That is, the production of all software products and technological base should be produced, supplied and serviced only by our own state-owned closed enterprises;

– a special system and control of data transmission over networks is needed (encryption and coding in parts, and then their combination into a single whole);

– the introduction of innovative systems involves a certain level of training of qualified personnel, but to simplify this process, it is advisable to use the simplest interface model. also, before the introduction of innovative technologies, it is important to test them qualitatively for their correct technical functioning;

– the decision-making system on the part of the state and the system itself for the development and implementation of innovative technologies in state industries should be flexible.

The task of the state is to ensure the sustainability of industrialization

process through appropriate consistent policy's implementation. Increasing economic complexity is impossible without setting real priorities for growth and development [6]. State policy should be built, highlighting a range of priority areas, concentrating resources on them, while moving towards the innovative stage of economic development through attracting investments that carry modern technologies that, in combination with qualified personnel and scientific, technical and technical developments, can relatively quickly ensure the competitiveness and self-sufficiency of the economy [11].

Increasing the level of investment in the economy will allow moving from a factor-driven stage to an investment-driven stage. Public investment promotes structural adjustment, growth and development in order to accelerate the process of economic transformation, achieve sustainability without reducing social contributions.

## CONCLUSION

Due to the intensification of the process of globalization, regionalization, the emergence of world technological leaders, it indicates the expediency of state support not only at the stage of inception, but also subsequently, provided that the situation does not become more complicated. Nowadays, there is no mass culture of entrepreneurship that promotes the development and implementation of new production technologies. This situation has developed due to the presence of a low level of a full-fledged innovation market.

Due to the intensification of the process of globalization, regionalization, the emergence of world technological leaders, it indicates the expediency of state support not only at the stage of inception, but also subsequently, provided that the situation does not become more complicated. Nowadays, there is no mass culture of entrepreneurship that promotes the development and implementation of new production technologies. This situation has developed due to the presence of a low level of a full-fledged innovation market.

Modern technologies have become complex and large-scale, and small business structures cannot implement them, which requires the presence of large corporations with state support in order to turn them into global leaders in their respective industries. Competitive processes have embraced low-tech sectors of the economy (shops, restaurants, construction, tourism, etc.). It is important to diversify into high-tech industries (micro-electronics, biotechnology, shipbuilding, etc.), which will determine the future development of the country.

The direction of investments by the state and the private sector in



certain priorities, coupled with the creation of new and development of existing industries, contributes to restructuring and restructuring of industry.

It is expedient to balance the efforts of the state and business, creating conditions for the transition to the investment stage of growth and development. It is important to constantly increase labor productivity in existing industries by improving the quality of products, giving them new consumer properties, improving manufacturing technology or increasing production efficiency. It is important to develop the ability to compete.

The strategic objective is:

- real, not endless attraction of investments;
- solution of those tasks that can push the economy to development and increase its budgetary security;
- formation of the system of goals, the achievement of which is in the hands of the regional authorities.

The state is carrying out a technological restructuring, but the process of transferring these enterprises to the private sector continues, which implies the transfer of all finances to the private sector. This complicates the process of control and implementation of structural changes. To improve the efficiency of state asset management, it is important to introduce strategic planning, which gives a clear forecast and guidelines for corporations and businesses to determine their strategies based on a common development line.

## REFERENCES

1. The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Construction. URL: <https://stat.gov.az/source/construction/>
2. The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. URL: <https://stat.gov.az>.
3. The World Bank. ICT service exports (BoP, current US\$) 1960-1922. 2022. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/BX.GSR.CCIS.CD?view=chart>
4. TheGlobalEconomy.com. High tech exports - Country rankings. 2021. URL: [https://theglobaleconomy.com/rankings/High\\_tech\\_exports/](https://theglobaleconomy.com/rankings/High_tech_exports/)
5. TheGlobalEconomy.com. Innovation index - Country rankings. 2022. URL: [https://theglobaleconomy.com/rankings/GII\\_Index/](https://theglobaleconomy.com/rankings/GII_Index/)
6. Yuzbashiyeu, I.H. Development and international economic links' improving of Azerbaijan with GUAM countries. Baku, Elm, 2010, 198p. (monograph in Russian)
7. Yuzbashiyeua G.Z., Abasova S.H. Innovations and Investments like as Providing Sources of Economic Growth in Azerbaijan in Pandemic

Conditions (CPSLR 2021), Atlantis Press, 02,2022 - <https://www.atlantispress.com/proceedings/ispc-cpslr-21/articles>

8. Yuzbashiyeva G.Z., Yuzbashiye I.H., Abasova S.H. Innovative Factors' Influencing to Azerbaijan National Economy Transformation. 07.07.2022. İARA conference - <http://iaraconference.com/pdf/2nd-icctmr-souvenir.pdf>

9. Yuzbashiyeva G.Z., Yuzbashiye I.H. Impact of Foreign Direct Investment (FDI) on economic development: the experience of Azerbaijan. Collection of Abstracts II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with international participation: ««Priority areas of research in scientific and educational activities: problems and prospects». Rivno, October 12-13, 2022, p.51-55.

10. Yuzbashiyeva G.Z., Yuzbashiye I.H. The state as an investor in innovative transformations: the experience of Azerbaijan. Scientific conference "System "Science-Technologies-Innovations": methodology, experiences, perspectives". Center for System analysis and strategic research of the National Academy of Sciences of Belarus.22-23 September 2022. Minsk 2022. p.6.

11. Yuzbashiyeva G.Z., Yuzbashiye I.H., Abasova S.H. Impact of innovative development on state regulation of the national economy: comparative data of former USSR countries. Kazakhstan, Almatı. Journal Endless Light in Science, 2, 2022, p.109-117. – Ret.from: <https://cyberleninka.ru/article/n/impact-of-innovative-development-on-state-regulation-of-the-national-economy-comparative-data-of-former-ussr-countries>

12. Yuzbashiyeva, G.Z. GDP and Real Economy. Baku, Elm, 2019, 112 p.

## ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

*Андрій Федорович Литвин*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1400-6510>

Університет Григорія Сковороди в Переяславі, Переяслав

*Сергій Юрійович Лаун*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4921-0805>

Університет Григорія Сковороди в Переяславі, Переяслав

*Наталія Ігорівна Кролівець*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1009-0930>

Університет Григорія Сковороди в Переяславі, Переяслав

Охорона праці — це багатогранне поняття, під ним слід розуміти не тільки забезпечення безпеки працівників під час виконання ними службових обов'язків, воно охоплює різні заходи, серед яких варто виокреми ти профілактику професійних захворювань, організацію повноцінного відпочинку й харчування працівників під час робочих перерв, забезпечення їх необхідним спецодягом і гігієнічними засобами й навіть виконання соціальних пілг і гарантій [1].

Основний Закон нашої держави у статті 1 проголошує, що Україна є суверенною і незалежною, демократичною, соціальною, правовою державою. Права і свободи людини та їх гарантії визначають зміст і спрямованість діяльності держави, а утвердження і забезпечення прав і свобод людини є головним обов'язком держави (ст. 3 Конституції України), та складають найважливіший соціальний і політико-правовий інститут [2].

В умовах воєнного стану охорона праці на підприємствах стає особливо актуальною і вимагає спеціальних підходів та заходів для забезпечення безпеки працівників. Військові конфлікти та загрози безпеці можуть створити небезпеку не лише для цивільного населення, але й для підприємств, їхнього персоналу та інфраструктури.

У даному контексті оцінка ризиків, розробка планів надзвичайних ситуацій, підготовка працівників, фізична безпека та психологічна підтримка набувають особливого значення. Ефективність та успішність вжитих заходів залежатимуть від готовності та здатності підприємств вчасно реагувати на небезпеку, мінімізувати ризики та забезпечити безпеку працівників під час воєнного стану.

Умови воєнного стану створюють складні виклики для охорони праці на підприємствах. Загрози, які випливають з воєнного конфлікту, можуть призвести до значних ризиків для безпеки працівників. Отже, ефективна організація та розробка стратегій охорони праці є

надзвичайно важливими аспектами у таких умовах.

У публікації проаналізовано основні виклики, з якими стикаються підприємства під час воєнного стану. Ці виклики включають ризики від прямих атак на підприємства, можливість наявності вибухонебезпечних речовин у районі, непрогнозовану ситуацію на дорогах, евакуацію та переселення персоналу, порушення звичайних комунікаційних засобів та зв'язку, а також недоступність медичної допомоги.

Охорона праці на підприємствах є невід'ємною складовою умов успішного функціонування та забезпечення безпеки працівників. Умови воєнного стану створюють додаткові виклики та загрози для безпеки працівників, які вимагають спеціального підходу та заходів для забезпечення їхнього захисту.

Воєнний стан супроводжується підвищеним рівнем небезпеки, що може бути пов'язано зі збройними конфліктами, терористичними актами, економічною нестабільністю та соціально-політичними кризами. У таких умовах підприємства повинні бути готові до надзвичайних ситуацій та забезпечити безпеку працівників.

Одним із найважливіших аспектів охорони праці в умовах воєнного стану є оцінка ризиків. Підприємства повинні провести детальний аналіз потенційних загроз та небезпек, які можуть виникнути у зв'язку з конфліктом. Це включає оцінку можливих терористичних атак, нападів, викрадень, руйнувань інфраструктури тощо. Аналіз ризиків дозволяє ідентифікувати найбільш вразливі об'єкти та процеси на підприємстві і визначити необхідні заходи для їх захисту.

На основі оцінки ризиків підприємства повинні розробити плани надзвичайних ситуацій, які включають процедури евакуації, розташування укриття, захист від хімічних та біологічних загроз, встановлення систем сповіщення та комунікації, а також надання першої допомоги та медичного обслуговування у разі потреби. Ці плани повинні бути детально проробленими та випробуваними на практиці, залучаючи весь персонал підприємства. Важливо також підтримувати постійне оновлення та адаптацію планів залежно від змінюючоїся ситуації воєнного стану.

Одним з ключових аспектів охорони праці в умовах воєнного стану є навчання та підготовка працівників. Персонал повинен бути обізнаний з процедурами та інструкціями щодо безпеки, а також знати, як правильно реагувати на небезпечні ситуації. Проведення тренінгів, симуляційних вправ та навчальних курсів допомагає працівникам засвоїти необхідні знання та навички для ефективної реакції на надзвичайні ситуації.

Фізична безпека працівників також вимагає спеціальної уваги в

умовах воєнного стану. Підприємства повинні забезпечити належне функціонування систем безпеки, таких як контроль доступу, встановлення відеоспостереження, охоронні системи та інші заходи для запобігання неправомірному проникненню на територію підприємства. Додатково, регулярна перевірка та технічне обслуговування обладнання безпеки допоможуть уникнути можливих вразливостей та неполадок.

Психологічна підтримка працівників також є необхідною в умовах воєнного стану. Стресові ситуації та загрози можуть викликати негативні психологічні наслідки для працівників, так як тривогу, страх, втому та почуття безпорадності. Тому важливо забезпечити психологічну підтримку працівників, щоб допомогти їм управляти емоційним навантаженням та стресом.

На підприємстві можуть бути організовані тренінги зі стресового менеджменту, психологічні консультації та підтримка, що допоможуть працівникам управляти своїми емоціями та реагувати на стресові ситуації. Також важливо створити сприятливу робочу атмосферу, де працівники можуть відчувати підтримку та співпрацю один з одним.

Крім того, комунікація є ключовим аспектом охорони праці в умовах воєнного стану. Чітка та ефективна комунікація між різними рівнями управління, відповідальними особами та працівниками є необхідною для передачі важливої інформації, інструкцій щодо безпеки та організації дій в надзвичайних ситуаціях. Використання різних каналів комунікації, таких як сповіщення через гучномовну систему, мобільні телефони, електронна пошта або розповсюдження паперових матеріалів, може бути ефективним для оперативного та швидкого сповіщення працівників про надзвичайні ситуації та необхідні заходи безпеки.

Для забезпечення безпеки працівників на підприємствах в умовах воєнного стану, необхідно розробити та впровадити ефективні стратегії. Основні напрямки таких стратегій включають:

Оцінка ризиків та розробка планів надзвичайних ситуацій. Підприємства повинні провести детальну оцінку потенційних ризиків, пов'язаних з воєнним станом, і розробити плани надзвичайних ситуацій. Ці плани мають включати процедури евакуації, штучну вентиляцію, захист від хімічних та біологічних загроз, а також надання першої медичної допомоги. Крім того, важливо розробити план комунікації, який забезпечуватиме зв'язок з працівниками під час надзвичайних ситуацій.

Проведення оглядів безпеки. Періодично переглядати системи безпеки на підприємстві та забезпечувати їх належну роботу.

Переконатися, що екстрені виходи, засоби пожежогасіння та системи безпеки працюють належним чином.

Забезпечення особистого захисту. Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, такими як шоломи, маски, захисні костюми, рукавиці тощо. Навчити працівників правильному використанню цих засобів.

Створення системи сповіщення. Встановити ефективну систему сповіщення, яка може швидко і ефективно повідомляти працівників про надзвичайні ситуації. Це можуть бути системи масових повідомлень, динамічні табло, тривоги або інші засоби зв'язку.

Підтримка психологічного стану. Врахувати важливість підтримки психологічного стану працівників у складних ситуаціях. Надати доступ до консультування або психологічної підтримки для тих, хто цього потребує.

Запровадження системи «закритого кола». Розглянути можливість введення системи обмеженого доступу до підприємства, де працює, для забезпечення безпеки працівників. Це може включати додатковий контроль ідентифікації, обмеження доступу до недозволених осіб та посилення охоронних заходів.

Створення аварійних запасів. Забезпечити наявність необхідних аварійних запасів, які можуть знадобитися в разі виникнення конфлікту або воєнного стану. Це може включати паливо, воду, продукти харчування, медичні припаси та інші необхідні матеріали.

Навчання та підготовка працівників. Працівники повинні бути ознайомлені з планами надзвичайних ситуацій, процедурами евакуації та правилами безпеки. Регулярні тренування та навчання допоможуть підготувати персонал до ефективної реакції на виникнення небезпеки. Важливо також надати працівникам необхідні знання про використання захисного обладнання та вміння діяти в екстремальних ситуаціях.

Забезпечення фізичної безпеки. При розташуванні підприємства в умовах воєнного стану слід забезпечити фізичну безпеку території. Це може включати встановлення контрольних пунктів, обмеження доступу, посилення охорони та встановлення систем відеоспостереження. Крім того, необхідно забезпечити надійні протипожежні заходи та системи, щоб запобігти поширенню вогню у разі виникнення пожежі.

Співпраця з військовими та цивільними організаціями. В умовах воєнного стану важлива взаємодія та співпраця з військовими та цивільними організаціями, включаючи місцеві органи влади, поліцію, пожежну охорону та медичні установи. Планування та взаємна координація дій допоможуть забезпечити швидку реакцію на надзвичайні

ситуації та максимально знизити можливі наслідки для працівників.

Умови воєнного стану можуть бути надзвичайно складними та небезпечними для працівників. Проте, застосування ефективних стратегій охорони праці та впровадження необхідних заходів безпеки можуть допомогти зменшити ризики та зберегти життя та здоров'я працівників.

У процесі аналізу охорони праці на підприємствах в умовах воєнного стану ми зрозуміли, що це вимагає спеціального підходу та заходів для забезпечення безпеки працівників. Оцінка ризиків, розробка планів надзвичайних ситуацій, навчання та підготовка працівників, фізична безпека та психологічна підтримка, а також ефективна комунікація є ключовими елементами в успішному забезпеченні безпеки на підприємстві під час воєнного стану.

Фізична безпека працівників передбачає наявність і підтримку систем безпеки, контроль доступу та ефективну організацію заходів для запобігання неправомірному проникненню на територію підприємства.

Необхідно пам'ятати, що охорона праці в умовах воєнного стану є постійним процесом, який потребує постійного моніторингу, оновлення планів та навчання працівників. Лише таким чином можна забезпечити ефективну реакцію на змінні умови та мінімізувати потенційні ризики.

Отже, успішна охорона праці на підприємствах в умовах воєнного стану вимагає належної підготовки, співпраці з військовими та цивільними організаціями, навчання працівників та психологічної підтримки. Ці стратегії сприятимуть забезпеченню безпеки та збереженню життя та здоров'я працівників у надзвичайних умовах воєнного стану.

## Посилання

1. Дяченко Н. М. Економічні аспекти охорони праці. *Екологічна та економічна безпека: нові технології. Науковий вісник КВЕІТУ*. №4 (34). 2011.

2. Конституція України. Закон від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text>.

## **АНАЛІЗ ШУМІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ: АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД**

*Володимир Степанович Дудніков*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Галина Іванівна Сокол*

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

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Україна, Європейський Союз та інші країни визначають шумове забруднення довкілля як одну з основних проблем сучасного світу [1]. Згідно з Директивою з шуму навколишнього середовища 2002/49/ЄС кожна держава Євросоюзу повинна дотримуватися низки принципів, серед яких проведення моніторингу рівнів шуму, відкрите опублікування інформації про стан навколишнього середовища та складання карт шуму міст. Одним із найбільш суттєвих джерел шуму є залізничний транспорт, як пасажирський так і вантажний. Проблема захисту від підвищеного шуму входить до найважливіших екологічних проблем [2]. Під дією підвищеного шуму, що викликає дискомфорт, зниження слуху, і навіть патології серцево-судинної, ендокринної, нервової та інших систем людини, в містах знаходиться від 60 до 70% населення. ЮНЕСКО сформувало сучасну ситуацію: «Шум – лихо сучасного світу та небажаний продукт його технічної цивілізації». Істотний внесок у цю проблему робить шум від залізниці. Вказується, що шум залежить від швидкості: до 40-50 км/год переважають внутрішні джерела (електродвигуни, компресори), від 50 до 300 км/год переважає шум від взаємодії пари «колесо-рейка», а вище 300 км/год починають позначатися аеродинамічні процеси.

Таким чином завдання зниження транспортного шуму у населених пунктах та вирішення цієї проблеми є одним із актуальних завдань сучасної акустики.

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Метою роботи стало складання аналітичного огляду наукових робіт зі створення методик виявлення джерел шумів від потягів, для розрахунків та вимірювань рівнів шумів на основі сучасних знань акустики, розробок придушення шумів в джерелі та використання пасивних мір захисту. При цьому вирішувалася основна задача: на основі даних наукових робіт, що наведені в аналітичному огляді, показати



шляхи зниження шумів в зонах руху потягів до норм, що виставляє Євросоюз.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Залізничний транспорт характеризується підвищеними рівнями шуму в цілодобовому режимі, відповідно впливає на ступінь шумового комфорту, особливо в нічний час, і призводить до справедливих скарг населення. Методом боротьби з шумом від руху поїздів є пристрій шумозахисних екранів і будов на магістральних територіях. У зв'язку з цим особливе значення має надійність методів розрахунку шуму від залізничного транспорту та правильність визначення шумових характеристик потягів. Відомо, [3], що на рівень шуму від руху потягу впливають різні фактори, такі як категорія потягу, його довжина, швидкість руху та інше, точки спостереження.

У роботі [4] отримано рівняння лінійної регресії для розрахунку шумових характеристик поїздів у вигляді максимального та еквівалентного рівнів звуку в залежності від довжини, швидкості руху та типу рухомого складу (пасажирський потяг з локомотивною тягою, вантажний поїзд, електропоїзд). Параметри рівнянь лінійної регресії визначено шляхом оптимізації за критерієм найкращого збігу результатів розрахунку та натурних вимірів. Вирази для розрахунку шумових характеристик представлені у вигляді простих для розрахунку інженерних формул, зручних під час проектування.

Також розроблено уточнений метод розрахунку шумових характеристик потягів та рівнів шуму від руху поїздів на місцевості. Дано межі застосування спрощеного виразу для спаду еквівалентних рівнів звуку з віддаленням від потягу. Серед основних причин виникнення шуму від руху залізничного транспорту можна виділити: 1) кочення колеса рейками; 2) коливання (вібрація) корпусів вагонів; 3) коливання рейкового полотна (рейки, шпали, баласт); 4) зіткнення вагонів та елементів складу між собою; 5) коливання огорожувальних конструкцій, що збуджуються вібрацією проникає через ґрунтовий масив від верхньої будови колії та тунельного оброблення.

При розрахунку шумових характеристик необхідно також враховувати такі фактори [4]: 1) характеристики джерела шуму: звукова потужність, що випромінюється поїздом, довжина та швидкість його руху, кількість залізничних смуг; 2) характеристика колії: повороти, нахили, стрілки, прискорення, гальмування, наявність залізничних мостів; 3) геометричне згасання, пов'язане з розширенням фронту звукової хвилі під час поширення; 4) характеристики середовища: напрям та зміна швидкості вітру, що призводять до рефракції звукових

променів у напрямку землі або вгору з утворенням звукової тіні; температурна інверсія з висотою, що також призводить до заломлення променів щодо земної поверхні; поглинання енергії звукових хвиль; класичне (зумовлено розсіюванням, теплопровідністю та в'язкістю середовища) та молекулярне (викликане коливальною релаксацією молекул переважно азоту).

У [5] проаналізовано нормативний вплив шуму від залізничного транспорту на селітебну територію, намічено перспективи його зниження. Вивчені основні джерела утворення шуму залізничного транспорту та нормативні стандарти, що регулюють його вплив на навколишнє середовище. Встановлено основні причини скарг громадян на акустичний дискомфорт, що виникає від дії залізничного транспорту та його інфраструктури. Проведено натурні виміри та програмне моделювання джерел шуму. Дано оцінку ефективності шумозахисних заходів, спрямованих на зниження негативного акустичного впливу, що виходить від залізничного транспорту.

Показано, що за інтенсивністю шум від залізничного транспорту займає проміжне значення між автомобільним та авіаційним шумами, проте за кількістю джерел залізничного шуму немає рівних. Виділяють три основних об'єкти, на які впливає шум від залізничного транспорту: селітебна територія; пасажирів та обслуговуючий персонал на станціях; пасажирів та обслуговуючий персонал поїздів.

У селітебній зоні основними джерелами шуму є шум локомотива; звукові сигнали; аеродинамічна взаємодія рухомого складу з навколишнім середовищем (при швидкості понад 200 км/год); взаємодія шляху та рухомого складу під час руху (випромінювання шуму системою колесо – рейка), або шум кочення; структурний шум, що виникає від передачі вібрації в системі колесо - рейка в розташовані поблизу будівлі; машини та механізми для виконання робіт з поточного змісту шляху; допоміжне обладнання; виробничі підприємства залізничного транспорту (сортувальні та вантажні станції, локомотивні та вагонні депо); тягові підстанції; залізничні мости (при русі ними рухомого складу).

Свій внесок у процес шумоутворення дає також деренчання корпусу рухомого складу (корпусний шум), «віск» колеса в кривих, звуковипромінювання гальмівних колодок і колеса при гальмуванні (шум гальмування), зіткнення вагонів (шум зчіпки), відображення звуку при установці рейок удари на стиках рейок. Аналіз розподілу скарг залежно від розташування житлових будинків по відношенню до зони санітарного розриву (орієнтовно 100 м) показав, що більшість з них надходить від власників будинків, розташованих безпосередньо в зоні санітарного розриву (63 % – до 100 м, 32 % – понад 100 м).

Для зниження наднормативного акустичного впливу в районах високоповерхової забудови необхідно використовувати комплекс заходів, що знижують інтенсивність шуму в джерелі, оскільки ефективність екранів недостатня.

У дисертації [6] розроблено класифікація засобів та методів зниження шуму кочення поїздів; розроблено фізико-математична модель шуму кочення, що показує зв'язок процесів шумоутворення з характером вібраційних процесів; встановлена залежність шуму кочення від швидкості руху та типів поїздів; запропоновано модель розрахунку та розроблено метод розрахунку акустичної ефективності коштів ближньої звукоізоляції. Встановлено граничні можливості зниження шуму кочення у джерелі освіти для вітчизняного рухомого складу (шляхом шліфування рейок та застосування вібродемпфуючих накладок на шийку рейки); доведено ефективність зниження шуму кочення шляхом застосування ближньої звукоізоляції; розроблені рекомендації щодо зниження шуму кочення.

В [7] виконані експериментальні вимірювання сейсмічних та акустичних полів в дальній зоні з використанням лінійної антени при роботі залізничного транспорту. Проведено порівняльний аналіз спектральних характеристик та механізмів випромінювання пружних сигналів, зареєстрованих на різних віддаленнях. Виконано вимірювання взаємної кореляційної функції сейсмічних сигналів з багатоеlementною антеною та дана інтерпретація хвильової структури сейсмічного поля поїзда у дальній зоні.

У роботі [8] розглянуто основні технічні рішення, що встановлюють комплексні вимоги до організації шумозахисних заходів під час руху високошвидкісних поїздів. Якщо шум від поїздів, що рухаються зі швидкістю до 250 км/год, залежно від специфікації залізничного складу, складається в основному з шуму кочення (система «колесо - рейка») і шуму двигуна, що характеризується його потужністю і силою тяги потяга, що створюється, а також допоміжних систем потяга (наприклад, системи вентиляції та кондиціонування вагонів), то у високошвидкісних поїздів (швидкість понад 250 км/год) домінує аеродинамічний шум, який включає: шум турбулентних потоків повітря, що виникає в результаті опору повітряних мас руху поїзда; шум струмоприймача. Крім того, джерелами шуму можуть бути міжвагонний простір, вентиляційні решітки, виступи (дверні ручки, сходи і т. д.) та порожнини, які можуть викликати резонансні відгуки. При проектуванні акустичних екранів слід звертати особливу увагу на джерела, розташовані у верхній частині поїзда.

Для зниження шуму від високошвидкісних потягів проводять низку заходів: встановлення акустичних екранів; спорудження штучних

ввіймок чи насипів; звукоізолююче скління в будівлях, що захищаються; реалізацію принципу зниження шуму у джерелі.

Принцип зниження шуму у джерелі реалізується за такими напрямками: акустичне шліфування рейок; застосування вібродемпфуючих накладок на шийку рейки; нанесення на шийку рейки, візок та колеса віброшумопоглинаючої мастики; використання підрейкових та підшпальних підкладок; нанесення шару алюмінію на гальмівні диски; обточування бандажів коліс.

Розглянуто вимоги до шумозахисних конструкцій, аеродинамічні навантаження на акустичний екран. Розроблено математичну модель тривимірного нестационарного руху моделі потяга по горизонтальній поверхні вздовж моделі шумозахисного екрана кінцевої довжини з використанням методу динамічного перестрою сітки.

Ефективність акустичного екрану залежить від правильного вибору його основних параметрів [9-14] - висоти, довжини, конструктивного рішення його верхньої частини, застосування в панелях звукопоглинаючих матеріалів, цілісності конструкції (не допускаються щілини та отвори), а також за рахунок його раціонального положення щодо залізниці та об'єктів, що захищаються. Висоту екрана слід вибирати з урахуванням висоти залізничного полотна, висоти об'єктів, що захищаються, та їх положення щодо залізниці.

У [9-14] поставлена та розв'язана задача знаходження ефективності шумозахисного екрана зі щілиною в його основі, яка дозволяє оцінити ефективність побудованих шумозахисних екранів в Україні та тих, що проєктуються. Також поставлена та розв'язана задача знаходження звукового поля довкола нескінченно довгого шумозахисного екрана з перфорацією. Запропоновано модель екрану з кінцевою звукоізоляцією у вигляді перфорованого акустично жорсткого екрану. Ефективність шумозахисного екрану змінюється лише в межах 1,1 дБ для швидкостей руху до 180 км/год.

Метод кінцевих елементів, що було використано для комп'ютерного моделювання, дав змогу оцінити залежність між звукоізоляцією та ефективністю шумозахисного екрана в більш ширшому діапазоні частот. Були проведені розрахунки зниження рівнів шуму екранами з литого полікарбонату товщинами 5мм, 10мм та 20мм; сталі 1мм, 2мм та 5 мм та цегли 125 мм та 250 мм. Одержані якісні оцінки ефективності шумозахисних екранів з кінцевою звукоізоляцією в широкому діапазоні частот.

У роботі [15] для системного вирішення завдання зниження шуму залізничного транспорту запропоновано алгоритм вибору комплексу шумозахисних заходів з підбором оптимальних конструктивних параметрів шумозахисних конструкцій, що входять до його складу.

Виділено області прийняття рішення в залежності від відстані до об'єкта, що захищається, поверховості екранованої забудови і значень необхідного зниження шуму. Відзначено відмінності у зниженні шуму насипами для захисту малоповерхових та багатоповерхових будівель, можливості ефективного застосування шумозахисної виїмки та комбінацій шумозахисних конструкцій.

Шум залізничного транспорту становить 90-120 децибелів, він збільшується зі зростанням швидкості руху. За інтенсивністю такий шум займає проміжне положення між авіаційним та автомобільним, але за кількістю джерел йому немає рівних. Слід мати на увазі допустимі норми шуму для людського вуха: вдень - 55 децибел; у нічний - 40 децибел [16]. Особливий інтерес становлять акустичні дослідження понад високошвидкісні поїзди на магнітній підвісі. В даний час у світі використовуються два типи транспортних систем на магнітному підвісі. це німецька система Transrapid (електромагнітна система підвішування, відстань між колесом і рейкою складає 10-15 мм) та японська Maglev (електродинамічна система підвішування, відстань між колесом и рейкою досягає 100-110 мм). Нажаль, дані про теоретичні та експериментальні дослідження відсутні.

## ВИСНОВКИ

1. Наведений аналітичний огляд наукових робіт з аналізу шумів залізничного транспорту.
2. Показано, що при русі потягів виникають джерела шумів, наведена їх фізична природа.
3. Розглянуті активні та пасивні методи зниження шумів.
4. Розроблені методики розрахунків рівнів шумів та експериментальних вимірювань сейсмічних та акустичних полів в дальній зоні з використанням лінійної антени при роботі залізничного транспорту
5. Показана ефективність акустичних екранів.
6. Наведено, що в зонах руху потягів при впливі шуму від залізничного транспорту на селітебну територію повинні здійснюватися рівні шумів, що відповідають нормам України та Євросоюзу.

## ПОСИЛАННЯ

1. Закон України "Про охорону навколишнього природного № 41. – Ст. 546.
2. Иванов Н. И., Куклин Д. А. Проблема шума железнодорожного транспорта и пути ее решения / Труды конференции «Защита населения от повышенного шумового воздействия», 2011.- С. 108–123.

3. Котенко С. Г. Заець В. П. Звук рухомого точкового джерела. // Електроніка та зв'язок. – 2015. – Т.20. – №4. – С. 89-93.

4. Хасс Р. Р. Метод расчета шума от потоков железнодорожного транспорта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 01.04.06 – Акустика; М., 2013. – 24 с.

5. Курепин Д. Е. Анализ уровней сверхнормативного шумового воздействия от железнодорожного транспорта / Современные технологии транспорта. 2015/1. - С. 34–40.

6. Матвеев П. В. Расчет и снижение шума качения поездов. 01.04.06 - Акустика. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2014. – 23 с.

7. Бубнов Е. Я., Гуций В. В. Экспериментальные исследования упругих полей железнодорожного транспорта в дальней зоне / Вестник РГУПС, №2(58), 2015. - С. 141–146.

8. Титова Т. С., Шашурин А. Е., Бойко Ю. С. Технические решения по снижению шума от высокоскоростных железнодорожных магистралей / Транспорт Российской Федерации №2(57), 2015. - С. 30–35.

9. Котенко С. Г. Зниження рівнів шуму рухомих джерел шумозахисними екранами з кінцевої звукоізоляцією. - Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.08 - Прикладна акустика та звукотехніка. - Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", МОН України, Київ, 2019, 132 с.

10. Котенко С. Г. Измерение акустических свойств шумозащитного экрана в г. Харькове // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т.6. – №10. – С.64-67.

11. Погребняк А., Котенко С. Г. «Вплив звукоізоляції на акустичну ефективність шумозахисного екрана» ELCONF-2015, с. 28-31. <http://elconf.ieee.org.ua/>.

12. V. Zaets, S. Kotenko. Investigation of the efficiency of a noise protection screen with an opening at its base. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5. – N5(89). – 2017. p. 4-11.

13. Поторжицький В. В., Котенко С. Г., Заець В. П. Патент на корисну модель №108733 «Шумозахисний екран», 2016.

14. Заець В. П., Котенко, С. Г., Теленга А. О. Патент на корисну модель №79889 «Шумозахисний екран», 2018.

15. Борцова С. С. Комплексное решение проблемы снижения шума железнодорожного транспорта / NOISE Theory and Practice. - С. 33–47.

16. ДСТУ EN ISO 3381:2018. Залізничний транспорт. Акустика. Вимірювання шуму всередині залізничних транспортних засобів.

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ ГІРНИЧОДОБУВНИХ РЕГІОНІВ

*Ольга Олексіївна Медведєва*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5575-713X>

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро

*Заряна Сергіївна Гальченко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5754-3175>

Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро

### Вступ

Екологічні процеси використання техногенно порушених земель є актуальною проблемою сучасного світу. Техногенні порушення земель виникають внаслідок промислової, транспортної та інфраструктурної діяльності людини, такої як видобуток корисних копалин, сільськогосподарські роботи, масова забудова та інші види господарської діяльності.

Зміни в ґрунті відбуваються через забруднення хімічними речовинами, які потрапляють у ґрунтові води та впливають на його фізико-хімічні властивості. Це може спричинити зниження родючості ґрунту та порушення його екологічної рівноваги.

Водні ресурси також піддаються негативному впливу через забруднення різними токсичними речовинами, що потрапляють у водні екосистеми через стоки промислових підприємств, сільськогосподарські відходи та інші джерела забруднення. Це може призводити до загибелі риби та інших водних організмів, зниження якості води та порушення природного балансу в екосистемі.

Рослинність на техногенно порушених землях зазвичай погіршується через непридатні умови для росту та забруднення ґрунту. Застосування технологій рекультивації та відновлення порушених територій може бути важливим кроком у відновленні рослинного покриву та природного середовища.

Тваринний світ також потерпає від утворення техногенно порушених земель.

Враховуючи вищевикладене, для досягнення ефективного використання техногенно порушених земель потрібно розробити та застосувати екологічно спрямовані методи управління цими територіями, рекультивацію та відновлення природних процесів. Це

допоможе забезпечити збереження біологічного різноманіття, покращити якість ґрунтів та водних ресурсів і сприятиме сталому розвитку суспільства

В межах гірничодобувних регіонів техногенно порушені землі можуть бути непридатними для традиційного сільськогосподарського використання або для житлової забудови, часто ці землі майже не підлягають відновленню. Тому вже сьогодні необхідно шукати нові шляхи їх застосування для потреб підприємств і суспільства.

## МЕТА

Метою статті є обґрунтування доцільності використання техногенно порушених земель на прикладі залучення породних відвалів гірничодобувних регіонів для розміщення відновлювальних джерел енергії.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

В сучасних умовах для України одним із найважливіших аспектів є енергонезалежність та енерговитратність. Використання техногенно порушених земель для встановлення відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), таких як сонячні фотоелектричні установки та вітроенергетичні установки (ВЕУ), є важливим кроком у напрямку створення стійкого та екологічно чистого енергетичного майбутнього.

Переваги використання техногенно порушених земель для встановлення відновлювальних джерел енергії включають наступне:

- використання непридатних земель: встановлення ВДЕ на техногенно порушених землях дозволить використовувати землі, які в іншому випадку залишилися б невикористаними або потребували б дорогого очищення. Це дозволить максимізувати використання доступних земельних ресурсів.

- енергетична незалежність: встановлення ВДЕ на техногенно порушених землях сприяє збільшенню виробництва екологічно чистої енергії, зменшує залежність від традиційних, нестійких джерел енергії та сприяє розвитку стійкого енергетичного сектора.

- відновлення земель: встановлення ВДЕ на техногенно порушених землях може сприяти відновленню та очищенню цих земель. Наприклад, встановлення сонячних фотоелектричних установок може допомогти у зменшенні ерозії ґрунту та водостічної системи, а ВЕУ можуть сприяти природній рекультивациі земель шляхом створення умов для росту рослинності.

- соціальні переваги: встановлення ВДЕ на техногенно



порушених землях може мати позитивний вплив на місцеву спільноту. Це може створювати нові робочі місця, сприяти економічному розвитку та забезпечувати місцевим жителям доступ до чистої енергії.

Розглянемо, в якості прикладу, застосування ВЕУ на порушених гірничими роботами територіях ГЗК Кривбасу.

Вітер як джерело енергії містить в собі сукупність аерологічних і енергетичних характеристик. До яких відносяться:

- середньорічна швидкість вітру;
- максимальна швидкість вітру;
- річний і добовий хід вітру;
- повторюваність швидкостей вітру;
- повторюваність напрямку вітру;
- питома потужність та питома енергія вітру;
- вітроенергетичні ресурси району.

Дані о середньорічних швидкостях вітру служать вихідною характеристикою загального рівня інтенсивності вітру. За середньорічною швидкістю вітру можна розмірковувати про перспективність застосування ВЕУ в певному районі.

Однак, необхідно мати на увазі, що швидкість вітру залежить від рельєфу місцевості, наявності затемнюючих елементів, висоти над поверхнею землі тощо. Для співставлення середніх швидкостей вітру приймають умови відкритої місцевості і висоту 10 м від поверхні землі. Дані по швидкостям вітру можна отримати за даними місцевих метеослужб.

Розміщення ВЕУ потребує великих площ земельних ділянок, для умов Кривбасу проблеми дефіциту таких ділянок не існує. Так, для встановлення ВЕУ доцільно використовувати відвали гірничорудних підприємств. Інформація про відвали гірничорудних підприємств Кривбасу надано в таблиці 1[1].

З даних таблиці видно, що існують вільні ділянки, які не задіяні у господарській діяльності підприємства і представляють безпосередній інтерес для розміщення на них ВЕУ. Однак за даними метеослужб середньорічна швидкість вітру в Кривбасі становить 3-5 м/с [2].

Традиційними вважають ВЕУ з горизонтальною віссю обертання, але на номінальний режим роботи генератор виходить лише при швидкості вітру від 8 до 12 м/с. Тому встановлювати їх в Кривбасі недоцільно. Для регіонів з низькими швидкостями вітру доцільно використовувати менш потужні ВЕУ з вертикальною віссю обертання. Старт обертання у вертикального генератора один з найбільш тихих, а пристрій відразу починає виробляти енергію при стартовій швидкості вітру 0,5 м/с.

Таблиця 1 – Інформація про відвали гірничорудних підприємств Кривбасу

Підприємство	Найменування об'єкта	Площа, га
1	2	3
Суха балка	Зона обвалення і відвали порожніх порід ш. Ювілейна	145,4
	Зона обвалення і відвали порожніх порід ш. Фрунзе	59,2
	Західна частина колишнього сел. Куйбишева	14,2
	Східна частина колишнього сел. Куйбишева	20,4
	Балка «Дубова»	9,7
	Заболочена земля	1,3
<b>Разом</b>		<b>250,2</b>
ПівдГЗК	Частини територій «Шиманівського» і «Правобережного» відвалів	68,7
<b>Разом</b>		<b>68,7</b>
ЦГЗК	Кар'єр №1, відвал №5 (Саксаганський р-н)	14,0
	Відвал «Східний вал» кар'єру №2 (Жовтневий р-н)	8,5
	Кар'єр №2 (чаша кар'єру)	104,0
<b>Разом</b>		<b>126,5</b>
ПівнГЗК	Першотравневий кар'єр. Автомобільні відвали №1 і №2	90,0
	Відвал 3-біс	30,0
	Ділянка 1, 2 (р-н п/с)	44,0
	Ганнівський кар'єр. Автомобільні відвали на східному борті	45,0
<b>Разом</b>		<b>209,0</b>
ІнГЗК	Відвал №3	147,5
	Відвал №1	112,0
<b>Разом</b>		<b>259,5</b>
НКГЗК	Автовідвал кар'єру №3	54,0
<b>Разом</b>		<b>54,0</b>
<b>УСЬОГО</b>		<b>967,9</b>

Відомо, що зі зростанням висоти збільшується швидкість вітру, тому ефективним буде встановлювати ВЕУ з вертикальною віссю обертання на породних відвалах [3].

Фахівцями ІГТМ НАН України були зроблені розрахунки ефективності застосування ВЕУ з вертикальною віссю обертання [3]. Так, при розташуванні вітроагрегатів за межами відвалу (відносна висота

0 м), в умовах Кривого Рогу вертикальні вітроенергетичні установки можуть виробляти електроенергії більше ніж в 7 разів за традиційні (горизонтальні). Кількість виробленої електроенергії збільшується з висотою розташування ВЕУ.

Розташування горизонтальних вітроенергетичних установок на поверхні високого відвалу висотою 100 м збільшує кількість виробленої електроенергії з 1228 кВт·днів до 3607 кВт·днів, тобто в 2,9 рази.

Вертикальна вітроенергетична установка при аналогічних умовах розташування збільшує кількість виробленої енергії з 8849 до 16544 кВт·днів, тобто в 1,8 рази.

Порівнюючи показники вертикальних та горизонтальних установок при їх розташуванні на відвалах (16544:3607 кВт·днів) можна зробити висновок, що ефективність вертикальних ВЕУ зростає в 4,6 рази.

Розрахунки взяті із роботи [3].

Також існує ряд екологічних переваг застосування саме ВЕУ з вертикальною віссю обертання, а саме:

- ефективність при низькій швидкості вітру: вертикальні вітряки працюють ефективно при низьких швидкостях вітру, що дозволяє їм генерувати електроенергію навіть при помірному вітровому потоці. Це робить їх особливо корисними в місцях з низькими середніми швидкостями вітру.

- менше залежності від напрямку вітру: оскільки вертикальні вітряки можуть отримувати енергію з будь-якого напрямку вітру, вони не потребують постійного налаштування, щоб виробляти енергію. Вони можуть працювати ефективно навіть при зміні напрямку вітру.

- низька шумова емісія: вертикальні вітряки генерують менше шуму порівняно з горизонтальними вітряками, оскільки їх ротори зазвичай розташовані ближче до землі, де шум менш помітний. Це може бути важливо для місцевих спільнот із заборонами на високий рівень шуму.

- безпека для птахів: оскільки вертикальні вітряки мають маленькі ротори, які розташовані ближче до землі, вони можуть бути менш небезпечними для птахів, порівняно з горизонтальними вітряками, які мають великі, швидкоповоротні лопаті.

- можливість використання для їх встановлення техногенно порушених земель.

## ВИСНОВКИ

Ефективне використання техногенно порушених земель вимагає розробки та впровадження екологічно орієнтованих підходів до управління цими територіями. Дослідження показали, що використання ВЕУ з вертикальною віссю обертання є раціональним підходом. Ці ВЕУ починають працювати навіть на низьких швидкостях вітру, що є важливим фактором. Крім того, для їх розташування можна використовувати техногенно порушені землі, які з різних причин не можуть бути повністю відновлені та використані.

Визначено основні переваги використання ВДЕ:

- енергія, отримана від відновлювальних джерел енергії безкоштовна;
- відновлювальні джерела енергії, на відміну від традиційних, рівномірно розподілені по території;
- ВДЕ є екологічними джерелами, оскільки їх застосування практично не забруднює навколишнє середовище і не надає істотного впливу на зміни клімату;
- завдяки ВДЕ з'явилася можливість використання непридатних для господарських потреб земель.

## ПОСИЛАННЯ

1. Медведєва О. О., Гальченко З. С. Перспективи використання відновлюваних джерел енергії в умовах техногенно змінених ландшафтів гірничодобувних регіонів. *«Екологія. Довкілля. Енергозбереження»*. 2022» : Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (1-2 грудня 2022 року, Полтава). 2022. С. 180–183.

2. Архів метеоданих. Перегляд фактичної погоди на певну дату (2023). *meteopost.com*.

URL: <https://meteopost.com/weather/archive/> (дата звернення: 15.05.2023).

3. Assessment of natural resource potential of territories disturbed by mining works in the context of effective use of post-technogenic landscape / P. I. Kopach et al. *Geo-Technical mechanics*. 2022. No. 162. P. 38–47.

## ОЦІНКА ВТРАТИ ТЕПЛА ТИПОВИМ П'ЯТИПОВЕРХОВИМ ЖИТЛОВИМ БУДИНКОМ ЯК ЧИННИКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МІСТА

*Валерій Євгенійович Колесник*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2349-3576>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро

*Ірина Володимирівна Монюк*

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро

### Вступ

Останнім часом питання підвищення ефективності енергоспоживання набули особливої актуальності та безпосередньо пов'язані з енергетичною та екологічною безпекою густо населених міст. Між тим, у Програмі з енергозбереження, енергоефективності та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у м. Дніпрі на 2022–2026 роки зазначено, що переважна частина житлового фонду міста (як, до речі, і у багатьох густонаселених містах України), побудована в 50...90 роках минулого століття та містить значну кількість типових п'ятиповерхових житлових будинків з низьким рівнем енергозбереження, що супроводжується збільшеним споживанням палива міськими котельнями, а відповідно і підвищеними викидами забруднюючих речовин в атмосферу.

Таким чином, для підвищення рівня екологічної безпеки на територіях міста згадані будинки потребують реконструкції, спрямованої на збереження теплових і паливних ресурсів. Вибір же ефективних технологій тепло-енергозбереження в указаних вище будинках потребує оцінювання втрат ними тепла під час опалювального сезону.

### МЕТА

Оцінити втрати тепла типовим п'ятиповерховим житловим будинком як чинника екологічної безпеки міста на основі теоретичного аналізу різних механізмів цих втрат житловою будівлею та порівняння їх з радіаційними тепловтратами стін аналогічного будинку, що отримані на основі натурних обстежень будинку з використанням радіаційного пірометра.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для досягнення поставленої мети авторами виконувалася оцінка втрати тепла, на прикладі, типового п'ятиповерхового житлового будинку за умов, якщо всередині підтримується температура  $T_1 = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а за вікнами морозне повітря з температурою  $T_2 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Теоретичні оцінки виконувалися за рекомендаціями С. Д. Варламова, (2002 р.) [1]. Враховано два основні механізми теплових втрат: теплопровідність стін будівлі та зміна повітря всередині будівлі за рахунок обов'язкової вентиляції та протягів.

Вважалось, що стіни будівлі зроблені з силікатної цегли, теплопровідність якої дорівнює  $\lambda = 0,7\text{ Вт/м град К}$ . Товщина стін  $d = 0,4\text{ м}$ . Орієнтовні розміри типового п'ятиповерхового будинку на 3 під'їзди: довжина  $A = 60\text{ м}$ , ширина  $B = 15\text{ м}$ , висота  $H = 15\text{ м}$ . Повна площа  $S$ , через яку тепло надходить назовні дорівнює майже  $3150\text{ м}^2$ .

Припускалося, що через площу вікон втрачається стільки ж тепла, скільки і через таку ж площу цегляної стіни. Аналогічне припущення зроблено щодо даху. Втратами через підвал будівлі знехтували. В результаті, потужність теплових втрат за рахунок теплопровідності оцінено як:

$$W_1 = S\lambda (T_1 - T_2)/d = 3150 \times 0,7 \times 30 / 0,4 \approx 165\text{ кВт.} \quad (2.1)$$

На кожен квадратний метр площі стіни припадає тепловий потік:

$$\lambda(T_1 - T_2)/d = 52,5\text{ Вт/м}^2 \approx 53\text{ Вт/м}^2.$$

За санітарно-гігієнічними нормами, повітря має змінюватися мінімум 1 раз на годину, що забезпечується системою вентиляцією будівлі. Загальний же об'єм повітря в будинку оцінено величиною  $V = 13500\text{ м}^3$ , тобто за годину (3600 с) будівля отримує стільки ж холодного повітря з вулиці з об'ємною швидкістю надходження приблизно  $3,75\text{ м}^3/\text{с}$ . Це повітря нагрівається в приміщеннях і виходить в вентиляційні труби на даху.

Нагрівання повітря відбувається при постійному тиску, тому потужність тепловтрат, пов'язаних з вентиляцією згідно з [1] становить:

$$W_2 = \rho V / \mu \times (T_1 - T_2)(7/2)R/(t), \quad (2.2)$$

де  $R$  – універсальна газова постійна – дорівнює  $8,314 \cdot 10^3\text{ кг м}^2/\text{кмоль с}^2\text{ К}$ ;  $\rho$  – густина повітря,  $1,2\text{ кг/м}^3$ ;  $\mu$  – середня молярна маса газів, що входять до складу повітря,  $29\text{ кг/кмоль}$ ;  $t$  – тривалість 1 години в секундах. Отже після підставлення значень потужність тепловтрат складе:

$$W_2 = (1,2 \times 13500 / 29) \times (20 + 10)(7/2) 8,314 \times 10^3 / 3600 \approx 135\text{ кВт.}$$

В результаті, потужність тепловтрат за рахунок двох розглянутих механізмів складе:

$$W_1 + W_2 = 165 + 135 = 300 \text{ кВт.}$$

Невелика частина цих теплових втрат покривається мешканцями, оскільки кожна особа виробляє орієнтовно 100 Вт теплової потужності, тобто, якщо в будинку мешкає 300 людей, то ця частка складе 10% від указаної вище кількості витрат. Решта забезпечується системою опалення будинку.

Для визначення теплових втрат від протягів припускалося, що приведена площа нещільності вхідних вуличних дверей, вікон дверей і площа нещільності дверей чи віконець на горищі однакові і дорівнюють орієнтовно  $1 \text{ м}^2$ .

Оцінка швидкості потоку повітря в результаті протягів проводилася за рівнянням Бернуллі за різницею тисків між теплим і холодним повітрям. Для густини повітря  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ , за рахунок різниці температур всередині і зовні створюється різниця статичних тисків:

$$\Delta P \approx \rho g H (T_1 - T_2) / (273^\circ + T_2) = 1,2 \times 9,8 \times 15 (20 + 10) / 263 \approx 20 \text{ Па.} \quad (2.3)$$

Цей тиск поділяється приблизно порівну: з вулиці через вхідні двері та відкриті чи вікна та з вентиляційного вікна на даху – назовні. Причому різниця тисків в 10 Па забезпечує потрапляння холодного повітря всередину будівлі внизу у відкриті двері і такий же перепад тиску забезпечує вихід теплого повітря з будівлі через вентиляційні отвори на даху назовні. Оскільки, відповідно до рівняння Бернуллі:

$$\Delta P = \rho v^2 / 2,$$

то оцінна величина швидкості надходження холодного ( $-10^\circ\text{C}$ ) повітря в будівлю складе:  $v \approx 4 \text{ м/с}$ . Отже, через протяги в будівлю втікає близько  $4 \text{ м}^3/\text{с}$  холодного повітря. Це потік повітря приблизно такий же, як при нормальній вентиляції будівлі, який складає  $3,75 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Таким чином, тепловтрати будинку через протяги збільшаться приблизно на 140 кВт, тобто їх можна порівняти за величиною із втратами через стіни за рахунок теплопровідності ( $W_1$ ) та втратами за рахунок нормальної вентиляції будівлі ( $W_2$ ). Очевидно, що зменшення приведеної площі нещільностей вхідних дверей і вікон, за рахунок їх ущільнення дозволить суттєво мінімізувати тепловтрати від протягів.

Тепер оцінимо втрати тепла крізь вікна. На початку припускалося, що тепловий потік через віконну область такий самий, як і через таку ж саму площу суцільної стіни. Проте потік тепла через вікно залежить від конструкції вікна.

Зазвичай вікна мають два скла, що знаходяться при різній температурі повітря зовні і з середини приміщення. За рахунок конвекції це повітря передає енергію від теплого внутрішнього скла до холодного зовнішнього скла. В результаті, внутрішнє скло має температуру поверхні, зверненої до кімнати близько  $0^\circ\text{C}$ . Зовнішня ж поверхня скла складатиме  $-10^\circ\text{C}$ . Отже, якщо висота вікна становить близько 1 м, а

різниця температур зовнішнього і внутрішнього скла – близько 10 С, то різниця тисків, яка забезпечує конвекцію повітря між склом, буде на два порядки менше значення 20 Па, визначеного вище й оцінена у 0,5 Па.

За наведених умов, як показано в [1], кожен квадратний метр вікна забезпечує передачу теплової потужності орієнтовно 116 Вт/м<sup>2</sup>, що приблизно вдвічі більше, ніж втрати тепла через квадратний метр цегляної стіни. Площа ж вікон становить близько 20% від загальної площі зовнішніх стін будівлі, отже, тепловтрати через кожен квадратний метр площі стіни (з вікнами) будуть більшими, за зроблену вище оцінку у 53 Вт/м<sup>2</sup> приблизно на 20 % і складуть 64 Вт/м<sup>2</sup>. В результаті, при загальній площі будинку 3150 м<sup>2</sup> втрати тепла складуть, приблизно 202 кВт, до яких слід додати потужність тепловтрат, пов'язаних з вентиляцією будинку.

Таким чином,, потужність тепловтрат за рахунок двох розглянутих механізмів, виключаючи протяги, складе:

$$W1 + W2 = 202 + 135 = 337 \text{ кВт.}$$

З урахуванням протягів, оцінених приблизно у 140 кВт, отримаємо загальну потужність теплових втрат типовим п'ятиповерховим цегляним будинком з сумарною площею поверхні 3150 м<sup>2</sup>, приблизно до 480 кВт. В перерахунку на 1000 м<sup>2</sup> тепловтрати складуть порядку 160 кВт/1000 м<sup>2</sup>.

Насамкінець, для порівняння отриманих вище теоретичних (розрахункових) значень тепловтрат указаним будинком, дамо також оцінку тепловтрат радіаційним шляхом, отриманих на основі натурних обстежень аналогічного будинку з використанням радіаційного пірометра, як показано в роботі [2].

Методика теплових вимірювань базувалася на використанні портативного пірометра з лазерним укажчиком області визначення радіаційної температури певної поверхні. Паспортна похибка вимірювання температури приладом складала +/- 0,1°C.

Дослідження температур проводилося у грудні-січні місяці у похмурі дні за відсутністю вітру, що дозволило виключити вплив прямої сонячної радіації на температуру поверхонь [2]. При цьому температуру цегляної й утепленої поверхонь вимірювали пірометром, як показано на рис. 1.

На рисунку позначена зона сканування температури округлої форми, якої дотримувалися за допомогою лазерного укажчика. Діаметр зони складав 20...30 см, залежно від відстані пірометра до поверхні, що зазвичай становила 1...2 м та не перевищувала 4...5 м при вимірах на другому поверсі будинку. При цьому була отримана регресійна модель залежності радіаційної температури поверхні цегляної стіни –



$T$  від температури атмосферного повітря – та:

$$T = 0,891 \text{ та } +0,7322, R^2 = 0,9029 \quad (2.4)$$

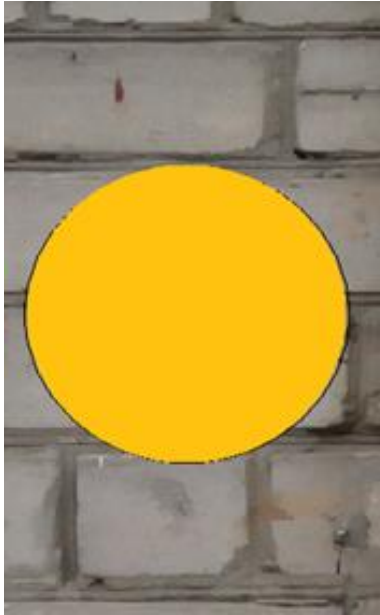


Рисунок 1 – Схема сканування поверхні цегляної стіни пірометром з лазерним укажчиком

Обсяги втрати тепла з кожного квадратного метру стіни будинку оцінювалися за даними радіаційної температури її поверхні за формулою Стефана-Больцмана, скоригованою для сірих тіл:

$$B = \delta\sigma T^4 \quad (2.5)$$

де  $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup> – постійна Стефана–Больцмана;  $\delta = 0,95$  – поправка для сірого тіла, якою вважалася стіна будинку з силікатної цегли;  $T$  – температура поверхні нагрітого тіла за шкалою Кельвіна (пов’язана зі шкалою Цельсія, як  $T = t^{\circ}\text{C} + 273$ ).

Згідно з моделлю (2.4) температурі атмосферного повітря  $-10^{\circ}\text{C}$  відповідає радіаційна температура цегляної стіни житлового будинку близько  $-8^{\circ}\text{C}$ . За цією температурою оцінювався повний потік випромінювання енергії стіною з умовною одиничною площею  $1000 \text{ м}^2$ , яку зручно використовувати при масштабних розрахунках втрат тепла будинками у житлових мікрорайонах, що обслуговуються певною котельнею. В результаті отримуємо потужність втрати тепла стіною:

$$B = 1000\delta\sigma T^4 = 1000 \times 5,67032 \cdot 10^{-8} \times 0,95 \times (-9,6 + 273)^4 = 266 \text{ кВт}/1000 \text{ м}^2.$$

## РЕЗУЛЬТАТИ

Як бачимо, оцінна потужність тепловтрат будівлі, що отримана теоретичним шляхом з урахуванням теплопровідності її стін та зміни повітря всередині за рахунок вентиляції та протягів склала приблизно 160 кВт/1000 м<sup>2</sup>. Ця розрахункова величина виявилася приблизно на 39%, нижче за величину 266 кВт/1000 м<sup>2</sup> – втрати тепла стінами будинку радіаційним шляхом.

Отримана розбіжність, як ми вважаємо, обумовлена певними теоретичними припущеннями та орієнтовним вибором параметрів житлового будинку, які впливають на тепловтрати. Проте отримані оцінні результати знаходяться в межах одного порядку, отже їх слід вважати цілком прийнятними для подальшого аналізу ефективності заходів з утеплення будинків. При цьому величина радіаційних втрат тепла стінами за моделями (2.4) та (2.5) виглядає більш достовірною, оскільки отримана в результаті коректних вимірювань при обстеженні радіаційних температур стіни реального будинку.

## ВИСНОВКИ

Виконані різнобічні оцінки тепловтрат типовим п'ятиповерховим житловим будинком в опалювальному сезоні виявили суттєві втрати тепла, які варто зменшити під час реконструкції таких будинків. Це дозволить зменшити витрати палива, необхідного для обігріву будинків котельнями та відповідно знизити викиди забруднюючих речовин котлоагрегатами в атмосферу, підвищуючи тим самим рівень екологічної безпеки густонаселених міст. Причому оцінку ефективності заходів з утеплення будинків доцільно проводити з урахуванням характерних змін радіаційних температур утеплених поверхонь.

## ПОСИЛАННЯ

1. Варламов С. *СУНЦ МГУ – Школа им. А. Н. Колмогорова*. URL: <https://internat.msu.ru/media/uploads/files/Потери-тепла-зданиями.pdf>.

2. Kolesnyk V., Pavlychenko A., Moniuk I. Assessment of resource-saving and environmental effects in the system «boiler room – heat consumers – environment» from insulation of external walls of houses. *Collection of Research Papers of the National Mining University*. 2020. Vol. 61. P. 116–128. URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/61.116>.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ ШЛЯХОМ ЗНЕПИЛЕННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНИХ ГАЗІВ

*Юлія Володимирівна Войтенко*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0819-3794>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Підприємства чорної металургії є одними з основних галузей економіки України. Це основа для розвитку інших видів промислової діяльності: машинобудування, будівельної індустрії та інших галузей, а також це робочі місця, наповнення бюджету держави, вирішення багатьох напрямків інфраструктурних проєктів [1]. Більшість підприємств галузі побудовані багато років тому. Слід відмітити, що технологічні процеси та обладнання постійно удосконалювались. В той же час питанням зменшення негативного впливу цих підприємств на навколишнє середовище приділялось недостатньо уваги. В результаті чого в регіонах розміщення багатьох металургійних комбінатів склались критичні екологічні обставини внаслідок надходження в атмосферне повітря величезної кількості шкідливих речовин. Серед виробництв металургійних комбінатів найбільш потужним забрудником атмосферного повітря є виробництво агломерату [2, 3]. В першу чергу це стосується викидів пилу. Існуючі засоби очистки аглогазів не завжди забезпечують видалення пилу перед їх надходженням в атмосферне повітря. Вирішити проблему зменшення надходження пилу в атмосферне повітря можливо за рахунок пилоподавлення на етапі пилоутворення, для чого доцільне застосування розчинів поверхнево-активних речовин та їх композицій [4].

Метою роботи є підвищення ефективності процесів агломерації при поліпшенні грудкування аглошихти та дослідження зниження запиленості агломераційних газів при обробці агломераційної шихти розчинами поверхнево-активних речовин перед її спіканням.

Використовувались лабораторні, стендові та натурні (промислові) методи досліджень при визначенні ступеню обезпилення аглогазів.

Основним джерелом забруднення пилом атмосферного повітря в агломераційному виробництві є процеси спікання аглошихти на полетах агломашин. Причому надходження пилу в аглогази в процесі спікання аглошихти, а також при транспортуванні і перевантаженні готового агломерату залежить від якості її грудкування, газопроникності шару шихти на палетах агломашин та ефективності спікання агломерату. Наявність в аглошихті дрібного агломерату (до 15% за масою), зумовлює погіршення грудкування шихти в барабані-

огрудковувачі. При низькій якості грудкування значно збільшується частка повернутого дріб'язку в готовому агломераті, а також винос пилу із аглогазами із шару аглошихти перед її спіканням [5].

Для підвищення ефективності процесу агломерації необхідно забезпечити таку газопроникність спікаемого шару, при якій кількість повітря, що просмоктується ексгаустером, і продуктів згоряння буде достатнім для повного згоряння коксового дріб'язку, активізації процесів взаємодії між мінералогічними компонентами шихти, збільшення вертикальної швидкості спікання [6]. Оптимізація газопроникності спікаемого шару дозволяє інтенсифікувати процеси тепломасообміну в спікаемому шарі, за рахунок чого швидкість руху зони горіння не лімітується нестачею кисню. За рахунок підвищення повноти згоряння коксового дріб'язку в шихті можливо зниження його витрат в шихті [7].

Як показали дослідження [8, 9, 10], введення ПАР до складу аглошихти сприяє поліпшенню грудкування аглошихти, а, отже, збільшенню газопроникності шару і підвищенню вертикальної швидкості спікання агломерату. ПАР мають здатність знижувати поверхневий натяг. При попаданні на тверді частки ПАР внаслідок плівкової адсорбції відбувається не тільки поліпшення, але і прискорення змочування дисперсних матеріалів, їх пластифікація. При цьому за рахунок збільшення сил адгезії підвищується злипання частинок. Проаналізувавши найпоширеніші поверхнево активні речовини за їх фізико-хімічними та токсикологічними характеристиками, для обробки аглошихти рекомендовано в якості ПАР використовувати ТЕАС.

З метою визначення концентрацій пилу в аглогазах були виконані експериментальні дослідження в промислових умовах агломераційного виробництва ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Питомі витрати ТЕАС в аглошихті складали від 20 до 120 г/т.

Виміри концентрації пилу в аглогазах здійснювалися у вакуум-камерах, перед мультициклоном та після мультициклону перед викидом в атмосферне повітря без обробки розчинами ПАР. Потім вмикалась система обробки аглошихти ПАР та знову проводились виміри концентрації.

Значення концентрацій пилу в аглогазах в вакуум-камерах до обробки аглошихти розчинами ПАР та після запропонованої обробки розчинами ПАР з витратами 60 г/т наведено на рисунку 1.

Наведені результати промислових випробувань показують, що застосування ПАР для обробки аглошихти перед її спіканням дозволяє знизити початкову запиленість аглогазів, яка вимірювалась в вакуум-камерах агломашини, від 15 % до 40 %. Це, безумовно, дозволяє зменшувати пилове навантаження на наступні апарати газоочищення:

пиловловлюючі бункери під вакуум-камерами, пиловідділюючі бункери перед мультициклоном та безпосередньо на мультициклон [9].

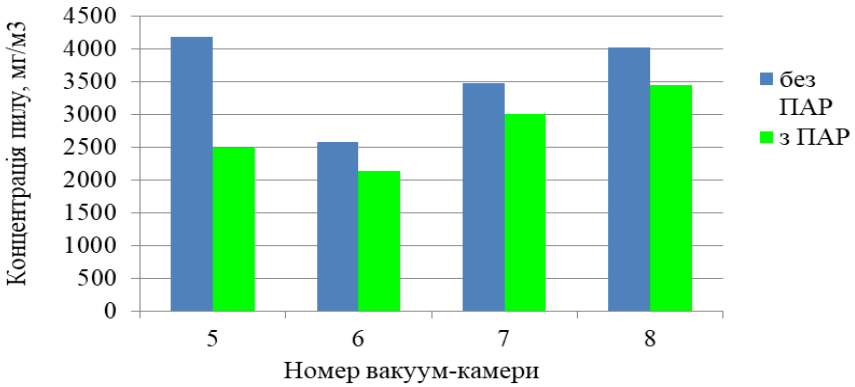


Рисунок 1 – Концентрація пилу в аглозазах в вакуум-камерах

На рисунку 2 наведено результати вимірів концентрації пилу перед мультициклонами агломашин.

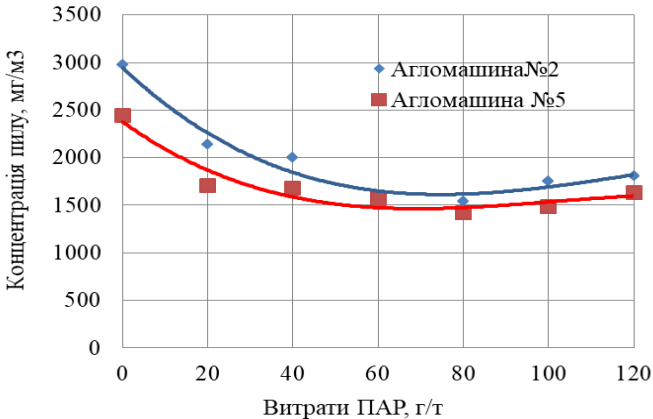


Рисунок 2 – Запиленість газів перед мультициклоном

Наведені на рисунку 2 експериментальні результати показують зниження запиленості аглозавів перед мультициклонами приблизно на 40 % в результаті застосування ПАР для обробки аглошихти.

На рисунку 3 наведено дані промислових досліджень з вимірів концентрації пилу після очистки аглозавів в мультициклоні.

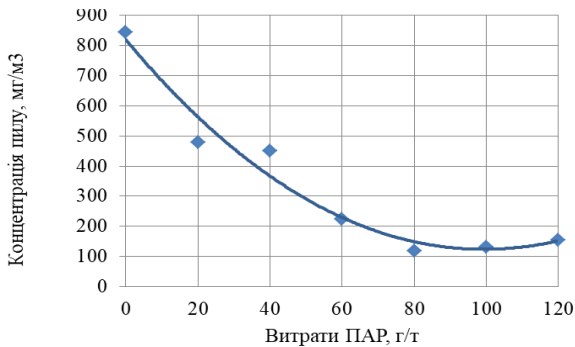


Рисунок 3 – Запиленість газів після мультициклона

Результати контролю запиленості агломераційних газів після очищення їх в мультициклоні (рис. 3) показали, що застосування ПАР для обробки аглошихти дозволяє знизити запиленість аглогазів, які викидаються в атмосферне повітря на 86 %, що обумовлено зменшенням запиленості аглогазів на вході в мультициклон. Як видно із наведених на рисунках 1 – 3 результатів вимірів концентрації пилу в аглогасах на різних дільницях руху аглогазів в газоходах агломашин застосування піни для обробки аглошихти розчинами ПАР дозволяє знизити концентрацію пилу в аглогасах на усіх дільницях газоходу.

За результатами наукового дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що підвищення ефективності процесу агломерації можна досягти поліпшенням процесів грудкування, що може відбуватись за рахунок обробки агломераційної шихти розчинами поверхнево активних речовин перед її спіканням.

2. Проведені промислові дослідження запиленості газів на різних дільницях газоходів агломашини показали зниження до 40 % початкової запиленості аглогазів в вакуум-камерах, що дозволяє зменшувати пилове навантаження на наступні апарати газоочищення. Показано зменшення на 40 % в результаті застосування ПАР запиленості аглогазів перед мультициклонами в результаті застосування ПАР.

3. Встановлено, що в результаті впровадження системи обробки аглошихти розчинами ПАР при дослідженні концентрації пилу в аглогасах після очищення їх в мультициклоні, спостерігається зниження концентрації пилу на 86 %. Це зумовлено як зменшенням початкової запиленості аглогазів, які надходять в мультициклон, так і більш ефективною пилоочисткою в мультициклоні за рахунок поліпшення процесів агрегації часток пилу.

## ПОСИЛАННЯ

1. Гончарук О. В., Ігнашкіна Т. Б., Броннікова В. Ю. Сучасний стан гірничо-металургійного комплексу України: чинники, тенденції й результати. *Ефективна економіка*. 2020. № 9. С. 19–25. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.9.60.
2. Tepina M.S., Gorlenko N.V. and Murzin M.A. Analyzing the Impact of Dust Emissions from Metallurgical Enterprises on the Environment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 988, Chapter 1. 2022. P. 5–10.
3. Yolkin K. S., Sivtsov A. V., Yolkin D. K. and Karlina A. I. Silicon Metallurgy and Ecology Problems. *Materials Science*. 2020. P. 39–42.
4. Кривільова С. П., Власенко В. В., Цвіркун Д. О. Боротьба з промисловим пилом при виробництві цементу як фактор суттєвого зниження негативного впливу цементних заводів на довкілля. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2019. № 5. С. 124–131. DOI:10.20998/2413-4295.2019.05.16.
5. Величко А. Г., Бобылев В. П., Турищев В. В. Эколого-технологические аспекты расширения ресурсосберегающих функций агломерационного производства. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2012. № 2. С. 107–109.
6. Теверовский, Б. З. Очистка промышленных газов в черной металлургии. Киев : Техника, 1993. 152 с.
7. Мищенко И. М. Черная металлургия и охрана окружающей среды. Донецк : ГВУЗ ДонНТУ, 2012. 446 с.
8. Шишацкий А. Г., Пицык Ю. В. Влияние поверхностно-активных веществ на смачиваемость сыпучих материалов. *Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського*. 2010. Вип. 2 (61) ч. 1. С. 117–119.
9. Шишацкий А. Г., Пицык Ю. В. Исследование параметров обработки сыпучих материалов поверхностно-активными веществами для обеспыливания воздуха. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2013. Вип.4. С. 76–80.
10. Агапова В. Т., Нестеров А. С., Якушев В. С., Шишацкий А. Г., Пицык Ю. В. Результаты спекания и свойства агломерата из шихт подготовленных с использованием поверхностно-активных веществ. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2012. №25. С. 9–18.

## ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ: КЛЮЧОВІ ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ

*Олена Вікторівна Долженкова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4992-7953>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Проблеми поводження з відходами в Україні накопичувались протягом довгих років. Ще у 1998 році був прийнятий закон "Про відходи", в якому визначені основні умови, вимоги і правила екологічно безпечного поводження з відходами, їх мінімізації та стимулювання ресурсозбереження. У законі передбачено розширення використання відходів у господарській діяльності, запобігання їх шкідливому впливу на навколишнє природне середовище та здоров'я людини. Однак, ідеї, закладені в цьому законі, не були належним чином впроваджені у повсякденну діяльність, в першу чергу, це стосується створення умов, які б заохотили утворювачів цих відходів до роздільного збирання, а також організації контролю за місцями їх розміщення.

Минуло 25 років з моменту проголошення таких необхідних для нашої країни принципів, але на практиці мало що змінилось. Відходи продовжують накопичуватись, а контроль за їх зберіганням відсутній. На роздільне збирання твердих побутових відходів також немає сенсу сподіватись.

У той же час європейські країни успішно переходять від лінійної економіки до циркулярної. Лінійна модель передбачає вироблення, використання та утилізацію продукції. Циркулярний підхід зовсім інший і передбачає впровадження принципу 3-R:

- Reduce: скорочення використання ресурсів і надання переваги відновлюваним матеріалам;
- Reuse: максимально ефективне використання продукції;
- Recycle: відновлення побічних продуктів й відходів для подальшого використання в економіці [1].

В більшості країн Європи навіть відсутній термін «відходи», вони позначають їх як цінну вторинну сировину.

Зважаючи на намір слідування європейським курсом Україна в 2017 р. прийняла Національну стратегію поводження з відходами до 2025 р. та у 2022 р – закон «Про управління відходами», які мають на меті впровадження принципів циркулярної економіки.

Для того щоб ці документи отримали практичне застосування необхідно налагодити, у першу чергу, роздільний збір побутових відходів, які кожен з жителів нашої країни щорічно викидає на смітник у кількості 300 кг. Але як це зробити коли люди не розуміють значимості таких дій? Опитування населення у більшості випадків показує,



що воно не готове до зайвих клопотів, пов'язаних з підготовкою відходів для подальшої переробки, їм набагато простіше наповнювати сміттєвий пакет за звичним сценарієм – усе підряд.

Показовим є досвід Китаю. Коли влада вирішила запровадити роздільний збір твердих побутових відходів, то одразу за порушення нових правил передбачила штраф від 9 до 30 доларів США для населення, і від 7 до 70 тис. доларів США – для підприємств і організацій. Результат настав дуже швидко – вже через два місяці збір вторинної сировини збільшився у 5 разів [2]. Але в Україні не можна впроваджувати такий досвід, бо забезпеченню якісного роздільного збору відходів має передувати навчання населення певним правилам.

На сьогоднішній день ще одним великим викликом для нашої країни стали деструктивні відходи, утворення яких пов'язано з бойовими діями під час війни. Зруйновано більше 150 тисяч об'єктів, кожного дня ця кількість зростає і постає проблема подальшого поводження з руїнами. Безумовно, організація їх переробки пов'язана з економічними витратами, але ж водночас дає змогу зібрати та переробити для повторного використання будівельні матеріали, такі як бетон, цегла або метал. Наприклад, бетон може бути подрібнений і використаний як щебінь для нового будівництва, а металеві конструкції можуть бути переплавлені на якісний метал.

Такі відходи, як дерево, пластик чи скло, можуть бути піддані процесу вторинної переробки. З деревини можна виготовити деревні плити або біопаливо, пластик може бути перероблений у гранули для виробництва нових виробів, а скло – в нові скляні вироби.

Під час розбірки деструктивних відходів також можна вилучати неушкоджені речі (дверні блоки, водопровідні крани, меблі і т. ін.) для подальшого використання у відновленому житлі. Деякі складові (електронні компоненти або обладнання) зруйнованого об'єкта можуть бути реконструйовані чи відремонтовані для подовження їх життєвого циклу.

Крім того, сортування відходів для подальшого ресайклінгу дасть і такі переваги як забезпечення роботою тих людей, які її втратили, а також дозволить отримувати прибуток від реалізації готової продукції з перероблених відходів.

Під час війни нашу країну пограбовано, понівечено, а відроджувати її необхідно за будь яких умов, і тут можуть стати у нагоді відходи як цінна сировина.

Для впровадження переробки відходів слід:

– в першу чергу, організувати широку просвітницьку роботу серед населення (проведення інформаційних кампаній, семінарів та навчальних програм, конкурсів, наглядна агітація) для роз'яснювання

необхідності залучення відходів у переробку;

– навчати населення (в першу чергу дітей) правилам роздільного збору;

– залучати в ігровій формі до заготівлі окремих складових відходів дітей, проводити серед них змагання по цій тематиці;

– впроваджувати обов'язковий роздільний збір відходів на рівні будинків та багатоквартирних житлових комплексів. До того моменту, коли владні структури організують установку спеціальних контейнерів, необхідно надати мешканцям мішки для збору окремих типів відходів, таких як алюмінієві пляшки, скло, пластик, папір, метал та органічні відходи.

– організувати установлення окремих контейнерів для збору певного виду відходів у місцях масового перебування людей (у парках, на вулицях, у торгівельних центрах);

– зібрані роздільно відходи своєчасно вивозити на переробні підприємства;

– інформувати населення про те, яку продукцію можна виробляти з вторинної сировини.

У випадках, коли неможливо або недоцільно переробляти відходи, їх можна використовувати для виробництва енергії. Дерев'яні відходи або тверді комунальні відходи можуть бути використані для виробництва електро- та теплової енергії у спеціальних установках.

Тільки за правильної організації збору вторинної сировини можна вирішити сировинну проблему та виготовляти якісну продукцію.

## Посилання

1. Краці європейські практики управління відходами (посібник) / А. Войціховська А., Кравченко О., Мельнь-Забрамна О., Панькевич М., [за заг. ред. О. Кравченко] — Видавництво «Компанія “Манускрипт”» — Львів, 2019. — 64 с.

2. О. Нікітюк Сміттева реформа в Китаї. Що це означає для світу? / Бізнес: веб-сайт. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/musornaya-reforma-v-kitae-chto-eto-znachit-dlya-mira-50045140.html#:~%D1%82%D1%82%D1%8F>. (дата звернення: 21.05.2023).

## АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ЗНЕШКОДЖЕННІ ЗАРЯДІВ ВИЛУЧЕНИХ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ДВИГУНІВ

Олена Василівна Золотько

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2482-7574>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Найбільш поширеними методами вилучення або знищення зарядів РДТП є спалювання або підривання палива та вилучення твердого ракетного палива (ТРП) шляхом гідродинамічного вимивання, механічної обробки, хімічної деструкції, криогенного руйнування. Розглянемо основні переваги та недоліки зазначених методів.

При спалюванні або підриванні дефектних зарядів і зарядів із понаднормативним терміном зберігання існує висока ймовірність аварій з подальшими важкими наслідками для навколишнього середовища [1]. Зміни фізико-хімічних властивостей зарядів після їхнього довготривалого зберігання можуть призвести до переходу пошарового дефлаграційного режиму горіння ТРП в детонаційне. Методу спалювання притаманні значні капітальні витрати, пов'язані з будівництвом полігонів та систем очищення і поховання відходів. До того ж процес спалювання необхідно проводити з обов'язковим очищенням викидів токсичних продуктів згорання, які утворюються при недостатці кисню, до нормативів екологічної безпеки. При підриванні ТРП унаслідок виникнення режиму нестійкої детонації можливий розкид фрагментів заряду і корпусу на значній території з утворенням вторинних джерел забруднення. Отже, метод спалювання або підривання зарядів твердого палива характеризується рядом негативних факторів [2]:

- викидами до атмосфери високотемпературних шкідливих газів (при спалюванні сумішевого твердого палива – хлору, хлористого водню, окисів алюмінію, окису вуглецю та ін.), а також твердих частинок пилу;

- забрудненням ґрунтів та водойм твердими продуктами згорання;

- виділенням шкідливих речовин при неповному згорянні броньованого та теплозахисного покриття, манжет та органопластикового корпусу РДТП;

- розповсюдження ударних та сейсмовибухових хвиль;

- світловий та шумовий ефекти.

Метод вилучення зарядів з твердопаливних двигунів шляхом механічної обробки також має підвищену вибухову й пожежонебезпечність та передбачає здійснення складних технологічних операцій із

сегментації та доочищення корпусів. Технологія гідродинамічного вимивання ТРП є достатньо складною та енергоємною [3]. Наявність значних об'ємів забрудненої окислювачами на основі хлору води, потребує застосування спеціальних водоочисних систем. Разом з тим, використання продуктів утилізації вилученого гідровимиванням ТРП при виготовленні нових виробів та промислових вибухових речовин має вагомий економічний ефект. Основними негативними факторами методу гідровимивання зарядів є такі:

- забруднення технологічної води розчинними компонентами та твердими частинками палива, що потребує організованого водообміну з періодичним очищенням забруднених вод (маса забруднених технологічних вод майже у десять разів перевищує масу заряду, який спалюється);

- виділення у певній кількості аміаку і водню;

- небажаний вплив на довкілля під час утилізації чи спалюванні вилучених фрагментів твердого палива.

При застосуванні в установках для гідророзмиву поряд з водою струменів рідкого аміаку та/або вуглекислоти екологічні характеристики процесу суттєво покращуються.

При хімічній деструкції відбувається виділення легколетких парів органічних розчинників, які застосовують у технологічному процесі. У процесі деструкції палива, регенерації його компонентів і знищенні отриманого шламу до атмосфери та до стічних вод у значній кількості потрапляють шкідливі речовини.

Є позитивний досвід застосування рідкого азоту для видалення зарядів твердого палива з корпусу двигуна. Азот подають під високим тиском у вигляді спрямованих струменів. Метод є екологічно чистим, але недостатньо економічним з причини використання криогенного обладнання високої вартості для отримання, транспортування та зберігання криоагента.

Слід зазначити, що при утилізації зарядів РДТП повинна дотримуватися як виробнича, так і екологічна безпека. Виробнича безпека жорстко регламентується правилами роботи з вибуховими речовинами та компонентами ракетного палива, відповідними інструкціями, посібниками, вказівками з техніки безпеки та охорони праці. Питання забезпечення екологічної безпеки при реалізації різних технологій утилізації регламентовані меншою мірою. Основна відмінність методів ліквідації (підриг, спалювання та ін.) від методів утилізації полягає у тому, що в останньому випадку вплив на навколишнє середовище може спостерігатися лише при виникненні аварійних ситуацій (несанкціоноване спрацювання двигуна або детонація заряду твердого палива) у вигляді залпових викидів забруднюючих речовин у

довкілля. Тому необхідно розглядати вплив різних технологій вилучення зарядів з корпусів РДТП на навколишнє середовище при штатних режимах проведення утилізації та в умовах виникнення аварійних ситуацій. У штатних режимах можуть спостерігатися викиди повітря з парами вибухових речовин, виділення в атмосферу шкідливих продуктів згоряння, забруднення водного басейну промисловими та технологічними стоками, забруднення ґрунту небезпечними твердими частинками та рідкими компонентами. При вибуху та пожежі можуть бути знищені не тільки матеріальні цінності, також може постраждати працюючий персонал. При порушенні режимів експлуатації очисних та вентиляційних споруд, фільтруючих установок відбувається забруднення довкілля шкідливими речовинами.

Складна науково-технічна проблема підвищення ефективності утилізації РДТП може бути успішно вирішена на основі детального аналізу критеріїв виробничої та екологічної безпеки. Розробка наукових основ технології утилізації зарядів твердого палива дозволить скоротити загальну тривалість процесу утилізації, витрати на його реалізацію та зменшити імовірність виникнення надзвичайних ситуацій у місцях зберігання та переробки зарядів.

## Посилання

1. Голинько В. И. Экологические последствия ликвидации смешанного твердого ракетного топлива методом открытого сжигания / В. И. Голинько, Е. Б. Устименко // Матер. міжнар. наук.-практ. конф. "Екологічні проблеми техногенно-навантажених регіонів". – Д.: НГУ, 2008. – С. 205-207.
2. Утилізація літальних апаратів: монографія / М. В. Нечипорук, В. М. Кобрін, В. В. Вамболь, О. О. Поліщук.- Харків: Видавничий центр «ХАІ», 2014.- 306 с.
3. Computational Modeling of Pressure Effects from Hydrogen Explosions / E. A. Granovskiy, V. A. Lyfar, Yu. A. Skob, M. L. Ugryumov // Abstracts Book and CD-ROM Proceedings of the 2-nd International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 15 p. (ICHS Paper No. 1.3.52).

## **ОЦІНКА СТАНУ НЕБЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОГО РУХУ**

*Тетяна Іванівна Русакова*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5526-3578>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### **Вступ**

Безпека дорожньо-транспортного руху залишається актуальним щоденним питанням в кожній країні, а особливо в Україні. Кількість дорожньо-транспортних пригод обумовлена великою кількістю факторів: станом доріг, освітленістю, наявністю дорожніх знаків та розміток, облаштованими пішохідними переходами, розміщеними саме там, де це зручно для більшої кількості пішоходів, наявністю роздільних смуг, пішохідних доріжок та доріжок для велосипедистів, наявністю зручних стоянок, облаштованими узбіччями, станом транспортних засобів та свідомістю усіх учасників дорожнього руху. В Україні прийнята транспортна стратегія, яка створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів транспорту у наданні транспортних послуг [1-2]. В дослідженні наведено аналіз поведінки учасників дорожнього руху, щоб знайти відповідні стратегії та заходи для зменшення небезпечних транспортних ситуацій та підвищення безпеки на дорогах [3].

### **МЕТА ТА ЗАДАЧІ**

Оцінити динаміку зміни факторних змінних, що впливають на кількість дорожньо-транспортних пригод, як чинника безпеки життєдіяльності в місті. Розробка транспортної стратегії для підвищення рівня безпеки усіх учасників дорожнього руху ґрунтується на проведенні статистичної оцінки та аналізу кількості дорожньо-транспортних пригод з постраждалими, кількості загиблих та травмованих з урахуванням зв'язку між собою та з причинами їх скоєння.

### **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ**

На основі описової статистики було проаналізовано динаміку зміни кількості ДТП з постраждалими, кількості загиблих та травмованих (рис. 1) в Дніпропетровській області за 2017-2022 роки [4]. Найбільша кількість таких ДТП була зафіксована в 2020 році – 2288, тоді як найбільша кількість травмованих була в 2017 році – 2791 людина. Починаючи з лютого 2022 року у зв'язку з від'їздом населення

в інші країни, з нестачею пального та значним збільшенням його вартості, роботою онлайн та іншими причинами спостерігається зменшення в порівнянні з 2021 роком кількості ДТП на 16 %, кількості травмованих на 13 %. На відміну від такої тенденції зменшення, кількість загиблих навпаки зросла на 4 %, що вірогідно пов'язано з відсутністю освітлення на дорогах, як в межах міста, так і по за ним. І це зростання спостерігається тоді, як населення, що залишилося проживати на території України зменшилося на кілька мільйонів.

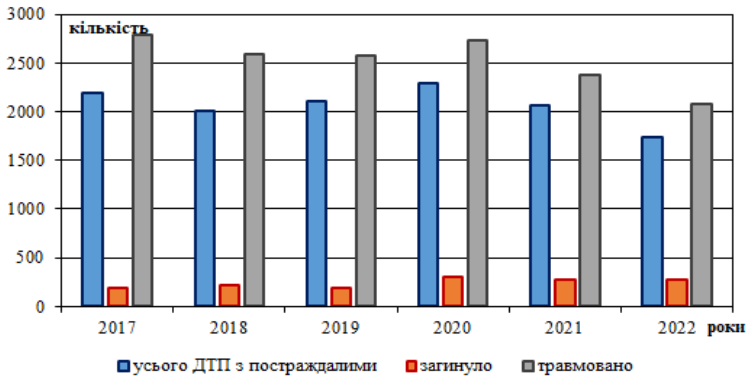


Рисунок 1 – Динаміка зміни кількості ДТП з постраждалими в Дніпропетровській області за 2017-2022 роки

Рівняння зміни кількості травмованих  $q_1(x)$  та загиблих  $q_2(x)$  по Дніпропетровській області мають вид (1) – (2).

$$q_1(x) = a_2x^2 + a_1x + a_0, \quad (1)$$

де  $x$  – роки,  $a_2=-34.54$ ,  $a_1=139374$ ,  $a_0=1E+08$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2=0.802$ .

$$q_2(x) = b_2x^2 + b_1x + b_0, \quad (2)$$

де  $x$  – роки,  $b_2=-1.95$ ,  $b_1=7881.7$ ,  $a_0=8E+06$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2=0.798$ .

Наступний аналіз було проведено відносно тенденції зміни кількості ДТП с постраждалими, кількості загиблих та травмованих (рис. 2) в Дніпропетровській області впродовж січня-квітня місяців 2023 року [4]. Найбільша кількість ДТП була у січні – 159, найменша у лютому – 122, потім спостерігається зростання. Найбільша кількість загиблих була у січні – 28 людей, починаючи з лютого тенденція

постійна – 16-17 людей, тоді як найбільша кількість травмованих була у квітні – 170 людей.

Рівняння зміни кількості ДТП з постраждалими  $q_3(x)$  по Дніпропетровській області за січень-травень 2023 року має наступний вид:

$$q_3(x) = c_2x^2 + c_1x + c_0, \quad (3)$$

де  $x$  – роки,  $c_2=11.75$ ,  $c_1=-66.05$ ,  $c_0=211.75$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2=0.945$ .

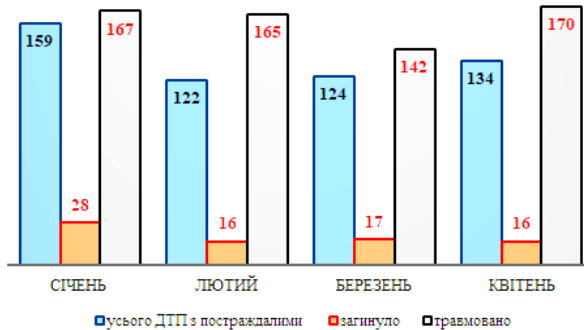


Рисунок 2 – Динаміка зміни кількості ДТП з постраждалими в Дніпропетровській області за січень-квітень 2023 року

В продовження досліджень по статистичним даним за видами скоєння ДТП було виявлено, що лідируюче місце займають наступні транспортні пригоди: наїзд на пішоходів, зіткнення, наїзд на перешкоду (рис. 3).

Можна бачити, що тенденція зміни наїзду на пішоходів йде на спад: 689 випадків у січні та 399 випадків у квітні, відносно зменшення  $\Delta \approx 42\%$ . Зміна кількості зіткнень має тенденцію до зростання 520 випадків у лютому та 636 у квітні, відносно збільшення  $\Delta \approx 22\%$ . Кількість наїздів на перешкоду не має тенденції до зростання чи спадання і складає в середньому за чотири місяці 203 пригоди.

Рівняння зміни найбільш значимої факторної змінної за видами скоєння, а саме кількості ДТП із зіткненням  $q_4(x)$  по Дніпропетровській області за січень-травень 2023 року має наступний вид:

$$q_4(x) = d_2x^2 + d_1x + d_0, \quad (4)$$

де  $x$  – роки,  $d_2=24.75$ ,  $d_1=-97.05$ ,  $d_0=634.75$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2=0.875$ .



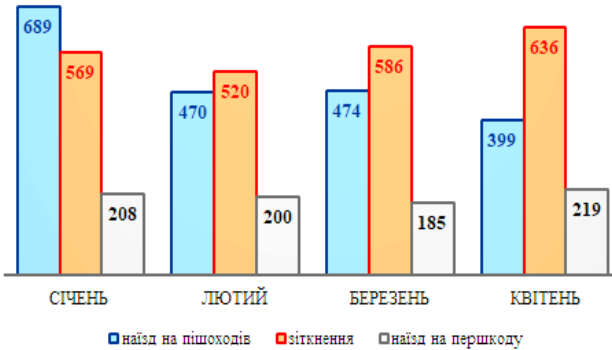


Рисунок 3 – Динаміка зміни кількості ДТП за видами пригод в Дніпропетровській області за січень-квітень 2023 року

Не менш важливими факторними змінними, що впливають на загальну кількість ДТП, є причини скоєння. Аналіз статистичних даних виявив найбільш значимі причини скоєння ДТП в Дніпропетровській області за січень-квітень 2023 року: перевищення безпечної швидкості, порушення правил маневрування, порушення правил проїзду пішохідних переходів та порушення правил проїзду перехресть (рис. 4).

Динаміка зміни кількості ДТП за причинами їх скоєння показує їх постійність з незначним відхиленням від середнього значення, крім порушень правил проїзду пішохідних переходів. Середнє значення ДТП з перевищенням безпечної швидкості 600 випадків, а відносне відхилення впродовж чотирьох місяців  $\Delta \approx 6\%$ . Середнє значення ДТП з порушенням правил маневрування 299 випадків, а відносне відхилення впродовж чотирьох місяців  $\Delta \approx 13\%$ . Середнє значення ДТП з порушенням правил проїзду перехресть 117 випадків, а відносне відхилення впродовж чотирьох місяців  $\Delta \approx 8\%$ . Динаміка зміни кількості ДТП з порушенням правил проїзду пішохідних переходів має тенденцію до спадання від 209 випадків у січні до 80 у квітні, тобто відбулося зменшення у 2.6 разу.

Проаналізовану вище динаміку можна описати наступною залежністю:

$$q_5(x) = g_2x^2 + g_1x + g_0, \quad (5)$$

де  $x$  – роки,  $g_2=15.75$ ,  $g_1=-119.25$ ,  $g_0=308.75$ , величина достовірності апроксимації складає  $R^2=0.971$ .

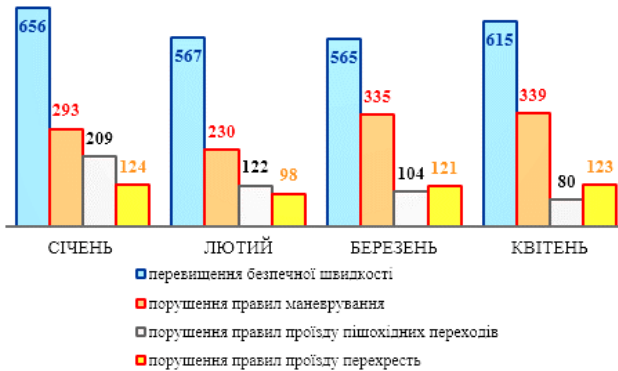


Рисунок 4 – Динаміка зміни кількості ДТП за причинами скоєння в Дніпропетровській області за січень-квітень 2023 року

## РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті проведених досліджень отримано наступні результати:

- встановлено закономірності зміни кількості дорожньо-транспортних пригод з постраждалими, кількості загиблих та травмованих в Дніпропетровській області за 2017-2022 роки та за січень – травень 2023 року;

- проаналізовано динаміку зміни кількості ДТП за видами пригод та причинами їх скоєння в Дніпропетровській області за січень-квітень 2023 року та встановлено тенденції їх зміни.

- можна бачити, що на фоні зменшення кількості ДТП з постраждалими та кількості травмованих, зросла кількість загиблих на 4 % в порівнянні з тим, що за кордон через війну виїхали понад 7.9 мільйона українців;

- в кінці першого та на початку другого кварталу 2023 року спостерігається зменшення наїздів на пішоходів, що обумовлено покращенням освітлення на дорогах та підвищення свідомості пішоходів до власної безпеки, на чому постійно наголошують ЗМІ та ДСНС;

- в цей же період спостерігається зростання кількості зіткнень, обумовлених збільшенням порушень відносно перевищення безпечної швидкості, порушень правил маневрування та порушень правил проїзду перехресть, що потребує встановлення більшої кількості камер спостереження та фіксації порушень водіями безпечної руху на дорогах, а також додаткових мір притягнення до відповідальності тих учасників руху, що навмисно створюють небезпечні ситуації.

## ВИСНОВКИ

Отримані математичні залежності дозволяють спрогнозувати кількість ДТП з постраждалими, виявити тенденції їх зміни за видами пригод та причинами їх скоєння, що є важливим при зміні дорожньо-транспортної стратегії в місті, яка повинна сприяти зниженню небезпек на дорогах міста.

На сьогодні необхідні більш ефективні заходи для організації безпечного руху на дорогах міста та на міжміських автомагістралях, а саме: постійне відеоспостереження на усіх ділянках доріг; підвищення якості покриття та розмітки доріг; обмеження швидкості руху транспортних засобів на ділянках доріг з пішоходами; впровадження додаткової сигналізації про небезпеки, як для водіїв так і для пішоходів; застосування штрафів для усіх учасників дорожньо-транспортного руху; підвищення рівня свідомості різних соціальних груп до власної безпеки.

## ПОСИЛАННЯ

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р : станом на 7 квіт. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-r#Text> (дата звернення: 10.05.2023)

2. *Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України*. URL: [https://mtu.gov.ua/files/strategy\\_ukr.pdf](https://mtu.gov.ua/files/strategy_ukr.pdf) (дата звернення: 01.06.2023).

3. Ngoc A. M, Truong M. T. Towards the Development of Traffic Safety Strategies in Developing Countries: Analysis of Road Users' Perspective An Minh Ngoca. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 48. P. 1278–1287.

4. *Статистика*. Патрульна поліція України. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 20.05.2023).

## ЄВРОПЕЙСЬКІ ПРИНЦИПИ ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

*Богдана Василівна Гаража*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8683-9256>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Тетяна Анатоліївна Смирнова*

OSCID: <https://orcid.org/0000-0002-3457-3144>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Першою і найважливішою перевагою автомобілебудування сьогодні залишається прагнення до екологічності. Саме це можна вважати найголовніше через те, що сьогодні весь світ перебуває під величезним тиском на автовиробників щодо скорочення шкідливих викидів від двигунів внутрішнього згорання. Поточні стандарти Євро-6 важко виконати в розвинених країнах. До прикладу, Ford був змушений зняти з виробництва деякі популярні моделі просто тому, що не може «довести» свої двигуни до Євро-6, але ж це нікого не хвилює. Забороняється виробництво та продаж транспортних засобів за попередніми екологічними стандартами.

У зв'язку з необхідністю значного зниження норм викидів забруднюючих речовин у вихлопних газах майже всі основні виробники змінюють модельний ряд. Крім того, у світі почали впроваджувати нові методи вимірювання. Через це перевірка стала дуже жорсткою. Колись було достатньо продемонструвати на стендах, що двигун виділяє викиди в дозволених межах норми, і потім провести комп'ютерне моделювання, то зараз автомобілі вдобавок тестуються в реальних умовах, тому показник стає точнішим. Також суворі обмеження застосовуються до дизельних двигунів. Двигун внутрішнього згорання ефективний тільки на 30%, а велика частина енергії втрачається у вигляді тепла і шуму [3]. Багато країн вже заборонили в'їзд дизельних автомобілів у центри міст. На окремих дорогах і цілих районах уже періодично припинено рух дизеля. Іншими словами, колись дизельні двигуни вважалися рентабельними через їхню високу економічну ефективність, але зараз щодо цього багато сумнівів.

Європарламент нарешті прийняв таке рішення: після 2035 року в ЄС вироблятимуть лише кліматично нейтральні автомобілі. Європа хоче відмовитися від виробництва автомобілів з двигунами внутрішнього згорання, задля користі екології. Але критики нового закону, ухваленого 14 лютого 2023 року, зазначають, що шлях до екологічного автомобільного транспорту не позбавлений суперечок. Більша

частина парламентарів, включаючи соціал-демократів, зелених і лібералів, висловили свою думку за достеменно відмову від ДВЗ. Електромобілі з акумуляторами або з воднем як джерелом енергії повинні домінувати на ринку з 2035 року, сказав доповідач законопроекту з Нідерландів Ян Уїтема, який представляє ліберальну групу "Оновити Європу" (Renew Europe) [2]. Він вважає, що чіткі терміни, встановлені в документі, дозволять авто-промисловості відновитися та пристосуватися до нововведень, захистити клімат і стати менш залежними саме від постачальників викопного палива. Рішення, прийняте в ЄС 14 лютого 2023 року, має ще одну перевагу для автомобілістів. Ян Уїтема зазначає те, що кліматично нейтральні транспортні засоби ставатимуть все дешевшими, і їм потрібно пропонувати доступні транспортні засоби. Багато законодавців з консервативними політичними поглядами, в тому числі в Німеччині, яка має потужну автомобільну промисловість, розкритикували новий європейський закон, як фактичну заборону двигунів внутрішнього згорання. Але один з експертів зазначає, що політики не повинні навчати інженерів будувати кращі автомобілі та зменшувати викиди. Даний закон може просто спричинити те, що після 2035 року люди будуть користуватися старими автомобілями з двигунами внутрішнього згорання, які з давньою реєстрацією. Політик Франс Тіммерманс заявив Європейському парламенту, що світова автомобільна промисловість переходить на виробництво електромобілів, і зазначив, подобається це їм чи ні, але промислова революція відбувається. Але критики Європейського парламенту заявили, що консолідація галузі, також може призвести до втрати робочих місць. За збігом обставин, незадовго до ухвалення закону, американський автовиробник Ford оголосив про скорочення понад 4000 робочих місць у Європі, в основному в Німеччині. Також Франс Тіммерманс звертав увагу на те, що європейська автомобільна промисловість потребує допомоги. Так як Китай випускає близько 80 нових електромобілів до кінця року, і це якісні автомобілі. Як наслідок, ЄС має забезпечувати підтримку перепідготовки та навчання фахівців автомобільної промисловості та сприяти створенню інфраструктури для систем зарядки електромобілів швидше, ніж раніше.

Однак новий стандарт Євро-7 є дуже суперечливим, оскільки його застосування значно зменшить викиди оксидів азоту, твердих гальмівних часток і мікропластику з шин до 2025 року. Логічність стандарту Євро-7 вимагатиме значних інвестицій у технологію приводу, але технологія приводу в будь-якому випадку має зникнути із ринку протягом 10 років, для того щоб нарешті поступитися місцем для електромобілів. Автовиробники так і не відповідають деяким вимогам стандартів Євро-5 і Євро-6, експлуатують дизельні транспортні

засоби під час екологічних випробувань і навіть використовують не-легальне програмне забезпечення для відключення фільтрів під час водіння. Відомі як «Дизельгейт», ці скандали стосуються німецьких автовиробників, таких як Volkswagen, Audi і Porsche. Жертви-покупці автомобілів, чії екологічні тести були сфальсифіковані, отримали компенсацію. Суворіші стандарти Євро-7 все ще потребують схвалення країн-членів ЄС та Європейського парламенту.

Завдяки високому технологічному рівню машин виробники в останні роки доклали великих зусиль для зменшення викидів забруднюючих речовин. Це впровадження систем «старт-стоп», застосування різних фільтрів та електрифікація автомобілів, яка уже стала окремим видом розвитку. Щонайменше 23 європейські країни значно скоротили викиди транспортних засобів. Планували, що у 2021 році в ЄС набуде чинності так зване правило 95. Це також новий стандарт, який вимагає від пасажирських транспортних засобів викидати в атмосферу не більше 95 грамів чадного газу на 100 кілометрів. Європейське законодавство також накладає штраф у розмірі 93 євро за кожен грам перевищення на всіх вироблених автомобілях. Як варіант скоро увесь світ перейде на електропривод. Однак слід також зазначити, що близько 80% електроенергії виробляється на електростанціях, що спалюють вугілля або газ. За даною ситуацією вже давно поставлено цілком логічне запитання. І яка різниця димить вихлоп автомобіля чи електростанція заряджає акумулятор? Також літій, ключовий інгредієнт, який використовується у виробництві високоефективних акумуляторів, теж є невідновлюваним ресурсом. Імовірно, видобуток цього металу також не покращує екосистему Землі. Оскільки немає технології 100% переробки, забруднення навколишнього середовища відбувається навіть під час утилізації. Одне із головного це те, що екологія вже є частиною політики та великого бізнесу. Цим «живуть» багато політиків і відомих діячів. Зокрема, вони підтримують декілька проектів та правових ініціатив щодо вирішення проблем забруднення навколишнього середовища. Але їхньою метою не обов'язково є захист природи. Можемо помітити, що у бізнесі також значно зросли витрати на екологічні проблеми. Треба розуміти, що завтра можуть з'явитися нові політики, які по-іншому сформулюють питання екології. Наприклад, щодо викидів теплових електростанцій. Зміна риторики з цього питання може кардинально змінити напрямок розвитку автомобільної промисловості.

В даний час існує чотири основних типи електромобілів:

1) М'який гібрид. Електродвигуни використовуються лише тоді, коли автомобілю потрібно швидко завестись або розігнатися. Це максимум знімає навантаження на двигун внутрішнього згорання,

що призводить до меншого споживання палива (особливо в містах) і звичайно ж кращої екологічності.

2) Гібрид, оснащений акумулятором середньої ємності, який регенерує та заряджається під час гальмування. Електродвигун забезпечує додаткову тягу, економить паливо та зменшує викиди в повітря.

3) Плагін гібрид. Акумулятори в таких автомобілях досить потужні, щоб їздити на великі відстані без використання двигуна внутрішнього згоряння. Він вмикається лише при низькому заряді батареї або коли потрібне швидке прискорення.

4) чисто електричний автомобіль. У нього немає ДВЗ.

Це все електромобілі, виробництво яких постійно збільшується у всьому світі.

В цілому електрифіковані транспортні засоби становлять лише 2,2% від загального обсягу продажів у світі. Найбільше його частка зростає в Китаї. На дорогах там вже їздить понад мільйон гібридних автомобілів, які підключаються до електромережі. Серед інших країн Норвегія також виділяється як країна з найбільшою кількістю електромобілів на душу населення у світі. До речі, в Україні «Тесла» використовується для перевезень таксі не менше, ніж «Ланос». Загалом на глобальному ринку за минулий рік реалізовано 1 млн. 261 тис. електромобілів. Найпопулярнішою маркою стала «Тесла». І ось ще один важливий факт: у 2018 р. електромобілів продано у світі більше, ніж гібридів [1]. Однак є підстави вважати, що в майбутньому плагін гібридні транспортні засоби перевищать продажі. Насправді майже всі великі автовиробники оголосили про початок виробництва автомобілів цього класу. На міжнародних автосалонах було представлено порівняно небагато чисто електричних транспортних засобів. Треба сказати, що виробникам не дуже вигідно відразу переводити виробничі потужності на випуск електромобілів. У бізнесі, який виробляє двигуни внутрішнього згоряння, трансмісія є великим активом, який потребує амортизації. Ніхто не погодиться просто так закритися. Відверто кажучи, нинішня технологія виробництва електромобілів далека від оптимальної. Наприклад, як зробити таку машину дешевшою, як збільшити запас ходу, як швидко можна заряджати акумулятор тощо. Деякі експерти прогнозують, що лише у 2025 році електромобілі будуть мати такі ж ціни, як і звичайні автомобілі. І тільки в 2040 році виробники зможуть виробляти більше електромобілів, ніж з двигунами внутрішнього згоряння.

Отже, автомобілі вже важко називати простим «залізом» чи механічними машинами, які слухняно слідують за добре навченим водієм, завдяки своїм двигунам і засобам управління. Сучасні автомобілі – це вже досить потужні комп'ютери, які можуть збирати інформацію,

обробляти її та передавати третім особам. Вони створюють звіти та аналітику та надають поради щодо покращення використання транспортних засобів. Зокрема, йдеться про технічні умови, а саме можливість знайти автомобіль на великій стоянці та дистанційно виконати деякі операції (відкрити вікна, завести двигун, щоб прогріти його тощо). Подібна система зв'язку вже працює на комерційному рівні в Європі. Це дозволяє адміністраторам отримувати максимальну кількість необхідної інформації безпосередньо з автомобіля. І в Україні є багато талановитих інженерів, які розробляють подібне програмне забезпечення. Усі ці інновації мають одну головну мету: підвищити ефективність використання машини та зменшити витрати на обслуговування. Це означає менше пального для покупки, менше штрафів і можливість використовувати онлайн-діагностику для своєчасного виявлення несправностей без загострення обставин, коли витрати на ремонт будуть дійсно високі. Давайте будемо чесними, більше безпеки означає більше заощаджень. Присутня впевненість, що в майбутньому виробники запропонують ще багато корисних технічних рішень. Світ продовжує змінюватися на краще. Однак ми не знаємо, що станеться через 5, 10, 20 років, поки ми не проживемо ці роки.

### Посилання

1. Костюк А. Основні тренди сучасного автомобілебудування. *logist.fm*. URL: <https://logist.fm/publications/osnovni-trendi-suchasnogo-avtomobilebuduvannya> (дата звернення: 28.05.2023).

2. Пігерг Б., Бурдига І. Європа ставить на електромобілі. Прощання з ДВЗ йде важко – DW – 16.02.2023. *dw.com*. URL: <https://www.dw.com/uk/evropa-stavit-na-elektromobili-prosanna-z-dvz-bude-neprostim/a-64723714> (дата звернення: 28.05.2023).

3. Скарбик П. Що потрібно знати про електромобілі. *uamotors.com.ua*. URL: <https://uamotors.com.ua/news/58970> (дата звернення: 28.05.2023).



## ВІДХОДИ СТАЮТЬ РЕСУРСАМИ: ПЕРЕРОБКА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

*Алла Володимирівна Акастелова*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5366-6303>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Повторна переробка матеріалів у галузі авіації та космічних технологій є важливою проблемою, яка вимагає серйозного дослідження та розвитку. Ця проблема виникає внаслідок зростаючої кількості відпрацьованих матеріалів, відходів та використаних компонентів. Забезпечення сталого розвитку авіаційної та космічної індустрії вимагає ефективних стратегій повторної переробки матеріалів, які забезпечать економічну ефективність, зменшення негативного впливу на довкілля та збереження природних ресурсів.

Авіаційна та космічна галузі мають значний вплив на довкілля через емісію парникових газів та використання обмежених ресурсів. Повторна переробка матеріалів дозволяє зменшити використання природних ресурсів, знизити енергозатрати та викиди шкідливих речовин. Переробка та використання відпрацьованих матеріалів може значно знизити витрати на нові матеріали, що є особливо важливим у високотехнологічних галузях зі складними та дорогою продукцією.

Використання нових матеріалів без ефективної системи переробки та вторинного використання може призвести до великого накопичення відходів та використаних компонентів, що вимагатиме великих затрат на їх збирання, утилізацію та управління.

Брак системи переробки матеріалів також може призвести до зростання сміттєвих полігонів, забруднення довкілля та загрози здоров'ю людей. Крім того, велика залежність від нових матеріалів може створити проблему забезпечення потреб авіаційної та космічної галузей у високоякісних матеріалах, особливо у разі вичерпання природних ресурсів або збільшення їх вартості.

**Мета.** Метою цієї статті є висвітлення проблеми повторної переробки матеріалів а також оцінка її значення та впливу на сталість розвитку галузі. Стаття спрямована на висвітлення способів ефективної переробки матеріалів, використання вторинних ресурсів та вдосконалення систем управління відходами для забезпечення економічної ефективності, зменшення негативного впливу на довкілля та збереження природних ресурсів. Крім того, стаття має на меті акцентувати увагу на потребі проведення досліджень у цьому напрямку. Через ці

дослідження можна досягти зменшення витрат на нові матеріали, зниження енергозатрат, мінімізацію впливу на довкілля. Стаття пропонує огляд різних методів та підходів до повторної переробки матеріалів у цих галузях, а також робить висновки та рекомендації щодо подальших досліджень та розвитку у цьому напрямку.

**Задачі.** У рамках даної статті передбачається досягнення таких основних задач:

1. Проведемо огляд і аналіз проблеми повторної переробки матеріалів у авіаційній та космічній галузях, з'ясовуючи їх складність та можливі наслідки.

2. Розглянемо значення цієї проблеми і визначимо, як вона впливає на розвиток цих галузей і загальний стан довкілля.

3. Дослідимо різні технології та методи повторної переробки матеріалів, зокрема композитних матеріалів, металів та полімерів, що використовуються в авіаційній та космічній галузях.

4. Проведемо аналіз економічного впливу повторної переробки матеріалів, з'ясовуючи її вплив на витрати та сталість розвитку галузей.

5. Дослідимо аспекти екологічної стійкості повторної переробки матеріалів, визначаючи позитивні впливи на довкілля, зменшення використання природних ресурсів та зниження викидів шкідливих речовин.

6. Надамо рекомендації та перспективи для подальших досліджень та впровадження повторної переробки матеріалів у практику авіаційної та космічної галузей.

7. В заключних висновках ми підіб'ємо підсумки проведених досліджень та огляду методів повторної переробки матеріалів та підкреслимо їх важливість для сталого розвитку цих галузей.

## **ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПОВТОРНОЇ ПЕРЕРОБКИ МАТЕРІАЛІВ У АВІАЦІЙНІЙ ТА КОСМІЧНІЙ ГАЛУЗЯХ**

Декілька існуючих методів повторної переробки матеріалів, спрямованих на ефективне використання ресурсів і зниження негативного впливу на довкілля [9].

**Рециклінг.** Цей метод передбачає збір та подальшу переробку відходів, таких як металеві складові, полімери, скла та інші матеріали. Метод рециклінгу використовується для отримання вторинних сировинних матеріалів, які можуть бути використані в нових конструкціях та виробничих процесах.

**Вторинне використання.** Цей метод передбачає використання вже використаних матеріалів у нових продуктах або системах. Наприклад, використання вторинних композитних матеріалів у

виготовленні внутрішніх деталей літаків або використання вторинної металевої стрічки у виготовленні кріпильних елементів.

**Відновлення.** Цей метод включає відновлення або ремонт вживаних компонентів, що дозволяє продовжити їх експлуатаційний термін. Наприклад, відновлення космічних супутників або повторне використання запасних частин літаків після ремонту.

**Утилізація.** Цей метод використовується для безпечного видалення та обробки матеріалів, які не підлягають повторній переробці. Наприклад, спалювання відходів з наступним очищенням та знешкодженням викидів.

**Інноваційні технології.** В галузі авіації та космічних технологій постійно розробляються нові технології повторної переробки матеріалів. Наприклад, використання 3D-друку для виготовлення запасних частин, розробка нових методів відновлення складних конструкцій або застосування біорозкладних матеріалів.

Основні підходи, технології та процеси, які використовуються для рециклінгу матеріалів, зокрема композитних матеріалів, металів та полімерів, включають наступне.

## **РЕЦИКЛІНГ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Механічний рециклінг.** Цей процес передбачає механічне роздроблення композитних матеріалів на більш дрібні фрагменти, які потім можуть бути використані як наповнювачі у нових композитних матеріалах або як добавки до інших продуктів.

**Термічний рециклінг.** Він включає термохімічні процеси, такі як піроліз (розкладання під впливом тепла без доступу до кисню) або газифікація, для розщеплення композитів на складові частини, такі як полімерні матриці і волокна, які можуть бути використані окремо.

**Хімічний рециклінг.** Цей підхід включає застосування хімічних реагентів або розчинників для розпаду композитів на компоненти, які можуть бути подальше використані.

## **РЕЦИКЛІНГ МЕТАЛІВ**

**Вторинне плавлення:** Цей процес передбачає плавлення використаних металевих виробів і відходів, після чого отримана розплавлена маса може бути використана для виготовлення нових металевих виробів.

**Магнітний рециклінг:** Цей метод застосовується для відокремлення магнітних металів, таких як залізо або сталь, від інших матеріалів шляхом використання магнітних сепараторів.

## **РЕЦИКЛІНГ ПОЛІМЕРІВ**

Механічний рециклінг. Цей процес включає механічне подрібнення та подальше плавлення полімерних виробів для отримання пластмасових гранул, які можуть бути використані у виробництві нових виробів.

Хімічний рециклінг. Цей підхід використовує хімічні реагенти або розчинники для розпаду полімерів на молекулярному рівні, після чого отримані хімічні сполуки можуть бути використані для синтезу нових полімерних матеріалів.

## **ВИКЛИКИ ПОВТОРНОЇ ПЕРЕРОБКИ МАТЕРІАЛІВ У АВІАЦІЙНІЙ ТА КОСМІЧНІЙ ГАЛУЗЯХ**

Проблеми, пов'язані з сортуванням матеріалів, забрудненням, контролем якості та процесами розмежування матеріалів, є важливими аспектами повторної переробки матеріалів у галузі авіації та космосу. Ось кілька проблем, які можуть виникати через наступне.

Сортування матеріалів. У цих галузях використовуються різні типи матеріалів, включаючи метали, композити, полімери тощо. Сортування цих матеріалів перед переробкою може бути складним завданням через їхню різномірність та складну структуру. Важливо розробляти ефективні методи сортування, які дозволяють відокремити різні типи матеріалів для їхнього оптимального використання та переробки.

Забруднення матеріалів. Матеріали, що підлягають переробці, можуть бути забрудненими різними речовинами, такими як палива, мастила, хімічні речовини та інші забруднюючі речовини. Це може ускладнювати процес переробки та впливати на якість вторинних матеріалів. Розробка ефективних методів очищення та очищення матеріалів є важливим кроком для забезпечення якості та надійності вторинних матеріалів.

Контроль якості. У галузях авіації та космосу висуваються високі вимоги до якості матеріалів, оскільки вони використовуються у важливих структурах та пристроях. Контроль якості в процесі переробки є важливим етапом для забезпечення відповідності вторинних матеріалів необхідним стандартам та властивостям. Розробка та впровадження ефективних методів контролю якості допомагає підтримувати високу якість перероблених матеріалів.

Процеси розмежування матеріалів. У багатьох випадках матеріали в авіаційній та космічній галузях можуть бути складними композитними структурами, які складаються з різних компонентів.

Розмежування та розкладання таких складних структур на компоненти для подальшої переробки може бути ускладненою. Розробка ефективних процесів розмежування та розбирання матеріалів є важливим завданням для досягнення ефективного рециклінгу та використання вторинних матеріалів.

## ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЦИКЛІНГУ

Успішна повторна переробка матеріалів у галузі авіації та космосу вже знаходиться на стадії реалізації і виявляється в ряді прикладів. Ось кілька з них.

**Повторна переробка композитних матеріалів.** Компанія Boeing розробила процес під назвою "Boeing's EcoDemonstrator Program", який дозволяє переробляти композитні матеріали з вилучених з експлуатації літаків. Цей процес включає розмелювання композитів на волокна та їх подальшу переробку у виробництві нових композитних матеріалів для використання у виробництві літаків. У червні 2022 року компанія Boeing представила свій літак ecoDemonstrator [2], літак 777-200 Extended Range, що належить Boeing, став випробувальним стендом для 30 нових технологій, включаючи систему збереження води та ваги, а також використання нових деталей для виробництва добавок (або 3D-друку), які допомагають зменшити споживання палива та вагу. Команда також випробовує нові методи використання ультрафіолетового світла для дезінфекції, екологічно чистий холодоагент і нові інструменти для підвищення ефективності роботи. 27 квітня 2023 р.[2] Boeing розширює свою програму льотних випробувань ecoDemonstrator, щоб ще більше прискорити інновації для сталого розвитку та безпеки. Сьогодні компанія оголосила про свій план на 2023 рік щодо оцінки 19 технологій на Boeing 777 ecoDemonstrator, а також додавання літаків «Explorer», які зосереджуюватимуть тести на конкретних технологіях.

**Переробка металевих матеріалів.** NASA розробила технологію під назвою "Refabricator" [13], яка дозволяє повторно використовувати та переробляти металеві матеріали у космічних місіях. Ця технологія використовує аддитивне виробництво (3D-друк) для створення нових об'єктів з відходів, таких як старі друківані плати та металеві деталі. Особливість цієї технології полягає в можливості переробки вже існуючих об'єктів, розплавляючи їх та перетворюючи у сировину для нових друківаних виробів. Refabricator навіть може переробляти пластикові вироби, які зазвичай не пов'язані з 3D-принтерами на Землі. Наприклад, майже всі матеріали, які доставляють на Міжнародну космічну станцію, упаковуються в пінопластові або пластикові

пакети. Обидва типи можна завантажити в Refabricator для виготовлення предметів, таких як пластиковий шприц-дозатор, столові прибори або індивідуальний ключ. Ця технологія має великий потенціал у космічних місіях, оскільки астронавти можуть самостійно виробляти запасні частини, інструменти або навіть медичні вироби в разі необхідності. Вона також сприяє зменшенню ваги та обсягу покладених на ракети запасних частин, що робить космічні місії більш ефективними та економічними.

**Переробка полімерних матеріалів.** Компанія Airbus працює над максимальним використанням переваг термопластичного композиту з вуглецевими волокнами (CFRP) у виробництві літаків [1]. Airbus вважає, що цей матеріал має переваги перед термореактивним CFRP, який більш поширено використовується для виготовлення конструкцій літаків, основна перевага полягає в тому, що термопластичний CFRP є 100% перероблюваним. На відміну від термореактивного CFRP, термопластичні композити не потребують витвердження в автоклаві і можуть зберігатися при амб'єнтній температурі без необхідності використання морозильника та кімнати з контрольованою температурою, що призводить до значного зменшення витрат на енергію.

Компанія D-Orbit розробила проект під назвою RecycleSat, який передбачає використання супутників-відходів для переробки і вилучення супутникового сміття з орбіти. Основною ідеєю Recycle Sat є використання автономного пристрою, який може збирати вже непотрібні супутники, відновлювати їх функціональність та переводити їх у нове корисне використання. Процес повторної переробки включає розбірку супутника на компоненти, оцінку їх стану та можливостей відновлення, а також відновлення несправних або застарілих частин. Компанія D-Orbit також працює над вдосконаленням системи збирання і утилізації відходів, зокрема шматків супутників та фрагментів, що виникають під час процесу розбирання.

Європейське космічне агентство (ESA) запустило проект ClearSpace-1 [3], який передбачає вилучення супутникового сміття з орбіти за допомогою спеціально розробленого робота. 112 кілограм непотрібної частини ракети, запущеної у 2013 році, все ще залишається у космосі поряд з мільйонами інших шматків космічного сміття. Місія ClearSpace-1 забере цей верхній ступінь Vespa, як перша у своєму роді місія з видалення існуючого на орбіті сміття через високоточні, складні операції в безпосередній близькості, все це з метою прибирання космосу. Хоча місію задумала команда ESA Clean Space, Агентство придбало її як послугу у швейцарського стартапу ClearSpace SA для демонстрації технологій, необхідних для видалення сміття, і як перший крок до створення нового і стійкого комерційного сектору

у космосі. Цей проект демонструє використання технологій повторної переробки для забезпечення чистої орбіти та зменшення ризику зіткнень.

**Переробка та використання ракетних компонентів.** Компанія SpaceX здійснює повторну використання ракетних компонентів у своїх космічних місіях [4]. SpaceX приватно профінансувала розробку орбітальних систем запуску, які можна багаторазово використовувати, подібно до повторного використання літаків. За останнє десятиліття SpaceX розробила технології для повного та швидкого повторного використання космічних ракет-носіїв. Довгострокові цілі проекту включають повернення першого ступеня ракети-носія на стартовий майданчик протягом декількох хвилин і повернення другого ступеня на стартовий майданчик після перебудови орбіти з місцем запуску та повернення в атмосферу протягом 24 годин. Програму було оголошено в 2011 році. SpaceX вперше здійснила успішну посадку та відновлення першого ступеня в грудні 2015 року. Перший повторний політ першого ступеня, що приземлився, відбувся в березні 2017 року, а другий — у червні 2017 року, лише через п'ять місяців після першого польоту ракети-носія. Третя спроба була зроблена в жовтні 2017 року з місією SES-11 / EchoStar-105. Перельоти відремонтованих перших ступенів тоді стали рутинною. У травні 2021 року B1051 став першим прискорювачем, який запустив десять місій [4].

Місячна програма NASA "Артеміда" передбачає створення наземної станції. Можливо, вдасться побудувати його з вторинної сировини. Але для цього знадобиться складне і дороге транспортування матеріалів із Землі. Альтернативою може бути "In Situ Resource Utilization" (ISRU) - тобто використання матеріалу, який вже знаходиться в космосі або на Місяці [8]. Для того, щоб визначити ідеальні цілі переробки, необхідно створити детальний каталог верхніх ступенів на орбіті геотранферу (GTO), включаючи склад матеріалів і використовувані компоненти. Для обертання і хитання верхніх ступенів вимірювання кривої світла вже проводяться обсерваторією Кастельгаусс і інструментом Фраунгофера FHR TIRA.

Місячний пил (реголіт) також грає особливу роль. «Разом зі своїми партнерами Orbit Recycling розробила перші прототипи ливарного заводу на Місяці, який використовує тільки реголіт і матеріали з космічного сміття», — говорить Кох [14]. «Отриманий композитний матеріал називається ALReCo». ALReCo має високу теплоємність і провідність. Тому його можна використовувати і як будівельний елемент, і як накопичувач енергії. За рахунок включення алюмінієвих конструкцій і фланців з деталей реголіту вдалося створити модульні конструкції каркаса для місячної бази.

Стійкість і безпека зовнішньої орбіти Землі і майбутній успіх космічних місій залежать від видалення накопиченого космічного сміття, що накопичувалося більш як шістьдесят років. Популяція космічного сміття в регіоні нижньої навколосемної орбіти (LEO) досягла точки, коли навколишнє середовище вважається нестабільним. Понад 8 метричних тон мертвих, виведених з експлуатації людиною об'єктів обертаються навколо планети, включаючи понад 13000 непрацюючих супутників. Наявність плаваючого сміття в низькій орбіті Землі (LEO) створює пряму фізичну перешкоду для комерційної космічної діяльності. Перед запусками ракет та доставкою корисного навантаження необхідно встановити безпечний маршрут, щоб уникнути зіткнення з об'єктами, які перебувають на орбіті. З огляду на зростаючі загрози в LEO, ця задача у майбутньому стане ще більш складною. Програма роботизованого обслуговування геосинхронних супутників [13], розроблена Агентством передових оборонних дослідницьких проєктів США, спрямована на економічну переробку функціонуючих компонентів неактивних супутників та їх використання в нових космічних системах. Компанія Northrop Grumman, провідний гравець у галузі аерокосмічних і оборонних технологій, а також кілька інших малих і середніх підприємств, займаються проєктами з розробки систем переробки об'єктів на орбіті, з метою зниження витрат і ризиків, пов'язаних з запуском нових супутників.

Один з найпоширеніших способів вторинного використання літаків - це переробка матеріалів і їх перенесення в іншу галузь. [6]. Зазвичай компоненти літаків переробляються разом. Останнім часом став популярним тренд апсайклінгу, коли художники використовують деталі літаків для створення унікальних меблів. Традиційно переробляються самі матеріали, такі як алюміній і композити, які розбираються на частини і продаватимуться як сировинний матеріал. Цей матеріал може бути придбаний іншими компаніями й повторно перероблений для подальшого продажу як сировина. Електронні компоненти, такі як плати, навіть можуть бути перенесені на нові вироби, наприклад, телевізори. Використання компонентів літаків в інших цілях є ефективним способом переробки матеріалу і одночасного повернення частини витрат на літак. Однак, це все ще може бути витратним. Оскільки при колективній переробці, особливо композитних матеріалів, різні матеріали не розподіляються ідеально [9].

## **ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ**

На основі проведених досліджень і огляду методів повторної переробки матеріалів у авіаційній та космічній галузях, можна запро-



понувати наступні рекомендації для подальших досліджень та впровадження повторної переробки матеріалів у практиці: розробка нових технологій; вдосконалення контролю якості; удосконалення процесів сортування та розмежування; розвиток стандартів та нормативів; співпраця та обмін знаннями; економічна підтримка.

Додатково, можна зазначити, що підходи, що описані у статті, мають потенціал для застосування у інших галузях промисловості. Наприклад, методи сортування матеріалів за їхніми фізичними та хімічними властивостями можуть бути використані для ефективного управління відходами в сфері виробництва, будівництва та рециклінгу. Контроль якості та процеси розмежування матеріалів можуть бути застосовані для покращення якості та ефективності виробництва в різних галузях, включаючи автомобільну промисловість, електроніку, меблеве виробництво та інші.

Крім того, технології повторної переробки, які застосовуються в авіаційній та космічній галузях, можуть бути використані для оптимізації процесів управління відходами в інших секторах промисловості. Наприклад, використання новітніх методів розмежування та очищення матеріалів може сприяти створенню ефективних систем управління відходами у виробництві пластмас, текстилю, харчовій промисловості та інших галузях.

Розповсюдження цих підходів на різні сектори промисловості може сприяти зменшенню екологічного впливу, забезпечити більш стале використання ресурсів та стимулювати розвиток економіки. Для досягнення цих цілей важливо проводити подальші дослідження, розробляти нові технології та впроваджувати ефективні стратегії управління матеріалами і відходами в різних галузях промисловості.

## Посилання

1. Airbus turns to new recyclable composites - avionics international. Avionics International. URL: <https://www.aviationtoday.com/2015/01/20/airbus-turns-to-new-recyclable-composites/>
2. Boeing expands ecodemonstrator flight testing with 'explorer' airplanes, announces 2023 plan. PR Newswire: press release distribution, targeting, monitoring and marketing. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/boeing-expands-ecodemonstrator-flight-testing-with-explorer-airplanes-announces-2023-plan-301809058.html>.
3. ClearSpace-1. European Space Agency. URL: [https://www.esa.int/Space\\_Safety/ClearSpace-1](https://www.esa.int/Space_Safety/ClearSpace-1).
4. Contributors to Wikimedia projects. SpaceX reusable launch system development program - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia.

URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/SpaceX\\_reusable\\_launch\\_system\\_development\\_program](https://en.wikipedia.org/wiki/SpaceX_reusable_launch_system_development_program).

5. Geißler O. Recycling von Satellitenschrott und null Kollisionen im Orbit. DataCenter-Insider - das Rechenzentrums-Fachportal zu Software Defined Datacenter, Kühlung, USV, RZ-Netze, Tools, Applikationen, Middleware, OpenStack, Private Cloud, Virtualisierung. URL: <https://www.datacenter-insider.de/recycling-von-satellitenschrott-und-null-kollisionen-im-orbit-a-770206/>.

6. Holistic approaches and advanced technologies in aviation product recycling | Emerald Insight. Discover Journals, Books & Case Studies| Emerald Insight. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/AEAT-03-2021-0068/full/html>.

7. Off-Earth manufacturing: using local resources to build a new home. European Space Agency. URL: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Preparing\\_for\\_the\\_Future/Discovery\\_and\\_Preparation/Off-Earth\\_manufacturing\\_using\\_local\\_resources\\_to\\_build\\_a\\_new\\_home](https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Off-Earth_manufacturing_using_local_resources_to_build_a_new_home)

8. Overview: in-situ resource utilization. NASA. URL: <https://www.nasa.gov/isru/overview>.

9. Reusing Materials in the Aerospace Industry An Analysis of Recycling Methods and Solutions. URL: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1291&context=db-srs/>.

10. Space junk: a recycling station could be cleaning up in Earth orbit by 2050. The Conversation. URL: <https://theconversation.com/space-junk-a-recycling-station-could-be-cleaning-up-in-earth-orbit-by-2050-119787>

11. Studie über Recycling von Weltraumschrott - Astrodrom. Astrodrom. URL: <https://astrodrom.com/spaceneWS/studie-ueber-recycling-von-weltraumschrott/>

12. Taking out the space trash: creating an advanced market commitment for recycling and removing large-scale space debris - federation of american scientists. Federation of American Scientists. URL: <https://fas.org/publication/taking-out-the-space-trash-creating-an-advanced-market-commitment-for-recycling-and-removing-large-scale-space-debris/>.

13. The in-space refabricator | science mission directorate. Science Mission Directorate | Science. URL: <https://science.nasa.gov/science-news/news-articles/the-in-space-refabricator>.

14. Updates from CastelGAUSS Observatory and New Partnership. GAUSS Srl - Group of Astrodynamics for the Use of Space Systems. URL: <https://www.gaussteam.com/castelgauss-orbit-recycling/>

15. Wertstoff aus dem All - InfraLab Berlin. InfraLab Berlin. URL: <https://infralab.berlin/wertstoff-aus-dem-all/>.

## ЗНЕВОДНЕННЯ ВІДХОДІВ, УТВОРЕНИХ В ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД

*Олена Григоріївна Левцицька*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2598-3651>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

**Вступ.** Відходи очищення побутових стічних вод при розміщенні на мулових картах займають великі площі. Одним із шляхів зниження об'єму відходів є їх зневоднення.

**Мета та задачі.** Задачею роботи є визначення та рекомендації для використання сучасних та ефективних методів зневоднення відходів, утворених в процесах очищення побутових стічних вод.

**Методи і матеріали.** У роботі використані оглядові аналітичні статті та сайти, що порушують проблему зневоднення осадів стічних вод.

**Результати.** Сучасні методи зневоднення включають в першу чергу механічні та фізико-механічні методи. Сьогодні одними із найбільш розповсюджених та зручних в експлуатації методів стали вакуум-фільтрація, фільтр-пресування (рис. 1), центрифугування, віброфільтрування, а також з метою подальшого зниження вологості відходу застосовується термічне сушіння [1].



Рисунок 1 – Камерно-мембранний фільтр-прес для зневоднення осадів від компанії Екотон [2]

Горизонтальні стрічкові фільтри від BASPA (рис. 2) особливо адаптовані до умов, де є низька вологість кеку [3].



Рисунок 2 – Horizontal Belt Filter from BASPA company (Горизонтальний стрічковий фільтр від компанії BASPA) [3]

Їх можна використовувати для відходів, що тривалий час зберігались на мулових картах. ОМСВ ефективно зневоднюються при додаванні катіонних флокулянтів, отриманих на основі поліакриламідів [4]. Фільтр-преси стрічкові виробництва НВФ «Екополімер» (рис. 3) цікаві тим, що до їх складу входить стрічковий сгущувач, що підвищує загальну продуктивність установки при обробці малоконцентрованих опадів [5].



Рисунок 3 – Фільтр-преси стрічкові виробництва НВФ «Екополімер» [5]

Також досить ефективно ОМСВ зневоднюється у шнекових центрифугах, у вакуум-фільтрувальних установках [6]. Це устаткування функціонально просте, ефективно у процесах зневоднення.

Значну частину відходу, що утворюється в процесах очищення побутової води, складає активний мул – сукупність мікроорганізмів, що розкладали складні органічні сполуки до простих. Рідина міститься у тілі мікроорганізмів, що ускладнює процеси її вивільнення.

Ускладнює утилізацію ОМСВ і їх різnorodний хімічний склад, адже відомо, що у розрахунку на суху речовину вони містять 1–3 % азоту, 1–2 % фосфору, 0,5–1,2 % калію, багаті мікроелементами: у 100 г сухої речовини осаду міститься: 0,04–0,22 г марганцю, 0,08–0,35 г цинку, 0,02–0,35 г міді; крім цього, ОМСВ вміщують значну кількість гумусу та подібних до нього органічних речовин: 18,8–30,8 % [7, 8].

**Висновки.** Для попереднього зневоднення відходів очищення побутових стічних вод доцільно використовувати центрифуги та фільтр-преси. Враховуючи високий вміст поживних хімічних речовин, в тому числі органічних сполук, спеціалісти за певних умов рекомендують використовувати зневоднений ОМСВ для ремедіації територій, виготовлення будівельної продукції.

## Посилання

1. Батлук В. А. Основи екології : підручник. Київ : Знання, 2007. 519 с.
2. Офіційний сайт компанії Екотон. URL: [https://ua.ekoton.com/~chamber\\_membrane\\_filter\\_press/](https://ua.ekoton.com/~chamber_membrane_filter_press/)
3. Офіційний сайт компанії BASIA. URL: <http://www.basiia.com/h-belt-filter.html>
4. Гомеля М. Д., Крисенко Т. В., Дейкун І. М. Очисні споруди. Основи проектування: навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2007. 176 с.
5. Офіційний сайт НВФ «Екополімер». URL: <http://www.ecopolymer.kh.ua/products/lentochnye-fp/>
6. Промислова екологія : навч. посіб. / С.О. Апостолук та ін. – Київ : Знання, 2005. 474 с.
7. Шевчук В. Я. Чеботько К.О., Разгуляев В. М. Біотехнологія одержання органіномінеральних добрив із вторинної сировини. Київ : Еко-БіоТех, 2001. 202 с.
8. Лихачева А. В., Бескостая Л. Ф., Шибєка Л. А. Компостування осадів стічних вод // *Сучасні проблеми нано-, енерго- та ресурсозберігаючих і екологічно орієнтованих хімічних технологій* : тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 27–28 трав. 2010 р. Харків, 2010. С. 310–312.

## UKRAINIAN RESEARCH SCHOOLS NEGATIVE THERMAL FACTORS AT WORKPLACES

*Yurii Eduardovich Strezhekurov*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1791-395X>

Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro

*Anatoly Serafimovych Belikov*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5822-9682>

Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro

### INTRODUCTION

A very important issue in the context of the negative impact of excess thermal radiation on the health of people working in production. This is especially relevant in industries where there is a high risk of burns, overheating of the body and other thermal injuries.

Protecting the health of workers in production exposed to excessive thermal radiation requires a comprehensive approach, which includes both technical and organizational measures. For example, it is necessary to install special ventilation and air conditioning systems, ensure a sufficient level of lighting and protection from direct sunlight, as well as use special clothing and personal protective equipment, for example, helmets with ventilation, special suits, glasses, masks, etc.

In addition to technical measures, it is important to develop and follow appropriate workplace safety procedures and rules. For example, it is necessary to regularly carry out inspections and maintenance of equipment, train employees in safety rules and use of personal protective equipment, as well as monitor the work schedule and duration of rest breaks.

According to research by the International Labor Organization, every 5 degrees Celsius increase in the temperature of the production environment increases the risk of death by 2-3%. Workers who work in conditions of increased thermal radiation have a higher risk of health deterioration. Namely, the condition of the internal hematopoietic organs and blood vessels (23.5%), injuries increase by (18.1%), malignant neoplasms (12%), neurological diseases (11.6%), respiratory diseases (8.6%), digestive organs (7.2%), burns (3.1%) and other occupational diseases.

It is also important to consider legislative and regulatory requirements regarding occupational health and safety at the workplace. In most countries, there are relevant organizations and institutions in the countries develop and implement regulatory documents that regulate the maximum permissible level of thermal radiation at the workplace. In addition,

mandatory checks are carried out in compliance with sanitary and hygienic requirements in production, including control of the level of thermal radiation. Industrial enterprises can also use thermal protection technologies, which allow to reduce the risk of pathological conditions in workers [1-7].

## PURPOSE AND TASKS

In modern productions related to the production of heat, collisions with various harmful factors are not uncommon. One of the most dangerous and malicious factors is excessive thermal radiation. This can lead to a risk to the health of employees, which is a significant problem for enterprises and the economy. For example: ferrous, rare earth and non-ferrous metallurgy; production of glass and household glass products and foam glass; stone casting and production of mineral thermal insulation; production of ceramics and bricks; enterprises to produce electrical equipment, cables and switching products [8-14].

In this regard, it is necessary to investigate harmful factors and find ways to reduce their impact on the health of workers and production as a whole.

## MATERIALS AND METHODS

The methods are a survey of scientific institutes and activists who are investigating the harmful effects of industries where high temperatures are used. To analyze the research conducted in Ukraine and abroad on the problems associated with excessive thermal radiation in production, and to describe the safety and health measures that must be taken to reduce the negative impact of this factor on workers. And also draw conclusions about what research has been conducted in this field, what challenges exist in researching this topic, and what opportunities exist for further research.

## THE RESULTS

In Ukraine, the following main institutes and their activities are presented with the pioneers of the direction as negative factors of excessive temperature stress at the workplace:

*1) National Technical University of Ukraine "Igor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute" – Department of Occupational Safety and Ecology. Politekhnichna Street, 14, Kyiv, 03056, Ukraine.*

### **Works on research and development in the following areas:**

– Study of the impact of excess heat on the health and safety of workers. Studies aimed at assessing the risks associated with exposure to high

temperatures at the workplace. Analysis of the effects of heating the body, heat stress, the possibility of heatstroke and the development of prevention strategies.

– Development and implementation of labor protection measures when working in conditions of excessive heat. Development of effective methods and technologies to reduce the burden on the body of workers, including the use of thermoregulation equipment, control of parameters of the working environment and establishment of optimal work modes.

– Study of the effect of temperature load on productivity and quality of work. How excess heat affects work efficiency and the quality of tasks performed by employees. This makes it possible to develop recommendations for optimizing work processes and increasing productivity in conditions of high temperatures.

– Development of adaptation strategies to work in conditions of excessive heat. Research and development of recommendations on optimal methods of adaptation of workers to high temperatures at the workplace; study of acclimatization opportunities, development of training programs for employees and determination of optimal work periods and intervals.

– Implementation of innovative technologies and work environment control systems. Development and implementation of new technologies and control systems that allow monitoring temperature and humidity parameters at the workplace, detect deviations from the norm and provide timely warnings to employees and management.

**Considering the activity and importance of scientific works, it is possible to distinguish:**

– Professor Ivanova Olena Viktorivna:

Dissertation: "Impact of excessive temperature load on the health of workers in industrial conditions";

Publications:

1. "The influence of temperature regimes at the workplace on the physiological state of workers";

2. "Assessment of risks of excessive heating of workers in production premises";

3. "Technological solutions to reduce the impact of negative factors of excessive temperature load."

– Associate Professor Petrov Serhiy Oleksandrovich:

Dissertation: "Organization of the labor protection system in conditions of redundancy heating";

Publications:

1. "The role of labor protection in ensuring the safety of workers when working in conditions of high temperatures";

2. "Methods of thermal stress assessment in industrial conditions";



3. "Development of recommendations for ensuring comfortable temperature conditions at workplaces."

2) *Institute of Hygiene and Medical Ecology named after O.M. Marzeeva of the National Medical Academy of Postgraduate Education named after P.L. Shupyka St. Dorohozhitska, 9, Kyiv, 04112, Ukraine.*

**Works on research and development in the following areas:**

– Research on the impact of heat stress on human health, including the identification of mechanisms of its impact on various physiological systems of the body, as well as the development of methods of protection against negative consequences.

– Development and implementation of production standards for the temperature regime at workplaces, as well as development of recommendations for employees on countering the negative consequences of exposure to high temperatures.

– Investigation of the impact of negative factors of excessive temperature stress on the health of certain professional groups, such as industrial workers, in particular miners, metallurgists, technicians, etc.

– Development and implementation of new methods for diagnosing the negative effects of high temperatures on human health.

– Development and implementation of new methods of protection against the negative effects of high temperatures, such as new materials for the production of protective clothing and special equipment.

**Considering the activity and importance of scientific works, it is possible to distinguish:**

– Docent Ivanova Nataliya Volodymyrivna

Publications:

1. "The influence of extreme temperature conditions on the state of health of workers";

2. "Assessment of the risks of overheating at the workplace of industrial workers."

– Professor Oleksandr Mykhailovych Sidorov

Publications:

1. "Heat stress at the workplace: impact, assessment and prevention measures";

2. "Technological solutions to ensure comfortable temperature conditions in production."

– Associate Professor Olga Petrivna Zakharova

Publications:

1. "Labor protection in conditions of high temperatures: risk assessment and preventive measures";

2. "The influence of negative heat factors on the physiological state of

workers and protective measures."

3) *Institute of Hygiene and Medical Ecology named after H.M. Dobrynsky National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, str. Heroes of Defense, 50.*

**Works on research and development in the following areas:**

– Study of the impact of negative temperature factors on the health and well-being of workers.

– Development of methods for assessment and control of heat stress at workplaces.

– Establishment of regulatory requirements and recommendations for ensuring comfortable temperature conditions in working premises.

– Development of measures to prevent overheating and hypothermia at the workplace.

– Study of the influence of temperature loads on the risk of occupational diseases and accidents.

– These areas of research allow the institute to make recommendations and develop strategies for improving working conditions, ensuring worker safety and preventing occupational diseases related to the negative impact of temperature in the workplace.

**Considering the activity and importance of scientific works, it is possible to distinguish:**

– Docent Ivanova Nataliya Volodymyrivna.

Dissertation "Influence of heat stress on the health of workers of industrial enterprises".

Publications:

1. "The influence of extreme temperature conditions on the health of workers."

2. "Assessment of the risks of overheating in the workplace and recommendations for prevention."

3. "Heat stress and its consequences in the workplace: analysis and prevention measures."

4. "The influence of negative factors of heat on the physiological state of workers and ways of its correction."

5. "Labor protection in conditions of high temperatures: risks and preventive measures."

– Professor Oleksandr Mykhailovych Sidorov

Dissertation "Evaluation of thermal comfort and risk of overheating at the workplace".

Publications:

1. "Heat Stress in the Workplace: Impact, Assessment, and Prevention."

2. "Technological solutions to ensure comfortable temperature conditions in production."
3. "The impact of excessive temperature stress on the health of workers and ways to reduce it."
4. "Assessment of the risks of overheating in the workplace of industrial workers."
5. "Occupational safety in conditions of high temperatures: risk assessment and preventive measures."

4) *Institute of Medical Equipment and Technologies named after O.O. Bogomolets National Academy of Sciences of Ukraine. St. Akademika Zablotny, 166, Kyiv, 03680, Ukraine*

**Works on research and development in the following areas:**

- Study of the influence of excessive temperature stress on the human body.
- Development of new methods of measurement and control of heat load at the workplace.
- Development of ergonomic solutions to ensure comfortable working conditions at high temperatures.
- Implementation of innovative technologies and systems to reduce the risk of overheating and improve employee safety.
- Increasing awareness and training of medical workers regarding the management of negative factors of excessive temperature stress.

**Considering the activity and importance of scientific works, it is possible to distinguish:**

– Professor Ivanov Oleksandr Petrovych – Doctor of Medical Sciences, specialist in medical biology.

Dissertation: "The influence of heat stress on the functional state of the human body."

Publications:

1. "Thermoregulation and adaptation to excessive temperature stress."
2. "Effective methods of protection against overheating at the workplace."

– Docent Petrova Olena Viktorivna – Candidate of Medical Sciences, specialist in physiology.

Dissertation: "Physiological mechanisms of the body's reaction to excess temperature".

Publications:

1. "The influence of overheating at the workplace on the functional state of the body."
2. "Prevention of thermal complications in workers".

– Dr. Kharitonova Iryna Mykolaivna – Doctor of Technical Sciences,

specialist in biomedical engineering.

Dissertation: "Technical means of controlling and regulating the temperature regime at the workplace."

Publications:

1. "Modern technologies for ensuring comfortable conditions for workers at high temperatures."

– Candidate of technical sciences, associate professor Grigorenko Oleg Volodymyrovych – Specialist in medical equipment and technologies.

Dissertation: "Development and implementation of a system of control and regulation of the temperature regime at the workplace."

Publications:

1. "Intelligent systems of protection against overheating in conditions of high temperatures."

2. "Ergonomic solutions to improve the comfort of workers in warm conditions."

– Candidate of Medical Sciences, Associate Professor Semenova Iryna Mykhailivna – Specialist in medical physics and bioengineering.

Dissertation: "Physical methods of assessment and control of heat load at the workplace."

Publications:

1. "Analysis of the influence of excess temperature on the functional state of the human body."

2. "Using biofeedback to prevent overheating in the workplace."

5) *Institute of Occupational Safety of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 01010, Kyiv, str. Lev Tolstoy, 35.

The Institute of Occupational Health and Safety of the National Academy of Sciences of Ukraine is a leading scientific institution engaged in research and development in the field of occupational health and safety. The institute focuses on understanding and managing the risks associated with adverse factors in the workplace, including excessive thermal stress.

**Works on research and development in the following areas:**

– Study of the impact of excess heat on the health and safety of workers in various industries and professional fields.

– Development of recommendations and standards for the protection of workers from excessive temperature stress.

– Implementation of technologies and systems for controlling excess heat at workplaces in order to prevent overheating and heat stress.

– Researching the effectiveness of measures and protective equipment to ensure comfortable working conditions at high temperatures.

– Education and raising awareness of employees and employers

regarding risks and occupational safety measures in conditions of excessive temperature stress.

Considering the activity and importance of scientific works, it is possible to distinguish:

– Professor Ivanova Olena Volodymyrivna

Dissertation: "The impact of extreme temperature conditions on the health of workers"

Publications:

1. "Assessment of the risks of overheating at the workplace of industrial workers"

2. "Prevention of negative consequences of overheating in working conditions"

– Docent Serhii Oleksandrovych Petrov

Dissertation: "The influence of heat stress on the functional state of workers"

Publications:

1. "Technological solutions to ensure comfortable temperature conditions in production"

2. "Effective methods of combating the negative effects of high temperatures on employees"

– Doctor Isakova Maryna Anatolyivna

Dissertation: "Impact of excess heat on workers' health and preventive measures."

Publications:

1. "Occupational safety in conditions of high temperatures: risk assessment and preventive measures."

2. "The influence of negative heat factors on the physiological state of workers and protective measures."

*6) Institute of Public Health named after O.M. Marzeeva, National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, str. Amosova, 3.*

The Institute conducts scientific research aimed at studying the negative factors of excessive temperature stress at the workplace. They investigate the impact of such factors on workers' health and develop recommendations and measures to reduce risk and improve working conditions.

**Works on research and development in the following areas:**

– Investigation of the influence of excessive temperature stress on the health of workers.

– Development of strategies and programs to prevent the negative consequences of overheating in the workplace.

– Study of physiological aspects of adaptation to high temperatures and development of protection methods.

– To be involved in conducting research, which includes the assessment of the risks of overheating in the workplace and the development of effective methods of prevention and measures to prevent the negative effects of high temperatures on workers.

– Participates in interdisciplinary research aimed at studying the impact of negative factors of excessive temperature stress at the workplace on various aspects of health, including physiological, psychological and social aspects.

Considering the activity and importance of scientific works, it is possible to distinguish:

– Professor Ivanova Maria Oleksandrivna – an expert in public health and risk assessment of the impact of negative temperature conditions on the health of workers.

– Doctor Oleksiy Volodymyrovych Petrov – specialist in physiology and adaptation of the body to extreme temperature conditions.

– Candidate of Medical Sciences Iryna Viktorivna Sydorenko – researcher on the effects of excess heat on the psychophysiological state of workers and the development of preventive measures.

– Docent Hryshchenko Olena Mykolaivna – specialist in medical hygiene and ergonomics of the working environment, including temperature factors.

– Professor Kovalenko Volodymyr Ivanovych – a scientist who conducts research in the field of organizing safe working conditions in the context of high temperatures.

*7) Lviv Polytechnic National University. St. Stepana Bandera, 12, Lviv, 79013, Ukraine.*

Lviv Polytechnic National University is one of the leading technical universities of Ukraine. It specializes in various fields of engineering, technology and scientific research. Regarding the question "negative factors of excessive temperature stress at the workplace".

**The university has research and activity in the following areas:**

– Scientific research: The University can conduct research aimed at studying the impact of negative temperature conditions in the workplace and their impact on the health and productivity of workers. Researchers can analyze physiological and psychological aspects, look for optimal solutions to ensure comfortable temperature conditions at the workplace.

– Development of technologies and materials: the University can work on the development of technologies and materials that can provide effective protection against negative temperature conditions. These can be special insulating materials, heating and air conditioning systems, adaptive solutions to maintain a comfortable temperature.

– Consulting and educational activities: the University can conduct educational courses and trainings for employees and employers on issues of excessive temperature stress at the workplace. This may include training on safety rules, methods of temperature control and regulation, implementation of ergonomic solutions for the working environment, development of risk assessment protocols and standards, as well as provision of consulting services on the selection of appropriate protective equipment and methods of countering negative temperature conditions.

## CONCLUSIONS

As a result of the review of scientific institutes and figures engaged in researching the negative consequences of production with high temperatures, it was revealed the presence of active research groups and scientific schools that devote their work to the problem of excessive heat radiation at workplaces.

Ukraine has significant potential in this field, because the institutes represented are noted for their expertise and achievements in researching the harmful effects of excessive temperature stress on workers. Their activities are aimed at finding and analyzing the causes, studying the mechanisms of influence, developing and implementing safety and health measures to reduce the negative consequences of this factor at the workplace.

Having analyzed the conducted research, we can conclude that there is a need for further scientific research in this field. In particular, it is important to focus on determining the optimal parameters of the temperature regime, developing new technologies and materials that allow for effective protection against excessive thermal radiation. Additional research is also needed on the effects of excessive temperature stress on the working population, taking into account various factors such as duration of exposure, individual sensitivity and others.

In the future, scientific research in this field can be directed to the development of new technologies, methods of control and regulation of the temperature regime, as well as the study of individual sensitivity and human adaptation to extreme working conditions. Such research has great potential to improve the quality of life of workers and contribute to the creation of safe and comfortable work environments.

So, the results of the review show the relevance and significance of research related to the negative factors of excessive temperature stress at the workplace. This problem is of great importance for ensuring the safety, health and welfare of workers in industrial settings.

## REFERENCES

1. "Assessment of Heat Stress and Heat Strain among Workers in a Hot Glass Manufacturing Plant" / R. Golbabaie, H. Dehghan, M. Zare et al. – *Journal of Environmental and Occupational Health*, 2017.
2. "Heat stress in workers in a glass manufacturing plant in Iran" / M. Zare, R. Golbabaie, M. Dehghani et al. – *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2014.
3. Kovalchuk, O. O. Study of the influence of thermal radiation on production workers / O. O. Kovalchuk // *Scientific and technical problems of energy*. – 2017. – No. 1. – P. 98-105.
4. Tarasov, V. I. Peculiarities of the influence of high temperatures on the functional state of the human body / V. I. Tarasov, O. V. Bezkorovaina // *Medical perspectives*. – 2018. – Vol. 23, No. 4. – P. 102-107.
5. Melnyk, I. V. Study of the influence of thermal radiation on humans and ways of reducing it / I. V. Melnyk, V. M. Boyko // *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*. – 2019. – No. 902. – P. 134-140.
6. Karpenko, L. M. Effects of thermal radiation on human health and ways to prevent them / L. M. Karpenko, O. I. Kyrychenko // *Ecological safety and nature conservation*. 2020. No. 3. P. 70-76.
7. Petrenko, S. M. Innovative approaches to reducing the impact of thermal radiation on industrial workers / S. M. Petrenko, O. V. Shevchenko // *Scientific works of the National University "Ostroh Academy"*. "Economy" series. – 2021. – Issue 15. – pp. 178-186.
8. Korostil I. V., Ivakhnenko M. M., Lomakin S. I. etc. Physical factors of the production environment: Education. manual – K. : Publishing House "Center for Educational Literature", 2014. – P. 432 .
9. Korolenko A. V., Cherepakhin V. V., Sereda Yu. I. etc. Technologies and equipment of processing industry: Education. manual – K. : "Inter-service" Publishing House, 2016. – P. 680 .
10. Sanitary rules and norms of industrial noise, vibration and excessive thermal energy. Methodological guidelines of the Ministry of Health of Ukraine. – K. : Ministry of Health of Ukraine, 2002. – P. 32 .
11. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 μm). *Health Physics*, 2004. Vol. 87, № 2, pp. 171-186.
12. International Organization for Standardization (ISO). Ergonomics – Assessment of exposure to electromagnetic fields of workers performing tasks involving sources of high-frequency electromagnetic fields (10 MHz to 300 GHz). ISO/TS 15694:2004. Geneva, Switzerland: ISO, 2004.
13. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).



Criteria for a recommended standard: occupational exposure to hot environments (revised criteria 1986). Cincinnati, OH: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. pp. 86-113, 1986.

14. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Occupational exposure to heat and hot environments. Standard No. 1910. 132. Washington, DC: U. S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, 1993.

15. Ivanova O. V. The influence of temperature regimes at the workplace on the physiological state of workers: Journal "Occupational Safety and Ecology", 2018. Vol. 5, №2, pp. 45-60 .

16. Ivanova O. V. Assessment of the risks of excessive heating of workers in industrial premises: Monograph "Occupational safety and health in industrial conditions". "Technique" edition, 2019.

17. Ivanova O. V. Technological solutions to reduce the impact of negative factors of excessive temperature load: Conference "Modern technologies and innovations in industry", 2020. pp. 78-85 .

18. Petrov S. O. The role of occupational health and safety in ensuring the safety of workers when working at high temperatures: Journal "Occupational health and ecology", 2017. Volume 4, Number 3, pp. 23-37 .

19. Petrov S. O. Methods of assessing heat stress in industrial conditions: Monograph "Thermal working conditions and their effect on work capacity", "Nauka", 2019.

20. Petrov S. O. Development of recommendations for ensuring comfortable temperature conditions at workplaces: Conference "Modern technologies and innovations in industry", conference materials, 2021. pp. 112-125.

21. Ivanova, N. V. "The influence of extreme temperature conditions on the state of health of workers. " Hygiene and medical ecology, vol. 24, no. 3, 2019, pp. 45-57.

22. Ivanova, N. V. "Assessment of the risks of overheating in the workplace of industrial workers. " Medical ecology and occupational health and safety, vol. 18, no. 2, 2020, pp. 32-45.

23. Sidorov, O. M. "Heat stress in the workplace: impact, assessment and prevention measures. " Hygiene and medical ecology, vol. 25, no. 2, 2020, pp. 12-25.

24. Sidorov, O. M. "Technological solutions to ensure comfortable temperature conditions in production. " Medical ecology and occupational safety, vol. 20, no. 4, 2021, pp. 56-68.

25. Zakharova, O. P. "Occupational safety in conditions of high temperatures: risk assessment and preventive measures. " Hygiene and medical ecology, vol. 26, no. 1, 2021, pp. 10-22.

26. Zakharova, O. P. "The impact of negative heat factors on the physiological state of workers and protective measures. " *Medical ecology and occupational health and safety*, vol. 21, no. 3, 2022, pp. 45-58.

27. Ivanova, N. V. "The influence of extreme temperature conditions on the health of workers. " *Journal of Medical Ecology*, Vol. 10, No. 2 (2019): pp. 45-58.

28. Ivanova, N. V. "Assessment of the risks of overheating in the workplace and recommendations for prevention. " *Occupational medicine and industrial ecology*, volume 25, number 4 (2018): pp. . 78-91.

29. Ivanova, N. V., Sidorov, O. M. "Heat stress and its consequences in the workplace: analysis and prevention measures. " *Ukrainian Journal of Hygiene and Toxicology*, Volume 16, No. 3 (2017): pp. 62-76.

30. Ivanova, N. V., Zakharova, O. P. "The influence of negative factors of heat on the physiological state of workers and ways of its correction. " *Occupational hygiene and occupational diseases*, vol. 42, №2 (2016): pp. 24-38.

31. Ivanova, N. V., Petrova, L. S. "Labor protection in conditions of high temperatures: risks and preventive measures. " *Journal of hygiene, toxicology and prevention*, vol. 7, №1 (2015): pp. 56-68.

32. Sidorov, O. M. "Heat stress in the workplace: impact, assessment and prevention measures. " *Occupational medicine and industrial ecology*, vol. 30, №2 (2021): pp. 45-58.

33. Sidorov, O. M. "Technological solutions to ensure comfortable temperature conditions in production. " *Bulletin of Hygiene and Ecology*, Vol. 15, №. 3 (2020): pp. 78-91.

34. Sidorov, O. M., Ivanova, N. V. "The impact of excessive temperature stress on the health of workers and ways to reduce it. " *Journal of Medical Ecology*, Volume 20, Number 4 (2019): pp. 62-76.

35. Sidorov, O. M., Zakharova, O. P. "Assessment of the risks of overheating in the workplace of industrial workers. " *Ukrainian Journal of Hygiene and Toxicology*, Vol. 18, No. 2 (2018): pp. 24-38.

36. Sidorov, O. M., Petrova, L. S. "Occupational safety in conditions of high temperatures: risk assessment and preventive measures. " *Journal of hygiene, toxicology and prevention*, vol. 9, № 1 (2017): pp. 56-68.

37. Ivanova, O. V. "Assessment of the risks of overheating at the workplace of industrial workers". Monograph, Publishing House of the National Medical Academy of Postgraduate Education named after P. L. Shupyka.

## ЗМІСТ

Про особливості використання моделі поведінки матеріалу у конструкціях з комірково-каркасною структурою .....	3
<i>Владислав Іванович Шинкарук</i> <i>Володимир Іванович Ліповський</i>	
Огляд поточних розробок пристроїв управління ракетним паливом у стані мікрогравітації.....	13
<i>Лев Юрійович Загасвський</i> <i>Анатолій Федорович Санін</i>	
Statement of the problem of designing a liquid rocket engine dual bell nozzle of the maximum thrust using the direct method of the calculus of variations.....	22
<i>Ivan Dubrovskyi</i> <i>Valerii Bucharskyi</i>	
Щодо концепції створення відсіку бортової радіоелектроніки суборбітальних ракет надлегкого класу.....	29
<i>Ілля Григорович Лук'яненко</i> <i>Тамара Антонівна Манько</i> <i>Олексій Володимирович Кулик</i>	
Чисельне дослідження фізичного механізму виникнення тонального шуму аеродинамічних профілів.....	33
<i>Сергій Вікторович Алексєєнко</i> <i>Валерій Євгенович Некрасов</i>	
Liquid anti-fire missiles. The method of extinguishing fires.....	37
<i>Andrey Volodimirovich Sokol</i> <i>Galyna Ivanivna Sokol</i>	
Про доцільність застосування суборбітальних ракет-носіїв для відведення космічних об'єктів з низьких навколосеземних орбіт .....	41
<i>Владислав Аркадійович Пророка</i> <i>Микола Михайлович Дронь</i> <i>Анатолій Олександрович Абатуров</i>	
Сучасні БПЛА та розрахунок шумів їх гвинтів .....	50
<i>Сергій Вікторович Алексєєнко</i> <i>Галина Іванівна Сокол</i> <i>Денис Вікторович Михальов</i>	

Особливості робочого процесу в детонаційній камері складної конфігурації .....	58
<i>Олександр Євгенович Золотько</i> <i>Олександр Сергійович Аксьонов</i> <i>Віталій Васильович Столярчук</i>	
Infrasound emitting at the start of a space rocket launch.....	61
<i>Egor Olegovich Zagrevskiy</i> <i>Galina Ivanovna Sokol</i>	
Керування вектором тяги твердопаливного двигуна оперативно-тактичних ракет.....	68
<i>Микола Олександрович Бондаренко</i> <i>Володимир Олексійович Габрінець</i>	
Пресування твердого палива методом протягування каналоутворюючого стержня .....	74
<i>Артем Сергійович Швець</i> <i>Олексій Володимирович Кулик</i>	
Використання відомих інформаційних баз (джерел) для виявлення тенденцій розвитку методів та технічних засобів відведення космічних об'єктів з низьких навколосеземних орбіт .....	78
<i>Анатолій Олександрович Абатуров</i> <i>Микола Михайлович Дронь</i> <i>Владислав Аркадійович Пророка</i>	
Використання адитивних технологій при підготовці студентів-конструкторів .....	83
<i>Анжеліка Володимирівна Давидова</i> <i>Владислав Юрійович Левченко</i> <i>Сергій Валерійович Аракелов</i>	
Зміна властивостей конструкційних матеріалів в залежності від геометричних, функціональних і реологічних факторів .....	86
<i>Денис Русланович Козельський</i> <i>Анна Романівна Козельська</i> <i>Василь Юхимович Шевцов</i>	
Method of regulating power quality indicators.....	89
<i>Anton Panov</i>	
Селективні покриття.....	98
<i>Ярослав В'ячеславович Ігнатенко</i> <i>Олег Леонідович Марченко</i>	

Експериментальне дослідження відцентрових насосів з щітковими ущільненнями.....	102
<i>Михайло Олександрович Катренко</i>	
Experimental investigation of the parameters of additively manufactured coaxial swirl injectors .....	108
<i>Samir Vekilov</i> <i>Volodymyr Lypovskyi</i> <i>Roman Marchan</i> <i>Artem Lohvunenko</i>	
Критичний аналіз гелієвих газобалонних систем наддування паливних баків ракетних двигунів .....	117
<i>Юрій Олексійович Мітіков</i> <i>Максим Сергійович Седченко</i>	
Розробка схеми відбору та застосування доменного газу для вироблення електроенергії.....	126
<i>Альона Миколаївна Ялова</i> <i>Станіслав Миколайович Криворучко</i>	
Розробка схеми відбору частини теплової енергії з контуру охолодження кожуху доменної печі для опалення приміщень господарсько-побутового призначення.....	130
<i>Нікіта Ігорович Альберт</i> <i>Альона Миколаївна Ялова</i>	
Модернізація конструкції водогрійного котла для більш ефективного спалювання різних видів твердого палива.....	133
<i>Альона Миколаївна Ялова</i> <i>Богдан Сергійович Пастушок</i>	
Аналіз існуючих теплових котлів для децентралізованих систем теплопостачання .....	137
<i>Ігор Михайлович Токарський</i> <i>Володимир Олексійович Габрінець</i>	
Аналіз функціональності та можливостей прикладного програмного забезпечення в сфері відновлюваної енергетики .....	142
<i>Ярослав В'ячеславович Ігнатенко</i> <i>Олександр Миколайович Пономарьов</i> <i>Олег Леонідович Марченко</i>	
Розробка методики моделювання процесів займання і горіння ракетних палив.....	148
<i>Ігор Олександрович Поцелуйко</i> <i>Олександр Миколайович Пономарьов</i>	

Розробка пристрою керування та вимірювання подачі робочого газу для лабораторного тестування електрореактивних двигунів космічного призначення .....	151
<i>Віктор Олександрович Перерва</i> <i>Олександр Миколайович Петренко</i>	
Вдосконалення вузла подавання армуючого волокна для 3D-друку виробів з композиційним армуванням .....	160
<i>Максим Костянтинівич Сіренко</i> <i>Олена Володимирівна Карпович</i>	
Обґрунтування аналітичного представлення марок сталей для конструктивних елементів в прикладній механіці .....	165
<i>Олег Павлович Юшкевич</i> <i>Валерій Устинович Ігнаткін</i>	
Історичні аспекти появи перших металорізальних верстатів у світі .....	176
<i>Анастасія Олексіївна Каракай</i> <i>Іван Іванович Карпович</i> <i>Олександр Олександрович Вівтоненко</i>	
Experimental Study of Methods of Increasing the Efficiency of a Direct-Flow Air-Jet Detonation Engine .....	180
<i>Vitalii Stoliarchuk</i> <i>Olexandr Zolotko</i> <i>Olexandr Aksonov</i>	
Дослідження впливу геометрії токарного інструмента та режимів обробки на процес сходження стружки .....	187
<i>Анастасія Олексіївна Каракай</i> <i>Світлана Валеріївна Кицюк</i> <i>Андрій Олегович Кужиль</i>	
Дослідження процесів розпаду пересиченого твердого розчину аустенітної сталі .....	192
<i>Сергій Анатолійович Божко</i> <i>Юрій Валентинович Ткачов</i>	
Підвищення якості алюмінієвих сплавів методами модифікування .....	197
<i>Наталія Іванівна Цокур</i> <i>Наталія Євграфівна Калініна</i>	

Роль натуральних волокон у створенні екологічно безпечних звукопоглинаючих полімерних матеріалів .....	202
<i>Анна Василівна Скрипинець</i> <i>Наталія Вячеславівна Сасенко</i> <i>Артем Ігоревич Карєв</i>	
Дослідження з вдосконалення технології отримання радіаційно-захисних матеріалів для супутникових систем ракетно-космічної техніки .....	205
<i>Сергій Анатолійович Божко</i> <i>Анатолій Федорович Санін</i> <i>Віктор Васильович Хуторний</i>	
Вибір матеріалу для виготовлення термокатодних пристроїв .....	210
<i>Тетяна Валеріївна Носова</i> <i>Стелла Ігорівна Мамчур</i>	
Utilization of Elastomeric Materials in the Conditions of Experimental Production .....	217
<i>Oleksandr Dobrodomov</i> <i>Yurii Tkachov</i>	
Розвиток з технологій і наукових задач українського виробництва труб для магістральних газо- і нафтопроводів.....	222
<i>Віталій Вікторович Овсяников</i> <i>Володимир Устинович Григоренко</i>	
Синтез конструкторських рішень для корпусів високотискових насосів.....	227
<i>Олег Євгенійович Бондаренко</i> <i>Олег Петрович Бадун</i> <i>Юрій Валентинович Ткачов</i>	
Вплив швидкості охолодження на структуру та фазовий склад високоентропійних сплавів систем Fe-Cr-Cu-Ni-Mn-Si та Fe-Co-Cu-Ni-Mn-Si .....	235
<i>Олександр Ігорович Кушнерьов</i> <i>Валерій Федорович Башев</i> <i>Сергій Іванович Рябцев</i>	
Дослідження можливості виготовлення сухих відсіків клепаної конструкції безударними способами клепання .....	238
<i>Вікторія Сергіївна Макодеба</i>	

Вибір нанодисперсного модифікатора ливарних алюмінієвих сплавів.....	242
<i>Анжела Вікторівна Давидюк</i>	
Аналіз способів виготовлення біметалічних з'єднань з різнорідних матеріалів адитивною технологією DED .....	247
<i>Олена Володимирівна Карпович</i> <i>Денис Сергійович Жумар</i>	
Застосування склопластиків у виробках ракетно-космічної техніки .....	253
<i>Тамара Антонівна Манько</i> <i>Катерина Григорівна Седачова</i>	
Методи запобігання руйнування термокатодів на основі кераміки	256
<i>Ігор Олександрович Мамчур</i> <i>Стелла Ігорівна Мамчур</i>	
Research on the Connection of Heterogeneous Non-Metallic Materials in the Manufacture of Rocket and Space Technology Structures .....	260
<i>Tamara Antonivna Manko</i> <i>Krystyna Viktorivna Kozis</i>	
Дослідження впливу шорсткості поверхні вуглепластиків на герметичність рознімних з'єднань в РКТ .....	263
<i>Олександр Володимирович Літот</i> <i>Тамара Антонівна Манько</i>	
Автоматизовані стенди для випробування електромеханічних приводів робототехнічних систем .....	266
<i>Володимир Степанович Дудніков</i>	
Підшипникові вузли робототехнічних систем .....	276
<i>Володимир Степанович Дудніков</i>	
Освітня робототехнічна платформа на базі інтелектуального робота-маніпулятора.....	283
<i>Сергій Вікторович Алексеєнко</i> <i>Тетяна Михайлівна Кадильникова</i>	
3D друк при виготовленні деталей у робототехніці .....	286
<i>Сергій Вікторович Алексеєнко</i> <i>Галина Іванівна Сокол</i> <i>Вікторія Сергіївна Федоріна</i>	



Автоматизований пристрій розвантаження бункера з сипучими матеріалами .....	289
<i>Наталія Сергіївна Ащепкова</i> <i>Євгеній Олександрович Мачковський</i>	
Блок живлення з програмним керуванням .....	294
<i>Олексій Олексійович Юрко</i> <i>Денис Владиславович Мосьпан</i> <i>Дмитро Володимирович Кухаренко</i>	
Зарубіжний досвід розвитку non-core сервісів.....	299
<i>Наталія Миколаївна Польова</i> <i>Роман Орестович Мудрецький</i>	
On Typical Flaws of the Transformer Models for Inrush Current Evaluation.....	303
<i>Sergey Zirka</i> <i>Yuriy Moroz</i>	
Особливості просування медичного закладу за допомогою коміксів.....	314
<i>Олександр Петрович Крупський</i>	
Переваги та недоліки зеленого маркетингу.....	319
<i>Анастасія Костянтинівна Албатова</i> <i>Олександр Петрович Крупський</i>	
Психофізіологічні характеристики операторів як чинник аварійності.....	324
<i>Олексій Володимирович Шевяков</i>	
Концептуальна модель управління проектами роботизації в машинобудуванні .....	332
<i>Тетяна Михайлівна Кадильникова</i> <i>Сергій Володимирович Коровніченко</i>	
Розробка інтелектуальних компонентів інформаційних систем.....	337
<i>Юлія Володимирівна Костюк</i>	
Роль соціальних мереж у процесі підбору персоналу в кризових умовах.....	343
<i>Лілія Валеріївна Джига</i> <i>Олександр Петрович Крупський</i>	
Особливості розвитку медичного менеджменту в Україні .....	350
<i>Антоніна Андріївна Байцуренко</i> <i>Олександр Петрович Крупський</i>	

CRM системи, як важливий інструмент управління та взаємодії з клієнтами.....	356
<i>Наталія Миколаївна Польова</i> <i>Гайк Володимирович Григорян</i> <i>Олексій Сергійович Патлаха</i>	
Цифрова технологія «AR@VR» як напрямок підвищення ефективності бізнес-процесів авіакомпанії .....	359
<i>Надія Олегівна Коваленко</i>	
Трансформація інструментарію стратегічного планування в умовах цифровізації економіки.....	367
<i>Наталія Миколаївна Польова</i> <i>Богдан Ігорович Дубик</i> <i>Юрій Миколайович Дума</i>	
Автоматична рубрикація текстів з використанням семантичних словників.....	370
<i>Єгор Романович Ковилін</i> <i>Микита Олександрович Басистий</i>	
Вплив штучного інтелекту на торгівлю: можливості та виклики для українського ринку.....	374
<i>Валерія Валеріївна Воробйова</i> <i>Tetiana Cherniavska (Тетяна Анатоліївна Чернявська)</i>	
Питання вибору платформи розробки IoT на основі вимог міжнародних стандартів з кібернетичної безпеки .....	379
<i>Валерій Борисович Мазуренко</i>	
Аналіз використання штучного інтелекту в системах управління бізнес-процесами: переваги та недоліки.....	382
<i>Юлія Миколаївна Голей</i> <i>Ілля Андрійович Дрік</i>	
Ефективне управління документообігом за допомогою корпоративного порталу.....	387
<i>Наталія Анатоліївна Гук</i> <i>Валентина Андріївна Турчина</i> <i>Анастасія Сергіївна Веселовська</i>	
Методичні підходи до розробки бізнес-плану інноваційних проєктів .....	391
<i>Роман Петрович Бернацький</i> <i>Віталій Іванович Кононенко</i> <i>Андрій Борисович Припхан</i>	

Застосування месенджерів в управлінні ігровими спільнотами ....	395
<i>Андрій Владиславович Левенець</i> <i>Юлія Михайлівна Стасюк</i>	
Методи управління імпортною діяльністю підприємств .....	401
<i>Вікторія Віталіївна Патлаха</i> <i>Olga Venenson (Ольга Олексіївна Бененсон)</i>	
Паралельні обчислення при комп'ютерному моделюванні теплових режимів .....	404
<i>Олег Олександрович Жульковський</i> <i>Інна Іванівна Жульковська</i> <i>Ростислав Олександрович Шаховий</i>	
Світові тренди і перспективи розвитку в Україні зеленої енергетики .....	407
<i>Наталія Олександрівна Краснікова</i> <i>Olha Puroh (Ольга Володимирівна Пирог)</i> <i>Павло Дмитрович Красніков</i>	
Вразливості SQL-injection.....	411
<i>Світлана Володимирівна Клименко</i> <i>Ілля Юрійович Тремба</i>	
Освітній процес в технологічному середовищі розробки аерокосмічної техніки.....	416
<i>Анастасія Сергіївна Давидова</i> <i>Василь Юхимович Шевцов</i> <i>Оксана Володимирівна Бовкунова</i>	
ІТ-технології у сучасних реаліях.....	419
<i>Анжеліка Володимирівна Давидова</i> <i>Сергій Олександрович Давидов</i> <i>Данило Сергійович Рак</i>	
Психологічний вплив кольорів у маркетингу.....	423
<i>Анастасія Костянтинівна Албатова</i> <i>Оксана Володимирівна Левкович</i>	
Роль та перспективи розвитку використання методів штучного інтелекту у будівельній галузі.....	428
<i>Віталій Олександрович Гусев</i> <i>Тетяна Дмитрівна Нікіфорова</i>	
Інноваційний розвиток та трансфер технологій як фактори стійкого економічного зростання .....	433
<i>Юлія Михайлівна Стасюк</i>	

Вплив спеціальних умов на соціально-психологічний клімат у трудовому колективі .....	438
<i>Діана Русланівна Семенова</i> <i>Олександр Петрович Крупський</i>	
Оптимізаційний метод AMSGrad в багатошарових нейронних мережах .....	446
<i>Сергій Андрійович Свелеба</i> <i>Наталя Андріївна Свелеба</i>	
Розробка інформаційної системи визначення рентабельності освітньої програми спеціальності факультету .....	457
<i>Ольга Віталіївна Верба</i> <i>Михайло Володимирович Овсов</i>	
Використання алгоритму машинного навчання Support Vector Machine (SVM) для аналізу даних задля вирішення доцільності обрання професій медичного напрямку.....	460
<i>Олексій Миколайович Измаков</i>	
Трансформація економіки космосу в контексті сталого розвитку країн .....	465
<i>Лариса Леонтіївна Антонюк</i> <i>Ганна Валеріївна Нямецук</i>	
Театралізація контексту досвіду споживання продуктів культури.....	471
<i>Роман Анатолійович Павлов</i> <i>Тетяна Сергіївна Павлова</i>	
Рендерінг процесів взаємодії складнопрофільних тіл .....	474
<i>Владислав Вікторович Жушман</i>	
Комп'ютерно-інтегрована технологія контролю експериментальних вимірювань з невідомими статистичними закономірностями .....	477
<i>Владислав Андрійович Левченко</i> <i>Наталя Олександрівна Лисенко</i>	
Керування ризиками під час реалізації інноваційних проєктів та стартапів в сучасних умовах .....	484
<i>Володимир Іванович Стаценко</i> <i>Надія Іванівна Федоряцька</i>	
Цінова стратегія просування інноваційного продукту на світовий ринок.....	488
<i>Лілія Сергіївна Головка</i>	

Проблема вигорання працівників на підприємствах харчової промисловості.....	491
<i>Настя Віталіївна Самойло</i> <i>Yevgen Bogodistov (Євген Володимирович Богодістов)</i>	
Econometric Assessment of the Impact of Competitiveness on the Income of the Population in Azerbaijan.....	501
<i>Yadulla Hamdulla oglu Hasanli</i> <i>Sardar Ahmadiyya oglu Shabanov</i>	
Innovative Transformations of Science-Intensive Industries in the National Economy of Azerbaijan: from Engineering to a Developed ICT Sector.....	508
<i>Samira Huseyn Abasova</i>	
Technical and technological modernization of Azerbaijan economy: solutions.....	527
<i>Gulshen Zahid kizi Yuzbashieva</i> <i>Israfil Habib oglu Yuzbashiev</i>	
Охорона праці на підприємствах в умовах воєнного стану .....	539
<i>Андрій Федорович Литвин</i> <i>Сергій Юрійович Лаун</i> <i>Наталія Ігорівна Кролівець</i>	
Аналіз шумів залізничного транспорту: аналітичний огляд.....	544
<i>Володимир Степанович Дудніков</i> <i>Галина Іванівна Сокол</i>	
Обґрунтування доцільності використання техногенно порушених земель гірничодобувних регіонів .....	551
<i>Ольга Олексіївна Медведєва</i> <i>Заряна Сергіївна Гальченко</i>	
Оцінка втрати тепла типовим п'ятиповерховим житловим будинком як чинника екологічної безпеки міста.....	557
<i>Валерій Євгенійович Колесник</i> <i>Ірина Володимирівна Монюк</i>	
Підвищення екологічної безпеки промислових регіонів шляхом знепилення агломераційних газів.....	563
<i>Юлія Володимирівна Войтенко</i>	
Переробка відходів: ключові переваги та виклики.....	568
<i>Олена Вікторівна Долженкова</i>	
Аналіз екологічних проблем при знешкодженні зарядів вилучених з експлуатації твердопаливних двигунів .....	571
<i>Олена Василівна Золотько</i>	

Оцінка стану небезпеки дорожньо-транспортного руху .....	574
<i>Тетяна Іванівна Русакова</i>	
Європейські принципи зеленої економіки в автомобілебудуванні .....	580
<i>Богдана Василівна Гаража</i>	
<i>Тетяна Анатоліївна Смирнова</i>	
Відходи стають ресурсами: переробка матеріалів для сталого розвитку авіаційно-космічної галузі .....	585
<i>Алла Володимирівна Акастелова</i>	
Зневоднення відходів, утворених в процесах очищення побутових стічних вод.....	595
<i>Олена Григоріївна Левицька</i>	
Ukrainian Research Schools Negative Thermal Factors at Workplaces.....	598
<i>Yurii Eduardovich Strezhekurov</i>	
<i>Anatoly Serafimovych Belikov</i>	

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 06.06.2023. Формат: 60x84/16. Друк цифровий.  
Умов. друк. арк. 35,34. Умов. авт. арк. 30,29. Обл.-вид. арк. 36,27.  
Гарнітура: Times, Arial. Тираж: електронне видання.

---

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, Дніпро, Україна, 49010



**CIMS**

**ВИКЛИКИ ТА ПРОБЛЕМИ  
СУЧАСНОЇ НАУКИ**

**CHALLENGES AND ISSUES OF MODERN SCIENCE**

**ТОМ 1  
2023**