

# Системи та технології

(правонаступник наукового журналу  
“Вісник Академії митної служби України.  
Серія: “Технічні науки”)

## № 2 (64)

*Науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії “Б”, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів з галузі “Технічні науки”, спеціальності 113, 122, 123, 275 (наказ МОН України від 17.03.2020 р. № 409, додаток 1), 172 (наказ МОН України від 24.09.2020 р. № 1188, додаток 5), 255 (наказ МОН України від 15.04.2021 р. № 420, додаток 3)*



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2022

**Системи та технології**  
**(правонаступник наукового журналу**  
**“Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”)**  
Науковий журнал. Видається двічі на рік. Заснований у травні 1999 р.  
Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет вченою радою  
Університету митної справи та фінансів (протокол № 5 від 12.12.2022 р.)

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення  
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Редакційна колегія:*

**Кузьменко А. І.** – к.т.н., доц.  
*(головний редактор);*  
**Халіпова Н. В.** – к.т.н., доц.  
*(заступник головного редактора);*  
**Йозеф Костольни** – PhD;  
**Ян Рабчан** – PhD;  
**Бакіров Мюшфік Панах огли** – к.т.н.;  
**Балацька Н. Ю.** – д.е.н., доц.;  
**Бондаренко І. О.** – д.т.н., доц.;  
**Боярчук А. В.** – к.т.н., доц.;  
**Брежнєв Є. В.** – д.т.н., с.н.с.;  
**Вишнікіна О. В.** – к.х.н., доц.  
**Власов А. В.** – к.т.н., ст. досл.;  
**Волосова Н. М.** – к.т.н.;  
**Гарт Е. Л.** – д.ф.-м.н., проф.;  
**Гордєєв О. О.** – к.т.н., доц.;  
**Джинджоян В. В.** – д.е.н., доц.;  
**Доценко С. І.** – д.т.н., доц.;  
**Защолкін К. В.** – к.т.н., доц.;  
**Котух Є. В.** – к.т.н.;

**Кузін М. О.** – д.т.н., доц.;  
**Кучер М. М.** – к.е.н., доц.;  
**Мартинюк О. М.** – к.т.н., доц.;  
**Музикін М. І.** – к.т.н.;  
**Нестеренко Г. І.** – к.т.н., доц.;  
**Огар О. М.** – д.т.н., проф.;  
**Охріменко Т. О.** – к.т.н.;  
**Поночовний Ю. Л.** – к.т.н., доц.;  
**Примаченко Г. О.** – к.т.н., доц.;  
**Прохорченко Г. О.** – к.т.н., доц.;  
**Сабіров О. В.** – к.т.н., доц.;  
**Сохацький А. В.** – д.т.н., проф.;  
**Стеблюк Н. Ф.** – к.е.н., доц.  
**Стеблянко П. О.** – д.ф.-м.н.;  
**Чопоров С. В.** – д.т.н., проф.;  
**Шапорін Р. О.** – к.т.н., доц.;  
**Щербовських С. В.** – д.т.н., с.н.с.;  
**Юдіна О. І.** – д.е.н., доц.;  
**Язіна В. А.** – к.е.н.;  
**Яремчук С. О.** – к.т.н.

DOI: <https://doi.org/10.32836/2521-6643-2022-2-64>  
ISSN 2521-6643

Коректори: Н. В. Славогородська, Н. С. Ігнатова  
Комп'ютерна верстка: Н. С. Кузнєцова

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 21857-11757ПР від 21.12.2015 р.  
Адреса: м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 2/4, 49000  
Тел.: +38 (099) 729 63 79  
E-mail: editor@st.umsf.in.ua  
Сайт видання: st.umsf.in.ua

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Підписано до друку 14.12.2022. Формат 60×84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 7,44. Обл.-вид. арк. 6,51.  
Наклад 100 прим. Замовлення № 0323/171.

---

## ЗМІСТ

<b>Сохацький А. В.</b> До проблеми моделювання аеродинаміки надводних транспортних апаратів.....	5
<b>Бондар О. П.</b> Про стратегію враження ворожих БПЛА.....	14
<b>Дідусенко В. В., Кравченко М. А., Золотарьов С. А., Прохорченко Г. О.</b> Дослідження крос-кордонних перевезень зернових вантажів автомобільним та залізничним транспортом.....	19
<b>Лебідь В. В., Мейш Ю. А., Майбородіна Н. В., Герасименко В. П.</b> Застосування методів математичної статистики до прогнозування кількості оформлення митних декларацій.....	30
<b>Семенов А. О., Семенова О. О., Пінаєв Б. О., Козін Д. О., Кристофоров А. В.</b> Ширококуткова прямокутна рупорна антена з діелектричною лінзою для бездротового зв'язку «точка-точка».....	38
<b>Чанишев Р. І.</b> Федеративна європейська інфраструктура даних Gaia-X як інструмент технологічного суверенітету Європи: досвід для України.....	48
<b>Юдіна О. І., Язіна В. А., Кириллова С. К.</b> Цільове управління резервами економічного розвитку підприємств індустрії гостинності.....	56
<b>Погребняк А. В., Язіна В. А., Наумович Т. Р.</b> Сучасний стан та перспективи розвитку готельного господарства України.....	60
<b>Карпуков Л. М., Воскобойник В. О., Савченко Ю. В., Козіна Г. Л.</b> Метод підвищення захищеності інформації в каналах зв'язку застосуванням мікрохвильових фільтрів із полюсами загасання на заданих частотах.....	64
<b>Козіна Г. Л., Савченко Ю. В., Воскобойник В. О., Карпуков Л. М.</b> Система стеганографічного захисту фотографій з використанням крихких водяних знаків.....	75

---

## CONTENTS

<b>Sokhatsky A. V.</b> To the problem of modeling the aerodynamics of surface transportation vehicles.....	5
<b>Bondar O. P.</b> About the strategy of impressing enemy UAVs.....	14
<b>Didusenko V. V., Kravchenko M. A., Zolotarov S. A., Prokhorchenko H. O.</b> The study of the cross-border transportation of grain cargo by road and rail.....	19
<b>Lebid V. V., Meish Yu. A., Maiborodina N. V., Herasymenko V. P.</b> Application of mathematical statistics methods for forecasting the number of customs declarations.....	30
<b>Semenov A. O., Semenova O. O., Pinaiev B. O., Kulias R. O., Krystoforov A. V.</b> Broadband rectangular horn antenna with dielectric lens for point-to-point wireless communication.....	38
<b>Chanyshv R. I.</b> Federated European data infrastructure Gaia-X as a tool of European technological sovereignty: experience for Ukraine.....	48
<b>Yudina O. I., Yazina V. A., Kyrylova S. K.</b> Targeted management of economic development reserves of hospitality industry enterprises.....	56
<b>Pohrebniak A. V., Yazina V. A., Naumovych T. R.</b> Current state and development prospects of the hotel industry of Ukraine.....	60
<b>Karpukov L. M., Voskoboynik V. O., Savchenko Iu. V., Kozina G. L.</b> Method of Increasing Information Security in Communication Channels Using Microwave Filters with Attenuation Poles at Predetermined Frequencies.....	64
<b>Kozina G. L., Savchenko Iu.V., Voskoboynik V.O., Karpukov L.M.</b> Steganographic photo protection system using fragile watermarks.....	75

**Сохацький А. В.**, доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри транспортних технологій  
та міжнародної логістики  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0002-3593-6517

## ДО ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ НАДВОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ

У статті розглянуто проблеми моделювання аеродинаміки надводних швидкісних транспортних апаратів крилового компонування, що рухаються на невеликій відстані від водної поверхні. Для їх підтримки в повітрі повинен використовуватися екранний ефект, що формується під впливом близькості до водної поверхні. Ефект близькості землі спостерігається на авіаційному транспорті в злітно-посадкових режимах літаків. Близькість землі впливає на формування аеродинамічних характеристик транспортних апаратів.

На сьогодні дослідження аеродинаміки перспективних транспортних апаратів, що рухаються поблизу підстилюючої поверхні можливе з використанням наступних підходів: натурних випробовувань; моделювання на спеціальних треках; моделювання в аеродинамічних трубах.

Натурні випробовування за звичай використовуються на фінальних етапах розробки транспортних апаратів. Моделювання на спеціальних треках пов'язане з складністю зняття аеродинамічних характеристик і не отримало поширеного застосування. Найбільш придатним вважається моделювання з використанням аеродинамічних труб. Сучасний рівень оснащення експериментальних лабораторій дозволяє коректно проводити аеродинамічні дослідження літальних апаратів. Проте при моделюванні аеродинамічних процесів навколо транспортних апаратів, що рухаються поблизу межі розділу середовищ виникають складні проблеми з відтворенням умов динаміки руху.

В роботі детально розглянуті методи дослідження впливу близькості землі на формування аеродинамічних характеристик транспортних апаратів в аеродинамічних трубах. До них належать: метод з використанням нерухої пластини; метод дзеркального відображення моделі; метод з відсмоктування або здування прилежового шару; метод з застосуванням рухомого поясу. Проведено оцінку можливості їх використання для моделювання аеродинаміки швидкісних надводних транспортних апаратів крилового компонування.

При моделюванні обтікання швидкісних транспортних апаратів, що рухаються поблизу водної поверхні, виникає ряд труднощів, пов'язаних з реалізацією реальних умов обтікання, а саме урахування динаміки руху водної поверхні. В ідеалі між транспортним апаратом та водною поверхнею реалізується відносний рух. Проведений огляд методів, які застосовуються при моделюванні аеродинаміки транспортних засобів над твердим екраном виявився малопридатним для швидкісних транспортних апаратів крилового компонування, що рухаються на невеликій відстані від водної поверхні. Забезпечення подібності відносного руху є надзвичайно складною задачею. Вона вимагає обґрунтованого аналізу фізичних процесів та пошуку шляхів розробки фізичних та математичних моделей, придатних для використання при проектуванні швидкісних надводних транспортних апаратів крилового компонування. Це повинні бути моделі від простих інженерних методик до методик на основі повних та осереднених рівнянь Нав'є-Стокса.

Ключові слова: аеродинаміка надводних транспортних апаратів; експериментальні методи аеродинаміки, математичне моделювання, рівняння Нав'є-Стокса, моделі турбулентності.

### **Sokhatsky A. V. To the problem of modeling the aerodynamics of surface transportation vehicles**

The article deals with the problems of modeling the aerodynamics of surface high-speed vehicles of winged layout moving at a short distance from the water surface. To support them in the air, the screen effect formed under the influence of proximity to the water surface should be used. The effect of ground proximity is observed in air transport in the takeoff and landing modes of aircraft. The proximity of the ground affects the formation of the aerodynamic characteristics of vehicles.

Today, the study of the aerodynamics of advanced vehicles moving near the underlying surface is possible using the following approaches: full-scale tests; modeling on special tracks; wind tunnel modeling.

Full-scale tests are usually used at the final stages of vehicle development. simulation on special tracks is associated with the complexity of obtaining aerodynamic characteristics and is not widely used. The most suitable is modeling using wind tunnels. The current level of equipment of experimental laboratories allows for correct aerodynamic studies of aircraft. However, when modeling aerodynamic processes around vehicles moving near the interface, complex problems arise with reproducing the conditions of motion dynamics.

The paper describes in detail the methods of studying the influence of the proximity of the ground on the formation of aerodynamic characteristics of vehicles in wind tunnels. These include: a method using a fixed plate; a method of mirroring the model; a method of suction or blowing the boundary layer; a method using a moving belt. The possibility of their use for modeling the aerodynamics of high-speed surface vehicles of winged layout is evaluated.

---

When modeling the flow of high-speed vehicles moving near the water surface, a number of difficulties arise due to the realization of real flow conditions, namely, taking into account the dynamics of the water surface. Ideally, relative motion is realized between the vehicle and the water surface. The review of methods used in modeling the aerodynamics of vehicles over a solid screen proved to be of little use for high-speed winged vehicles moving at a short distance from the water surface. Ensuring the similarity of relative motion is an extremely difficult task. It requires a reasonable analysis of physical processes and the search for ways to develop physical and mathematical models suitable for use in the design of high-speed surface vehicles with wing arrangement. These models should range from simple engineering techniques to techniques based on the full and averaged Navier-Stokes equations.

Key words: aerodynamics of surface vehicles; experimental methods of aerodynamics, mathematical modeling, Navier-Stokes equations, turbulence models.

Однією з найскладніших проблем створення швидкісних надводних транспортних апаратів є задача пошуку раціонального аеродинамічного компонування. Рух такого транспортного засобу з великою швидкістю відбувається поблизу межі розділу середовищ в атмосферних умовах, близьких до параметрів стандартної атмосфери на рівні моря. Близькість водної поверхні сприяє формуванню екранного ефекту – це явище завдяки якому відбувається збільшення підйімальної сили, зменшення індуктивної складової лобового опору, зміна моментних аеродинамічних залежностей. Завдяки екранному ефекту можна досягти високого значення аеродинамічної якості крилових надводних транспортних апаратів.

**Постановка проблеми.** Аеродинамічні процеси мають визначаючий вплив на технічні характеристики надводних транспортних апаратів. Для забезпечення заданого режиму руху транспортного апарата необхідно, щоб його аеродинамічні, геометричні, масові, міцносні та динамічні параметри знаходилися в певному діапазоні, а їх похідні за часом мали необхідні значення. Розв'язування цієї проблеми полягає у проведенні цілого комплексу досліджень з аеродинаміки для надання надводному транспортному апарату раціонального аеродинамічного компонування.

Задача формування аеродинамічного компонування транспортного апарата формується наступним чином: знайти такий вектор параметрів, що характеризує форму, структуру, розміри, кінематичні та динамічні параметри, конструктивні особливості та інше, які б забезпечували задоволення вимог та обмежень, що висуваються до транспортного апарата, та досягнення оптимального значення відповідної цільової функції.

Створення аеродинамічних компонувань надводних транспортних апаратів, їх обрисів визначається великим числом параметрів, які з достатнім ступенем точності характеризують структуру, розміри, конструктивні особливості і підлягають визначеності. Сукупність цих параметрів утворює вектор

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m). \quad (1)$$

З технічної точки зору такий транспортний апарат визначається набором характеристик, виставлених замовником. Ними можуть бути: маса спеціального навантаження; висота руху над водною поверхнею; розрахункова дальність маршруту  $L_p^*$ ; характеристики спеціальних дистанцій руху  $L_{3,0}^*$ ; крейсерська швидкість руху  $V_{кр}^*$  та інші.

Сукупність цих характеристик позначимо вектором

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n). \quad (2)$$

Параметри та характеристики пов'язані між собою рівняннями зв'язку

$$\begin{aligned} y_1 &= y_1(x_1, x_2, \dots, x_m), \\ y_2 &= y_2(x_1, x_2, \dots, x_m), \\ &\dots \\ y_n &= y_n(x_1, x_2, \dots, x_m). \end{aligned} \quad (3)$$

Вони відображають взаємозв'язок параметрів та характеристик транспортного апарата, алгоритм його функціонування і є математичним описом об'єкта проектування. Тоді математичною моделлю транспортного апарата буде вектор параметрів та рівняння зв'язку (3).

При прийнятті рішення вибору того чи іншого варіанту аеродинамічних компонувань транспортного апарата важливим є вибір критеріїв оцінки його досконалості. Найбільш поширеним є критерій типу «вартість-ефективність». Тобто, необхідно знайти параметри надводного транспортного апарата, що відповідають найбільшій ефективності при заданій вартості, або ті, що відповідають мінімальній вартості при заданій ефективності. Вважається, що вимога з знаходження максимальної ефективності при мінімальних затратах не може бути реалізованою [1].

Взагалі, задача пошуку раціонального аеродинамічного компонування транспортного апарата є оберненою задачею: спроектувати транспортний апарат так, щоб величини похідних давали саме той розв'язок



---

рівняння руху, який відповідає бажаному руху, заданим критеріям технічних властивостей, стійкості та керуваності. На сьогодні одержання загального розв'язку такої оберненої задачі є малоімовірним, тому необхідно розв'язувати пряму задачу. Аналіз методів формування аеродинамічних компонувань літальних апаратів показує, що для урахування впливу нестационарних аеродинамічних параметрів на динаміку руху необхідні розробки більш ефективних підходів. Таким методом повинен бути сумісний розв'язок зв'язаної задачі динаміки та аеродинаміки транспортного апарата. Якщо розглядати транспортний апарат як тверде тіло, то розв'язок такої задачі може представляти собою сумісний розв'язок рівнянь аеродинаміки та рівнянь динаміки руху, доповнених кінематичними співвідношеннями та параметричними обмеженнями у відповідності з умовами задачі.

Одержання загального розв'язку такої оберненої багатокритеріальної задачі є неможливим і необхідний розв'язок хоча б зв'язаної задачі динаміки та аеродинаміки транспортного апарата як твердого тіла.

Методи фізичного моделювання аеродинамічних процесів відіграють важливу роль у дослідженні аеродинаміки транспортних апаратів. Вважається, що вони дозволяють отримати найбільш близькі до дійсності розв'язки аеродинамічних задач [2-16]. Проте не завжди легко змоделювати умови обтікання тіла. Так, при моделюванні обтікання транспортних апаратів, що рухаються поблизу водної поверхні, виникає ряд труднощів, пов'язаних з реалізацією реальних умов обтікання. В ідеалі між транспортним апаратом та водною поверхнею реалізується відносний рух. Порушення подібності відносного руху може призводити до значних похибок при моделюванні.

Для формування раціональних аеродинамічних компонувань надводних транспортних апаратів, окрім розробки ряду математичних моделей розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, динаміки руху, аеропружності, необхідно проводити експериментальні дослідження. Вони повинні базуватися на відповідних критеріях подібності фізичних процесів [11]. Враховуючи досягнення експериментальної аеродинаміки задача проведення коректних експериментальних досліджень залишається невирішеною. Методи фізичного моделювання аеродинаміки вимагають подальших розробок.

**Аналіз останніх досліджень.** На сьогодні дослідження аеродинаміки перспективних транспортних апаратів, що рухаються поблизу підстилаючої поверхні можливе з використанням наступних підходів:

- натурних випробувань [2, 5];
- моделювання на спеціальних треках [3];
- моделювання в аеродинамічних трубах [6, 7, 10, 12-14, 17, 18];

Натурні випробування транспортних апаратів дозволяють отримувати найточніші технічні характеристики. Але вони можливі після виготовлення повномасштабного транспортного апарата. Натурні випробування широко використовували в Інституті гідромеханіки Національної академії наук України при дослідженні аеродинаміки екранопланів. Але такий підхід пов'язаний із значними фінансовими та матеріальними затратами і вимагає повного випуску технічної документації. Практика проектування показує, що використання натурального випробування доцільно проводити перед запуском серійного виробництва для отримання комплексної оцінки технічних характеристик.

**Мета дослідження.** При моделюванні обтікання швидкісних транспортних апаратів, що рухаються поблизу водної поверхні, виникає ряд труднощів, пов'язаних з реалізацією реальних умов обтікання. В ідеалі між транспортним апаратом та водною поверхнею реалізується відносний рух. Забезпечення подібності відносного руху є надзвичайно складною задачею і вимагає обґрунтованого аналізу експериментальних методів та пошуку шляхів розробки фізичних та математичних моделей, придатних для використання при їх проектуванні з забезпеченням часових та функціональних критеріїв.

**Методи фізичного моделювання.** Вважається, одним з найточніших підходів для дослідження аеродинамічних характеристик транспортних апаратів, що рухаються над межею розділу середовищ є моделювання на спеціальних треках [9]. Він дозволяє отримувати результати експериментальних досліджень з точністю, близькою до натурних випробувань. Хоча виникають труднощі з визначенням інтегральних характеристик, але розвиток електронної техніки та математичного моделювання дозволяє отримувати прийнятні розподілені характеристики з певними обмеженнями. У порівнянні з дослідженнями в аеродинамічних трубах застосування моделювання на спеціальних треках дозволяє усунути цілий ряд проблем, пов'язаних з виконанням межових умов на шляховій структурі. Так, використання трекового способу для дослідження аеродинамічних характеристик наземних транспортних засобів дозволило отримати більш точні величини підйимальної сили та лобового опору в роботі [19]. Аналіз досліджень, викладених в роботі [20], свідчить про високу точність отриманих даних при застосуванні трекового підходу.

Найбільш поширеним способом дослідження аеродинаміки транспортних апаратів є аеродинамічні труби. Для моделювання впливу шляхової структури на аеродинамічні характеристики транспортного апарата використовують наступні методи трубних досліджень:

- а) нерухома шляхова структура (рис. 1 а, рис. 2 а);
- б) дзеркальне відображення моделі (рис. 1 б, рис. 2 б);
- в) управління примежовим шаром (рис. 1 в, рис. 2 в);
- г) рухомий пояс (рис. 1 г, рис. 2 г).

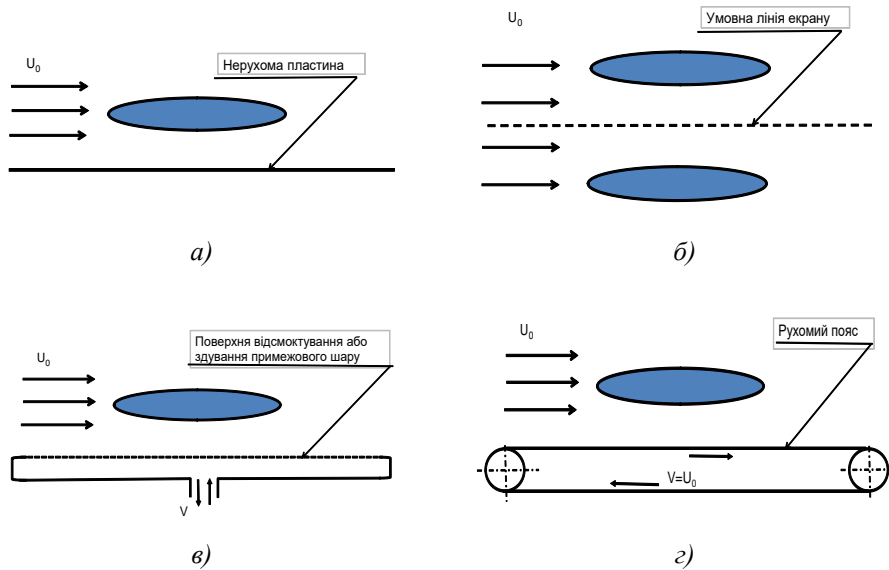


Рис. 1. Моделювання руху транспортного апарата поблизу землі в аеродинамічній трубі:  
*а* – використання нерухомої пластини, *б* – дзеркальне відображення моделі, *в* – відсмоктування або здування примежового шару, *г* – застосування рухомого поясу

Використання нерухомої шляхової структури є найбільш поширеним і самим простим методом [6, 7, 21]. Модель транспортного апарата закріплюється над шляховою структурою на відстані, яка дає можливість урахувати наростання примежового шару на поверхні шляхової структури. При такому моделюванні може виникати циркуляція навколо комбінації "шляхова структура – модель" [7]. Але цю проблему можна усунути завдяки застосуванню різноманітних аеродинамічних пристроїв, але не у всіх випадках.

Вилучити примежовий шар з поверхні шляхової структури можна шляхом застосування методів управління примежовим шаром (УПШ) [18]. Він реалізовується шляхом тангенціального вдування або відсмоктування примежового шару з поверхні. Цей метод не отримав такого широкого використання в порівнянні з іншими підходами моделювання впливу шляхової структури на параметри течії [9].

Застосування методу дзеркального відображення моделей дозволяє уникнути процесу утворення примежового шару, характерного для нерухомої шляхової структури [10, 12, 22]. Проте в площині симетрії може виникати змішування основного та дзеркально-відображеного потоків. Цей процес може мати місце при моделюванні відривних течій.

В роботі [10] наведено результати експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик профілю CLARK-Y-4%, поблизу землі. Експерименти проводилися в аеродинамічній трубі Т-3 кафедри аеродинаміки Харківського авіаційного інституту з використанням методу дзеркальних моделей [14].

З рисунку 2 видно, що профілі швидкості при моделюванні руху транспортного апарата поблизу шляхової структури різними методами мають різний характер.

На рис. 3 наведено отримані залежності коефіцієнтів підйомної сили, лобового опору та моменту тангажа, аеродинамічної якості як функції від кута атаки та відстані до землі. Дослідження показали, що вказані залежності мають нелінійний характер. Окрім цього, для вивчення поля течії в області носика профілю та в площині симетрії проводилась візуалізація потоку з використанням масляної плівки.

На рис. 4 наведено фотографії поля течії. На спеціально виготовлені пластини за шаблоном профілю наносилась масляна плівка. Під дією потоку повітря масляна плівка розтікалась відповідно до поля швидкостей. Виконувалось фотографування пластин. Аналіз полів течії показав, що із зменшенням відстані між моделями змінюється характер течії в околі передньої крайки профілю. При цьому передня точка розтікання зміщується вниз до уявної землі.

Результати досліджень підтвердили, що застосування методу дзеркального відображення моделей дозволяє отримати симетричну течію відносно лінії уявної землі. Змішування потоків, в досліджену діапазоні кутів атаки, поміж основним та дзеркально-відображеним криловими профілями не відбувається.

Застосування рухомого поясу дозволяє забезпечити виконання межових умов для швидкості на поверхні шляхової структури. Проте при використанні цього способу виникають труднощі моделювання руху над шляховою структурою, що має складний поперечний профіль. Проте даний спосіб вимагає точної синхронізації швидкостей течії та рухомого поясу. Крім цього, виникає ряд труднощів спряження поясу з нерухомим екраном.



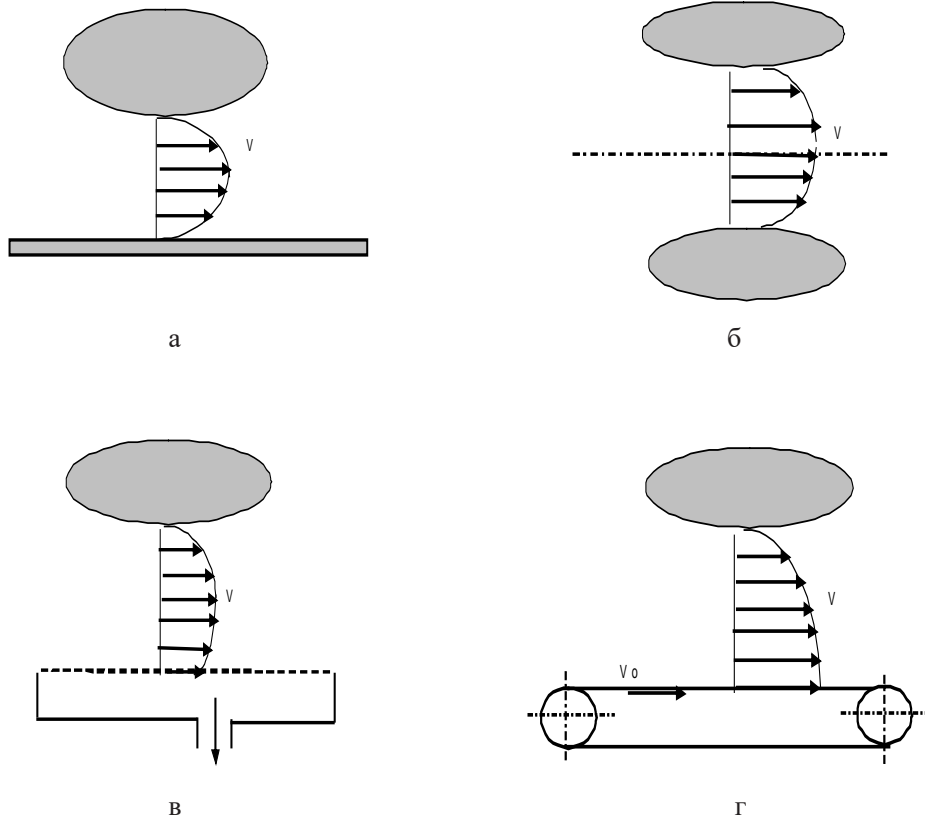
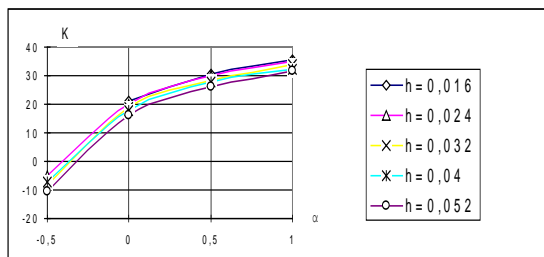
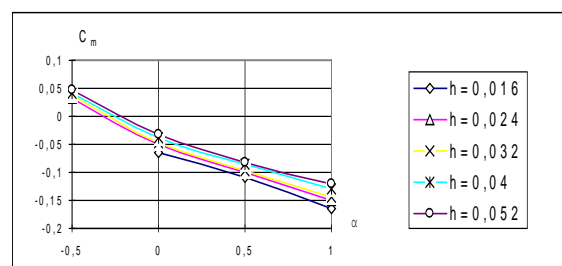


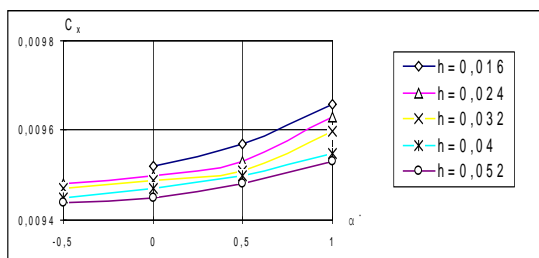
Рис. 2. Профілі швидкості при моделюванні руху транспортного апарату поблизу шляхової структури: *a* – використання нерухомої пластини, *б* – дзеркальне відображення моделі, *в* – відсмоктування або здування примежового шару, *г* – застосування рухомого поясу



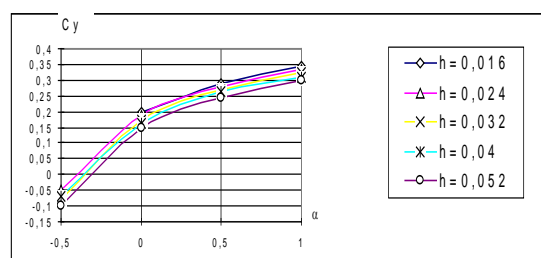
*a)*



*б)*

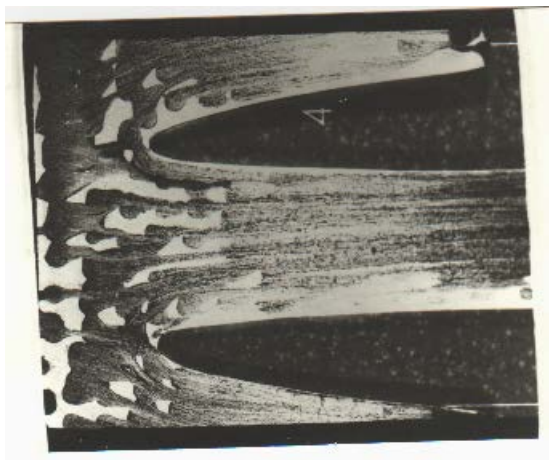


*в)*



*г)*

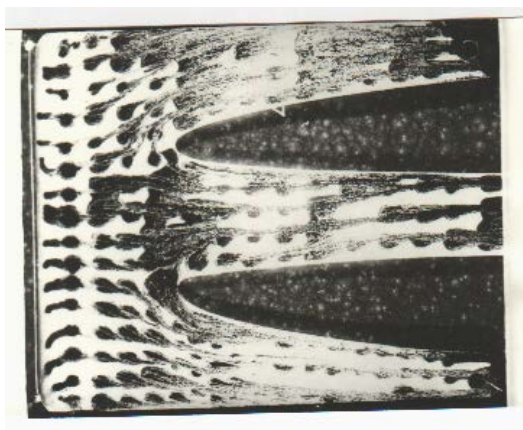
Рис. 3. Аеродинамічні характеристики профілю Clark-Y-4% поблизу землі: *a* – аеродинамічна якість; *б* – коефіцієнт поздовжнього моменту; *в* – коефіцієнт лобового опору; *г* – коефіцієнт підйомної сили



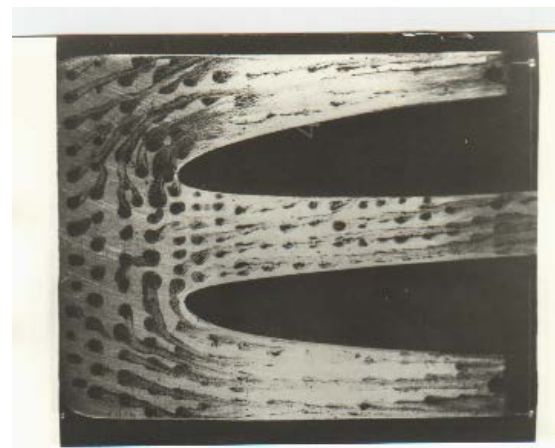
а



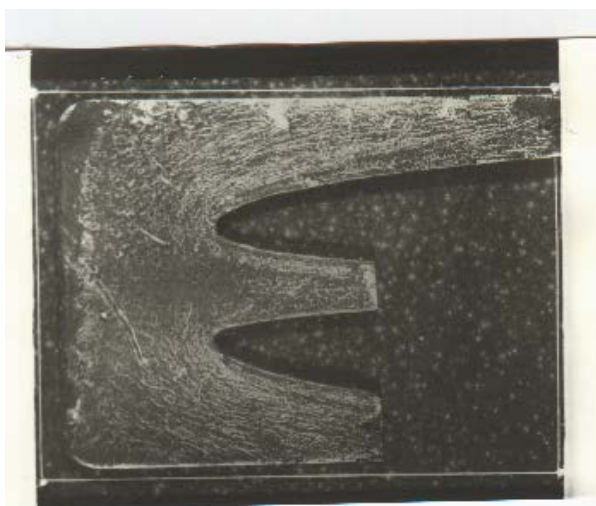
б



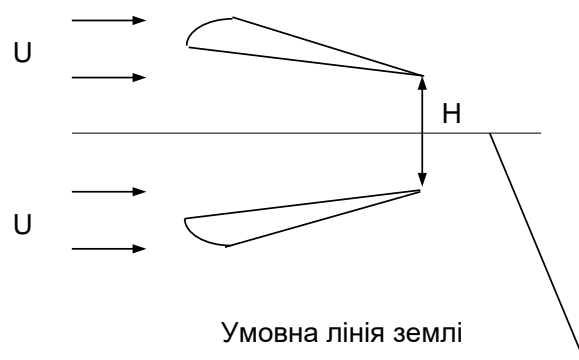
в



г



д



е

Рис. 4. Візуалізація потоку в околі передньої крайки профілю Clark-Y-4%:  
 а –  $h=26$  mm; б –  $h=20$  mm; в –  $h=16$  mm; г –  $h=12$  mm; д –  $h=8$  mm; е – схема моделювання

Даний метод намагалися реалізувати в Центральному науково-дослідному інституті імені А.М. Крилова [23]. Швидкість повітряного потоку в аеродинамічній трубі досягала 100 м/с. Максимальну швидкість рухомого поясу удалось довести тільки до 30 м/с. У відповідності з теорією подібності необхідно щоб критерій за числом Рейнольдса свідчив про відповідність подібності фізичних процесів в експерименті та реальному явищі. Складність конструкції установки моделювання є серйозною проблемою для проведення таких експериментів. Тому даний експеримент на вдалось довести до коректного завершення.

Рухомий пояс широко використовується і для моделювання руху повнорозмірних легкових автомобілів в аеродинамічній трубі [9]. Проте даний спосіб вимагає точної синхронізації швидкостей течії та рухомого поясу. Крім цього, виникає ряд труднощів спряження поясу з нерухомим екраном.

Аналіз результатів дослідження аеродинамічних характеристик різного роду довгих тіл, які рухаються поблизу екрану, використовуючи стаціонарний та рухомий пояс, метод дзеркального відображення викладено в роботах [7, 10, 12, 13]. При порівнянні методу дзеркального відображення з першими двома способами він дав більш точні показники бокової стійкості, але занижені значення моменту тангажа. Величина підйомної сили виявилась в проміжку величин, одержаних вказаними методами. При зменшенні кліренсу метод дзеркального відображення давав занижені значення сили опору.

Більш детальний аналіз методів моделювання руху наземних транспортних засобів в аеродинамічних трубах проведено в роботі [14].

Вплив землі на аеродинамічні характеристики літаків проявляється тільки на злітно-посадкових режимах. Близькість злітно-посадкової смуги, як екрана, урахується через поправку до коефіцієнта підйомної сили  $\Delta C_{y_{зем}}$ , коефіцієнта лобового пору  $\Delta C_{x_{зем}}$ , коефіцієнта моменту тангажа  $\Delta m_{z_{зем}}$  яка залежить від відстані до поверхні землі. Вплив землі веде до зміни індуктивного опору та зміщення фокусу крила і як результат зміни величини коефіцієнта поздовжнього моменту. Як показують експерименти з екранопланами вплив водної поверхні призводить до необхідності збільшення

площі горизонтального оперення до величини порядку 40% площі крила для забезпечення необхідної стійкості та керованості [24]. Це в свою чергу призводить до збільшення маси літального апарата.

Як приводилося вище, дослідження аеродинаміки екранопланів проводили в Інституті гідромеханіки Національної академії наук України [3, 16].

Схематичні моделі екранопланів (рис. 5) випробовували в гідродинамічному каналі завдовжки 140 м, завширшки 4.0 м і глибиною 1.2 м. Було застосовано гідродинамічний метод дослідження задач аеродинаміки [16, 24]. У цьому разі він зводився до того, що схематичні моделі екранопланів приводили в рух у водному середовищі над твердим нерухомим хвильовим екраном, влаштованим на дні каналу [16]. Заміна повітряного середовища водним середовищем в умовах цього дослідження є доцільною, оскільки дає змогу в експерименті одержувати відносно великі сили, що підлягають вимірюванню, що може підвищувати точність вимірювань, і досягати досить великих чисел Рейнольдса (близько  $10^6$ ) за відносно малих швидкостей буксирування (близько 4-5 м/с) [16].

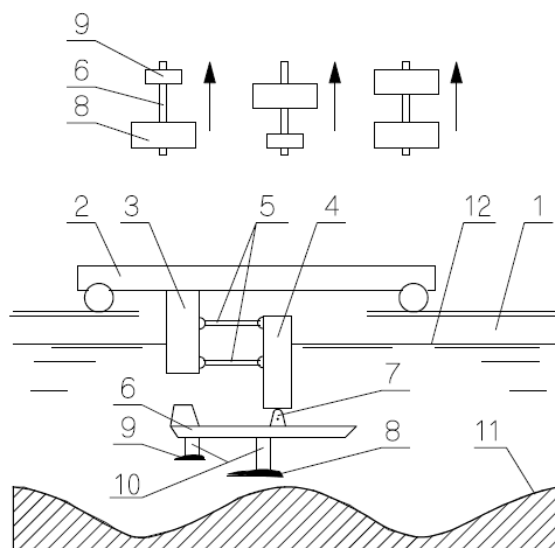


Рис. 5. Схема експериментальної установки в гідроканалі [16]

Схематичні моделі екранопланів (6) буксирували в гідроканалі (1) буксирувальним візком (2) під вільною поверхнею води (12) над хвильовим екраном (11) [16]. Моделі (6) з'єднувалися з буксирувальним візком (2) за допомогою двох гідродинамічних ножів (3) і (4), з'єднаних між собою шарнірним паралелограмом (5),

що забезпечував для моделі (6) свободу вертикальних переміщень. Ніж (3) жорстко кріпився до візка (2). Ніж (4) мав на своєму нижньому кінці шарнір (7) для кріплення моделі (6) [16].

Шарнір (7) міг бути приєднаний до моделі в будь-якому її місці по довжині і забезпечував їй свободу кутових коливань за тангажем. Крила великі (8) і малі (9) кріпилися до моделі за допомогою обтічних перехідників (10). Перехідники також могли бути приєднані до моделі в будь-якому її місці по довжині, чим забезпечувалася можливість зібрати модель за однією з можливих аеродинамічних компонок. Конструкція перехідників давала змогу також регулювати кути атаки крил [16].

Вплив водної поверхні не є подібним до впливу злітно – посадкової смуги. Це пояснюється фізичними властивостями води. Дослідження аеродинаміки надводного транспортного апарата в аеродинамічній трубі є некоректним, так як не дозволяє провести моделювання водної поверхні, в такому випадку зникає можливість отримати подібність фізичних процесів для реальних режимів руху. Окрім цього явище хвилеутворення на водній поверхні буде спричиняти нестационарний режим руху транспортного апарата. Виходячи з цього слід зауважити, що безвідривне обтікання передньої крайки крила (подібне до обтікання передньої крайки крила при застосуванні методу дзеркально відображення моделі рис.4 ) може не реалізовуватися.

Під час руху транспортного апарата над хвилеутворенною водною поверхнею на нього діятиме низка додаткових нестационарних аперіодичних або періодичних сил і моментів. В основному величина цих сил і моментів буде залежати від висоти польоту над рівнем водної поверхні, відповідності напрямку польоту щодо руху фронту хвиль, а також геометричних та аеродинамічних характеристик самого транспортного апарата. В залежності і від погодних умов динамічні та кінематичні параметри можуть досягати критичних значень.

Під їхнім впливом на основні параметри руху будуть накладатися додаткові лінійні та кутові переміщення. В таких умовах транспортний апарат буде здійснювати складний нестационарний рух. Транспортному апарату необхідно надати такі характеристики стійкості та керованості, які б забезпечили безпечний рух.

Надзвичайно важливим питанням є забезпечення його динамічної стійкості, як в поздовжньому так і в поперечному напрямі. Його коливальний рух у вертикальній площині повинен мати частоту що відповідає частоті його зустрічі з гребнями хвиль водної поверхні. Необхідно забезпечити демпфувальні властивості конструкції транспортного засобу саме відповідним аеродинамічним компоуванням під впливом повітря. На сьогодні це питання не є вивченим достатньо. Вивчення демпфувальної дії повітряного середовища дозволить прояснити цілий ряд фізичних процесів при русі надводного транспортного засобу. Для цього необхідні розробки експериментальних та теоретичних методів та проведення відповідних досліджень.

Для вирішення проблеми необхідно розробляти математичні моделі різного рівня складності і розв'язувати їх вигляді зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху.

**Висновки.** Поведений огляд експериментальних підходів до моделювання руху швидкісного транспортного апарата над водною поверхнею вказує на необхідність подальшої розробки методів для забезпечення кінематичної та динамічної подібності фізичних процесів. Попередні дослідження в цьому напрямі проводились без урахування динаміки руху водної поверхні та її властивостей. Подальший розвиток обчислювальної аеродинаміки та її застосування дозволить проводити коректні числові експерименти і надасть можливість вивчити особливості фізичних процесів аеродинаміки та динаміки руху швидкісних надводних транспортних апаратів. В подальших дослідженнях необхідно розробляти математичні моделі з різним рівнем складності.

#### Список використаних джерел:

1. Проектирование самолетов / Егер С.М., Мишин В.Ф., Лисейцев Н.К., Бадягин А.А., Ротин В.Е.; под ред. С.М.Егера. М.: Машиностроение, 1983. 616 с.
2. Аэродинамика ракет: В 2-х книгах / Дж. Аллен, Ф. Балтакис, С. Вукелич и др. ; под ред. М. Хемша, Дж. Нилсена; пер. с англ. А.Д. Хонькина. М.: Мир, 1989. 738 с.
3. Бабенко В.В., Кузнецов А. И., Мороз В.В. Методика проведения буксировочных испытаний в опытном бассейне с помощью двух моделей глиссирующего судна. *Прикладна гідромеханіка*. 2003. т. 5(77), № 4. С. 5–11.
4. Бирман П.У. Обзор. Течение вблизи плохо обтекаемых тел, применимых к аэродинамике автомашин. *Труды американского общества инженеров механиков. Теоретические основы инженерных расчетов*. 1980. Т. 102, № 3. С. 85–97.
5. Brendon, D.M., Ngunn, L.T. (1989). Eksperimentalnoe issledovanie vliyaniya geometricheskoy formy nosovoy chasti fyuzelyazha na harakteristiki ustoychivosti samoleta pri bolshih uglah ataki, *AKT*, (5), 42-57.
6. Byichkova, N.M., Dikovskaya, N.D., Larichkin, V.V. (1990). Vzaimodeystvie poperechno obtekaemogo tsilindra s blizko raspolozhennyim ekranom. *Yzv. SO AN SSSR. Ser. teh. nauk*, (1), 57-63.
7. Gordon M.G. (1965). . Eksperimentalnoe issledovanie polya skorostey i davleniy vokrug profilya vblizi zemli. *Trudy TsAGY*, (974), 1- 24.
8. Gorlin S.M. (1970), *Eksperimentalnaya aeromehanika*. Moskva: Vysshaya shkola.
9. Guho, V.G. (1987). *Aerodinamika avtomobilya*. Moskva: Mashinostroenie.

- 
10. Prykhodko, A.A., Sokhatskyi, A.V. (1998). *Matematicheskoe i eksperimentalnoe modelirovanie aerodinamiki elementov transportnykh sistem vblizi ekrana*. Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovanie.
  11. Sedov, L.I. (1987). *Metodyi podobiya i razmernosti v mekhanike*. Moskva: Nauka.
  12. Serebriyskiy, Ya. M., Biyachuev, Sh. A. (1939). Issledovanie v trube gorizontavno ustanovivshegosya dvizheniya kryila na nebolshom rasstoyanii ot zemli. *Trudy TsAGI*. (437), 1- 32.
  13. Mercker, E., Wiedemann, J. (1990). Comparison of different ground simulation techniques for use in automotive wind tunnels. *SAE technical paper series*, (9000321), 1-16.
  14. Sokhatskyi, A. V. (2010). *Teoretychni osnovy stvorennia aerodynamichnykh komponovan perspektyvnykh shvydkisnykh transportnykh aparativ* (dys. doktora tekhnichnykh nauk). Dnipropetrovsk. Ukraina.
  15. Panchenkov, A.N., Drachev, P.T., Lyubymov, V.I. (2006). *Ekspertiza ekranoplanov*. Nizhniy Novgorod.
  16. Belynskiy, V.G. (2006). O vozmuschennom dvizhenii ekranoplanov nad vzvolnovannoy poverhnostyu morya. *Prykladna hidromekhanika*, (3), 3 - 15.
  17. Achenbach, E. (1972). Experiments on the flow past spheres at very high Reynolds numbers. *J. Fluid Mech.*, ( 54). 565–575.
  18. Reynolds, G.A., Sarik, V.A. (1986). . Eksperimentalnoe issledovanie ustoychivosti pogranichnogo sloya na ploskoy plastine s otsosom. *Aerokosmicheskie tekhnika*, (11), 202-207.
  19. Ohtahi, K., Takei, N., Sakamoto, H. (1972) Nissan full scale tunnel - its application to passenger car design. *Soc. Automot. Eng. (SAE)*, (720100).
  20. Volgepohl, G. (1934) Luftwiderstand von Eisenbahn-ahrzeugen: *Z. Ver. Dtsch. Ing .*
  21. Aiba, S., Tsuchida, H. (1985) Heat transfer around a circular cylinder near a plane boundary. *Trans. ASME*, (Vol. 51), 866-873.
  22. Haga, T., Kawaquiti, M., Fukuchi, G., Yamamoto, A. (1968). Aerodynamics of High Speed Train. *Monthly Bul. Int. Railway Congr. Assoc.*, (2), 1–25.
  23. Yun, L., Bliault, A., Doo, J. (2010). *Wig graft and ekranoplan. Ground effect craft techlogy*. NY.: Springer Science + Business Media.
  24. Maskalik, A.I., Nagapetyan, R.A., .. Ivanenko, V.V. (2005). *Ekranoplanyi: transportnyie suda 21 veka*. Sankt Piterbug: Sudostroenie.
  25. Epshteyn, L. A. (1980). Gidrodinamicheskie metodyi issledovaniya zadach aerodinamiki. *Trudy TsAGI*. (2035). 1-28.



**Бондар О. П.**, кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних технологій  
Економіко-технологічного інституту імені Роберта Ельворті  
ORCID: 0000-0001-5877-5667

## ПРО СТРАТЕГІЮ ВРАЖЕННЯ ВОРОЖИХ БПЛА

У статті наголошено, що наразі перед Україною гостро постала проблема захисту свого державного устрою, в зв'язку з чим Збройним Силам України доводиться відбивати атаки, зокрема, авіації супротивника, суттєвою частиною яких є використання безпілотних літальних апаратів. Зазначена необхідність підготовки кваліфікованих операторів БПЛА, яка разом з набуттям ними навичок практичного управління апаратом має включати задачі теоретичного обґрунтування стратегії і тактики застосування БПЛА. Це означає, що майбутній оператор безпілотників повинен вміти формалізувати поставлену перед ним практичну задачу, знати раціональні алгоритми її розв'язку, набутти навички швидкого і оптимального її розв'язку. Проведено статистичний аналіз видів і призначення збитих за останній час ЗСУ ворожих дронів. Зазначені види бойових операцій, як елементи стратегії враження або пошкодження ворожих БПЛА. А саме, ми розглядаємо бойові операції, які направлені на враження ворожих БПЛА в першу чергу нашими БПЛА безпосередньо або в їх поєднанні з описаними засобами знищення безпілотників. Зазначено, що в бойових умовах часто мають місце задачі знищення ворога, в яких ефективність бойової операції визначається не одним, а відразу кількома показниками, одні з яких потрібно зробити більшими, інші – меншими.

Розглянуто поняття багатоцільової задачі і сформульовано алгоритм одного з методів її розв'язку – методу послідовних поступок в комбінації з методом експертних оцінок. При цьому кожен з методів може розглядатися як окремий спосіб розв'язку тих чи інших стратегічних задач. Наведено і розв'язано приклад застосування зазначених методів при плануванні стратегії враження ворожих БПЛА. Оскільки наразі статистика воєнних операцій накопичується, то наголошено, що для підготовки висококваліфікованих операторів БПЛА статистичний матеріал потрібно регулярно аналізувати. Перспективою подальших досліджень у зазначеному напрямі є подібний аналіз, що дозволить визначати динаміку і закономірності змін воєнних операцій, і, зрештою, дозволить збільшити ефективність використання БПЛА нашими військовими в умовах бойових дій.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, види дронів, ймовірність знищення БПЛА, метод послідовних поступок, експертний метод.

### **Bondar O. P. About the strategy of impressing enemy UAVs**

The article emphasizes that Ukraine is currently faced with an acute problem of protecting its state system, in connection with which the Armed Forces of Ukraine have to repel attacks, in particular, by enemy aircraft, an essential part of which is the use of unmanned aerial vehicles. The necessity of training qualified UAV operators, which, together with their acquisition of skills in practical control of the device, should include the tasks of theoretical substantiation of the strategy and tactics of UAV use is indicated. This means that the future operator of drones must be able to formalize the practical task set before him, know rational algorithms for its solution, acquire the skills of quick and optimal solution. A statistical analysis of the types and purpose of enemy drones shot down recently by the Armed Forces of Ukraine was carried out. The specified types of combat operations, as elements of the strategy of impressing or damaging enemy UAVs. Namely, we are considering combat operations aimed at impressing enemy UAVs primarily with our UAVs directly or in combination with the described means of destroying drones. It is noted that in combat conditions there are often tasks of destroying the enemy, in which the effectiveness of the combat operation is determined not by one, but by several indicators at once, some of which should be made larger, others smaller. For example, it is necessary to plan a combat operation in such a way that as a result, a maximum of enemy drones are destroyed with the greatest possible damage to them, and at the same time, so that a minimum of our objects are hit with the least losses. Tasks in which several goals must be achieved at the same time are called multi-objective or multi-criteria tasks. In such problems, the goals are usually incompatible – a decision that maximizes one indicator usually does not minimize the other.

The concept of a multi-objective problem is considered and the algorithm of one of the methods of its solution is formulated – the method of successive concessions in combination with the method of expert evaluations. At the same time, each of the methods can be considered as a separate way of solving certain strategic problems. An example of the application of these methods in planning the strategy of impressing enemy UAVs is presented and solved. Since the statistics of military operations are currently being accumulated, it is emphasized that the statistical material should be regularly analyzed in order to train highly qualified UAV operators. The prospect of further research in this direction is a similar analysis that will allow us to determine the dynamics and patterns of changes in military operations, and, ultimately, will allow us to increase the effectiveness of the use of UAVs by our military in combat operations.

Key words: unmanned aerial vehicle, types of drones, probability of destruction of UAV, method of successive concessions, expert method.



**Постановка проблеми.** 2014 року перед Україною гостро постала проблема захисту свого державного устрою, яка з 24 лютого 2022 року набула ще більшої гостроти. Наразі військові дії Збройних Сил України (ЗСУ) відбуваються на певній території держави і її кордонах. При цьому нашим військовим доводиться мати справу, зокрема, з атаками авіації супротивника, суттєвою частиною яких наразі стало використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Відтак, аналіз сучасних засобів протидії безпілотним літальним апаратам, особливо, засобів знищення ворожих дронів сучасними БПЛА, а також визначення стратегії їх застосування ЗСУ є актуальною задачею сьогодення.

Звідси випливає проблема підготовки кваліфікованих операторів БПЛА. «В перші ж дні війни українське командування зіткнулося з дефіцитом професійних операторів, а бійці – з необхідністю управляти дронами без підготовки» [1]. Підготовка зазвичай полягає у вивченні майбутніми операторами дронів основ пілотування, тобто набуття ними навичок практичного управління безпілотниками.

Разом з цим підготовка має включати задачі теоретичного обґрунтування стратегії і тактики застосування БПЛА, тобто уміння знаходити і застосовувати раціональні алгоритми розв'язку задач, поставлених перед оператором дронів. Оптимальні розв'язки мають збільшити ефективність використання БПЛА нашими військовими в умовах бойових дій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз відкритих джерел інформації показав, що втрати російської армії під час активної фази бойових дій змінилися не тільки за кількістю, а і за якістю.

Так, за інформацією [2] про втрати військової техніки у російсько-українській війні, в перші 50 днів війни (з 24 лютого по 15 квітня 2022 року) було зафіксовано загальні втрати російської авіації у кількості 377 одиниць. З них 294 військові літаки і вертольоти, що склало 78%. Інші 83 одиниці БПЛА склали 22%.

За період такої ж тривалості з 1 листопада по 21 грудня 2022 року загальні втрати російської авіації зафіксовано у кількості 308 одиниць. З них тільки 21 одиниця військових літаків і вертольотів, що склало 7%.

Інші 287 одиниць знищеної ворожої авіації становлять БПЛА. В таблиці 1 показано їх кількість і призначення.

Відтак, порівняно із зазначеним першим періодом війни кількість збитих нами дронів суттєво збільшилась з 22% до 93%. А звідси природно випливає висновок про суттєве збільшення кількості і направлених ворогом на фронт безпілотників. Тому теперішній період бойових дій іноді називають війною безпілотників, а «дрони – ключовою зброєю великої війни» [1].

**Мета статті** полягає в наданні операторам безпілотних літальних апаратів понять про теоретичне обґрунтування стратегії враження ворожих БПЛА, про методи послідовних поступок і експертних оцінок розв'язку багатоцільової задачі бойової операції для підвищення кваліфікації операторів і збільшення ефективності використання БПЛА нашими військовими в умовах бойових дій.

Таблиця 1

**Втрати ворожих БПЛА з 1 листопада по 21 грудня 2022 року [2]**

Назва БПЛА	Кількість	Призначення
Shahed-131/ Shahed-136 («Герань-2»)	88	Дрони-камікадзе, застосовуються по кілька одночасно або хвилями і скеровуються на одну чи різні цілі
БПЛА / UAV operational-tactical level	186	Оперативно-тактичного призначення (не деталізується у [2])
«Орлан-10» «Орлан-30»	2 (наразі збільшується)	Багатоцільовий безпілотний авіаційний комплекс, призначений для повітряної розвідки і спостереження за локальними об'єктами у важкодоступній місцевості, здатний створювати карти місцевості в 3D
«Ланцет-3»	7	Дрон-камікадзе, баражуючий боєприпас
«Форпост»	1  (6 після 24.02)	Тактичний розвідувально-ударний безпілотний авіаційний комплекс, призначений для ведення повітряної розвідки, наведення і коректування вогню артилерії, нанесення ударів малокаліберними боєприпасами
«Оріон»	1	Призначений для візуальної, радіолокаційної або радіотехнічної розвідки з можливістю тривалого патрулювання в заданому районі, можлива установка до чотирьох ракет «повітря-земля»
«Гранат-3»	2	Застосовують для виконання розвідувальних та спеціальних завдань, зокрема, виявлення та передачі координат цілей для артилерійських підрозділів, може оснащуватися обладнанням для радіомоніторингу мереж стільникового зв'язку.
Всього	287	

**Виклад основного матеріалу.** Стратегія враження або пошкодження ворожих БПЛА формується завдяки сучасним засобам знищення безпілотних літальних апаратів, які поділяють на два взаємно пов'язані види [3].

По-перше, це механічне пошкодження або знищення БПЛА або його частин:

- певним зенітним комплексом, призначеним для відповідного ураження;
- гарматним озброєнням з сучасними боєприпасами, включаючи лазерні гармати;

- БПЛА-перехоплювачами та БПЛА-камікадзе;
- помповими рушницями зі спеціальними набоями.

По-друге, це пошкодження комп'ютерних програм налаштування дій безпілота з метою пошкодження або знищення зв'язку БПЛА з його оператором або з іншими зовнішніми орієнтирами, як то GPS, наземні точки прив'язки тощо:

- радіоелектронними системами (зокрема, гвинтівка DroneDefender);
- гарматами з СВЧ-випромінюванням.

Тут ми розглядаємо бойові операції, які направлені на враження ворожих БПЛА в першу чергу нашими БПЛА безпосередньо або в їх поєднанні з вище зазначеними засобами знищення безпілотників.

В бойових умовах часто зустрічаються задачі знищення БПЛА, в яких ефективність бойової операції визначається не одним, а відразу кількома показниками, одні з яких потрібно зробити більшими, інші – меншими.

Наприклад, потрібно так спланувати бойову операцію, щоб в результаті було знищено максимум ворожих безпілотників з якнайбільшими збитками для них, і разом з цим, щоб було вражено мінімум наших об'єктів з найменшими нашими втратами.

Задачі, в яких треба одночасно досягти кількох цілей, називаються багатоцільовими або багатокритеріальними. В таких задачах цілі зазвичай несумісні – рішення, що максимізує один показник, зазвичай не мінімізує інший.

Універсального методу розв'язання подібних задач не існує. Найбільш простим вважається природне або штучне виокремлення однієї цілі, досягнення якої, як правило, не є оптимальним для задачі в цілому.

Більш наближеним до практики, з нашої точки зору, є так званий метод послідовних поступок. Ми подамо алгоритм цього методу і розглянемо приклад його застосування при плануванні стратегій враження нами ворожих БПЛА.

Алгоритм методу

1. Показники ефективності розташовують у порядку зменшення їх важливості: спочатку основний показник, потім наступний і так далі в порядку зменшення їх значущості. Це спрощує розв'язок задачі, особливо коли алгоритм реалізується програмними засобами.

Визначити переваги одного показника порівняно з іншим іноді доволі складно. Особливо це стосується ймовірнісних показників. Наприклад, в залежності від типу ворожого дрона і місця його можливого влучання пріоритети наших цілей можуть змінюватись.

Якщо військові аналітики мають різні думки щодо упорядкування показників ефективності однотипних бойових операцій, то одним із способів упорядкування цілей є застосування експертного методу з участю аналітиків у якості експертів. Один з варіантів такого застосування показано нижче на прикладі.

2. Обирають рішення, оптимальне за першим критерієм, тобто рішення, яке забезпечує максимум (мінімум) основного показника ефективності.

3. Виходячи з практичних міркувань і точності вихідних даних призначається поступка для першого показника, яку можна допустити, щоб отримати рішення, оптимальне за другим показником.

4. Для другого показника в свою чергу призначається поступка, яку можна припустити для досягнення третьої цілі і так далі, поки не будуть розглянуті всі цілі.

Реалізація методу

*Приклад.* Нехай при аналізі значної кількості однотипних бойових операцій по знищенню ворожих дронів відомі показники ефективності цих операцій (табл. 2):

- ймовірність знищення або пошкодження нами ворожих БПЛА, яка має бути максимальною,
- ймовірність враження певних наших об'єктів, яка має бути мінімальною,
- наші втрати (кількість людей або кількість і вартість техніки, боєприпасів тощо), які мають бути мінімальними або відсутніми.

Таблиця 2

Показники ефективності бойових операцій (значення довільні)

Критерій ефективності/ Види однотипних бойових операцій	Ймовірність знищення ворожих БПЛА	Ймовірність враження певних наших об'єктів	Вартість нашої втраченої техніки, ум. од.
1	0,8	0,3	5
2	0,6	0,2	8
3	0,7	0,1	4
4	0,9	0,4	10
5	0,8	0,2	7
6	0,7	0,1	9
7	0,7	0,3	8
8	0,9	0,2	9

Треба обрати вид бойової операції, який забезпечує досягнення цілей в порядку їх значущості. За необхідності можна робити поступки:

- ймовірності знищення ворожих БПЛА на 0,1;
- вартості нашої втраченої техніки на 2 ум. од.

Однотипність і значна кількість бойових операцій є тут важливими, оскільки саме за цих умов є сенс використовувати поняття ймовірності.

Нехай відомо, що військові експерти не мають єдиної думки щодо пріоритету показників ефективності даних бойових операцій. Тоді їм пропонується розташувати зазначені цілі в порядку їх значущості – цифрою 1 позначити найважливішу ціль, цифрою 3 – найменш важливу серед трьох.

В таблиці 3 подано приклад позначення десятма експертами показників ефективності за цими рангами.

Таблиця 3

**Експертні оцінки пріоритетів цілей однотипних бойових операцій (значення довільні)**

Показники ефективності / Експерти	Ймовірність знищення ворожих БПЛА	Ймовірність враження певних наших об'єктів	Вартість нашої втраченої техніки, ум. од.
1	1	3	2
2	3	1	2
3	1	2	3
4	2	3	1
5	3	1	2
6	1	2	3
7	2	3	1
8	1	3	2
9	1	3	2
10	2	1	3

Пріоритети цілей визначимо за середнім арифметичним і медіаною їх рангів, позначених експертами.

В даному прикладі середнє арифметичне рангів ймовірності знищення ворожих БПЛА дорівнює 1,7, ймовірності враження певних наших об'єктів дорівнює 2,2, вартості нашої втраченої техніки дорівнює 2,1. Медіана рангів відповідно дорівнює 1,5, 2,5, 2.

Виявилось, що і за середнім арифметичним і за медіаною головною ціллю є максимізація ймовірності знищення ворожих БПЛА, наступною ціллю є мінімізація вартості нашої втраченої техніки, і крайньою з трьох цілей є мінімізація ймовірності враження певних наших об'єктів. Відтак, в таблиці 4 ми розташували показники ефективності в порядку зменшення їх важливості.

Обираємо види бойових операцій, оптимальні за першим критерієм, тобто види, які забезпечують максимальну ймовірність

$$\max \{0, 8; 0, 6; 0, 7; 0, 9; 0, 8; 0, 7; 0, 7; 0, 9\} = 0, 9$$

знищення або пошкодження нами ворожих БПЛА. Це 4-й і 8-й види (табл. 4).

Але при цьому вартість нашої втраченої техніки є дуже великою.

Тому за умовою ми готові зменшити ймовірність на 0,1, тобто до 0,8 для того, щоб вартість нашої втраченої техніки була меншою. Тоді серед уже виділених видів за цією поступкою виділяються 1-й, 4-й, 5-й і 8-й види операцій.

З вартостей нашої втраченої техніки в цих операціях виділяємо найменшу:

$$\min \{5, 10, 7, 9\} = 5.$$

Вона стосується першого виду. За умовою ми можемо збільшити цю вартість на 2 ум. од., тобто до 7 ум. од. Серед раніше виділених видів операцій цій поступці задовольняють тільки перший та 5-тий. Тоді серед відповідних ймовірностей враження наших об'єктів мінімальною буде 0,2:

$$\min\{0,3; 0,2\} = 0,2.$$

Вона відповідає 5-му виду. Це означає, що мінімальна ймовірність 0,2 враження наших об'єктів, при заданому діапазоні максимальної ймовірності знищення ворожих БПЛА і заданому діапазоні мінімальної вартості нашої втраченої техніки може бути досягнута при проведенні 5-го виду бойової операції.

## Демонстрація методу послідовних поступок

Критерій/ Види однотипних бойових операцій	Ймовірність знищення ворожих БПЛА	Вартість нашої втраченої техніки, ум. од.	Ймовірність враження певних наших об'єктів
1	0,8	min 5	0,3
2	0,6	8	0,2
3	0,7	4	0,1
4	max 0,9	10	0,4
5	0,8	7	min 0,2
6	0,7	9	0,1
7	0,7	8	0,3
8	max 0,9	9	0,2

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.** Нами розглянуто теоретичні методи послідовних поступок і експертних оцінок розв'язку багатоцільових задач бойових операцій з враження ворожих БПЛА з точки зору практичного застосування цих методів.

Але з кожним днем війни статистика воєнних операцій накопичується і тому для підготовки висококваліфікованих операторів БПЛА статистичний матеріал потрібно наразі регулярно аналізувати:

- систематизувати,
- відслідковувати динаміку змін,
- знаходити закономірності для ефективного прогнозування.

У військових аналітиків є можливість опрацьовувати інформацію також із закритих джерел для отримання, зокрема, суттєво наближених до реальності ймовірностей тих чи інших складових воєнних операцій.

**Список використаних джерел:**

1. Фролов А. Три правила перемоги. Як школи дронів готують операторів для фронту. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/09/29/691996/>
2. Втрати військової техніки у російсько-українській війні. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Втрати\\_військової\\_техніки\\_у\\_російсько-українській\\_війні\\_\(з\\_2014\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Втрати_військової_техніки_у_російсько-українській_війні_(з_2014))
3. Корольов Р.В., Корольок Н.О., Петров О.В., Сюлев К.В. Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів, ХНУПС. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2017/10/zasoby-proty-bpla.html>

**References:**

1. Frolov A. Three rules of victory. How drone schools prepare operators for the front. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/09/29/691996/>
2. Losses of military equipment in the Russian-Ukrainian war. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Losses\\_of\\_military\\_technique\\_in\\_the\\_Russian-Ukrainian\\_war\\_\(since\\_2014\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Losses_of_military_technique_in_the_Russian-Ukrainian_war_(since_2014))
3. Korolev R.V., Koroliuk N.O., Petrov O.V., Syulev K.V. Analysis of modern means of destroying unmanned aerial vehicles, KhNUPS. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2017/10/zasoby-proty-bpla.html>

**Дідусенко В. В.**, магістрант  
Українського державного університету залізничного транспорту  
ORCID: 0009-0008-6479-263X

**Кравченко М. А.**, аспірант  
Українського державного університету залізничного транспорту  
ORCID: 0000-0001-7445-8952

**Золотарьов С. А.**, аспірант  
Українського державного університету залізничного транспорту  
ORCID: 0009-0001-5951-4589

**Прохорченко Г. О.**, кандидат технічних наук, доцент  
Українського державного університету залізничного транспорту  
ORCID: 0000-0003-1158-3953

## ДОСЛІДЖЕННЯ КРОС-КОРДОННИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТА ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

У статті досліджено крос-кордонні перевезення зернових вантажів автомобільним та залізничним транспортом. З метою проведення детального аналізу досліджено організацію перевезення зерна з України в Німеччину залізничним та автомобільним транспортом за маршрутом Луків, Україна – Росток, Німеччина. Проаналізовано час перевезення вантажу на маршруті з розподілом за видами операцій: – час під вантажними та митними операціями; простій під технічними операціями та час в русі. Розраховані маршрутна та ходова швидкість перевезення зерна автомобільним та залізничним транспортом. Виявлено основні «вузькі місця» в технології крос-кордонних перевезень зернових вантажів з України. Для комплексної оцінки переваг і недоліків використання залізничного або автомобільного транспорту для перевезення зернових вантажів розрахована вартість за маршрутом, що досліджувався. Виконано порівняльний аналіз вартості перевезення зерна при виборі різних схем перевезення. Побудовано залежності вартості перевезення від відстані. Знайдені області економічної доцільності використання автомобільного транспорту у порівнянні із залізничним. Порівняльний аналіз тарифних систем перевезення зернових вантажів на великі відстані в експортному сполученні різних залізничних компаній перевізників з варіантами перевезення автомобільним транспортом засвідчив конкурентоспроможність автотранспортного тарифу в зоні перевезення до 130 км. На основі розрахованих за публічними тарифами залежностей величин тарифу перевезення 1 тону зерна залізничними компаніями-перевізниками та автотранспортом від відстані перевезення виявлені зони економічної доцільності використання автотранспорту. Перша зона доцільності використання автотранспорту у порівнянні з найнижчим залізничним тарифом DB Cargo Polska S.A. знаходиться в межах 50 км. Друга зона за тарифом АТ «Укрзалізниця» – до 94 км. Третя зона за РКР Cargo S.A. – до 130 км. Зроблено висновок щодо ефективності транскордонних перевезень зернових вантажів автомобільним та залізничним транспортом з України в Німеччину.

Ключові слова: крос-кордонні перевезення, маршрут, тривалість операцій, автомобільний транспорт, залізниця.

**Didusenko V. V., Kravchenko M. A., Zolotarov S. A., Prokhorchenko H. O. The study of the cross-border transportation of grain cargo by road and rail**

The article examines the cross-border transportation of grain cargo by road and rail. In order to conduct a detailed analysis, the organization of grain transportation from Ukraine to Germany by rail and road on the route Lukiv, Ukraine – Rostock, Germany is studied. The article analyzes the time of cargo transportation on the route with a breakdown by type of operation: – time under cargo and customs operations; downtime under technical operations; and time in motion. The route and running speeds of grain transportation by road and rail are calculated. The main «bottlenecks» in the technology of cross-border transportation of grain cargo from Ukraine are identified. For a comprehensive assessment of the advantages and disadvantages of using rail or road transport for the transportation of grain cargo, the cost of the route under study was calculated. A comparative analysis of the cost of grain transportation when choosing different transportation schemes is carried out. The dependence of the cost of transportation on the distance is constructed. The areas of economic feasibility of using road transport in comparison with rail transport are found. A comparative analysis of the tariff systems for long-distance grain transportation in the export traffic of various railway carriers with options for transportation by road has shown the competitiveness of the road tariff in the transportation area up to 130 km. Based on the dependencies of the tariff for the transportation of 1 ton of grain by railroad carriers and road transport on the transportation distance calculated according to public tariffs, the author identified zones of

© В. В. Дідусенко, М. А. Кравченко, С. А. Золотарьов, Г. О. Прохорченко, 2022



---

*economic feasibility of using road transport. The first zone of expediency of using road transport compared to the lowest railroad tariff of DB Cargo Polska S.A. is within 50 km. The second zone according to the tariff of JSC Ukrzaliznytsia is up to 94 km. The third zone according to PKP Cargo S.A. is up to 130 km. The article concludes that cross-border transportation of grain cargoes by road and rail from Ukraine to Germany is efficient.*

*Key words: cross-border transportation, route, duration of operations, road transport, railway.*

**Постановка проблеми.** Україна є одним з провідних експортерів зерна та олійних культур у світі. Вагома частка експорту зернових культур завжди припадала на морські порти, однак після початку широкомасштабної російської агресії 24 лютого 2022 року частина територій України була окупована з Півночі, Сходу та Півдня. Були втрачені порти Маріуполь, Бердянськ та заблоковані чорноморські порти України. Змінилася схема просторового направлення вагонопотоків. Всі вантажопотоки були спрямовані на західні кордони України. Залишився лише сухопутний напрям імпорту та експорту. Ситуація покращилась з 22 липня 2022 року після ініціативи ООН, Туреччини та всього цивілізованого світу – змусивши розблокувати три порти – «Одеса», «Чорноморськ» та «Південний» та відкрити зерновий коридор з вивозу агропродукції для уникнення голоду в найбільш вразливих країнах світу. Станом на кінець грудня за коридором експортовано близько 17,4 млн. тонн агропродукції [1]. Однак, збої в роботі зернового коридору та значні ризики спонукають вантажовласників й далі до пошуку альтернативних маршрутів перевезень через сухопутний західний кордон України в Європу.

Одним із важливих напрямів експорту агропродукції є маршрути в межах так званих «шляхів солідарності» через територію Польщі до портів Німеччини. Станом на кінець жовтня 2022 р. через територію Польщі транспортування українського зерна сягало близько 452 тис. тонн, що на 50% більше, ніж у середині року [1]. Однак галузеві аналітики та експерти стверджують, що транспортування зерна залізницею з України до сусідньої Польщі є повільним і дорогим з кількох причин: громіздкий прикордонний контроль, необхідність перевантажувати поїзди через різну ширину колії, неадекватне перевантажувальне обладнання, обмежений склад на кордоні та парк залізниць, низька пропускна спроможність і повільний рух залізничних вантажів [2]. Тому важливим завданням постало удосконалення організації крос-кордонних вантажних перевезень в експортному сполученні сухопутним транспортом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Прямий зв'язок між транспортом та економічною продуктивністю та постійне зростання транснаціональних комерційних угод є унікальною можливістю для країн, що розвиваються, підняти свою економіку завдяки швидкій і надійній транспортній діяльності [3-5]. У статті [3] представлено набір показників та інструментів, які дозволяють вимірювати доступність та зв'язок регіонів Європи як на національному, так і на міжнародному рівнях. Встановлено, що важливо аналізувати дані щодо фактичних перевезень для визначення пріоритетності потенційних інвестицій. Однак, в даній роботі не враховано технологічних проблем, таких як перевантаження при транскордонному транспортуванні вантажу на великі відстані. На противагу цьому у наступній проаналізованій роботі [4] порушено це питання на прикладі перевізника в Колумбії, Латинська Америка. Розглянуті основні проблеми, з якими стикаються компанії при транскордонних перевезеннях – часові вікна, величезний автопарк і різні правила транспортування в різних країнах. Запропоновано за допомогою моделювання порівнювати конкуруючі варіанти перевезення та знаходити більш оптимальні схеми перевезень. Запропоновані методи довели свою перевагу над підходом рішення, застосованим перевізником, показавши, що можна отримати значні переваги.

При транскордонних перевезеннях вантажів на великі відстані гостро постає проблема вибору способу транспортування та виду транспорту. Щоб полегшити процес прийняття рішень, у статті [5] запропоновано підхід до вибору сталого способу транспортування під час торгівлі із західними країнами ЄС за допомогою методів багатокритеріального прийняття рішень MCDM (англ. Multi-Criteria Decision-Making). У даній роботі було розглянуто дев'ять критеріїв і п'ять альтернатив для реалізації перевезення з Сербії до Німеччини. Результати описаної методології показали, що автомобільний транспорт (через пункт пропуску Хоргош) виявився альтернативою з найкращим значенням, тоді як через пункт пропуску Батровці він показав найнижче значення.

Проте, слід пам'ятати, що головним конкурентом автомобільному транспорту є залізничний. У науковій роботі [6] досліджено витрати та ціни обох видів транспорту і використано узагальнені витрати для врахування параметрів якості послуг. Встановлено, що залізничні послуги мають перевагу над автомобільним транспортом на основі чистих транспортних витрат на середні та великі відстані. Однак на узагальненій основі витрат автомобільний транспорт має перевагу навіть на великі відстані.

У роботі [7] на прикладі Нігерії доведено перевагу ефективності залізничного транспорту в секторі вантажних перевезень. Порівняльний аналіз продуктивності автомобільного та залізничного транспорту показує, що автомобільний транспорт працює краще за всіма показниками, крім двох, а саме, вантажних тонно-кілометрів, переміщених за годину руху транспортного засобу, та перевізної спроможності на одиницю спожитої енергії. До того ж, такі показники ефективності, як абсолютна провізна спроможність вантажів, виконані вантажні тонно-кілометри, швидкість, пропускна спроможність вантажів на одиницю витрат на експлуатацію та дохід на тонну вантажів, відають перевагу автомобілям над залізницею. Зрозуміло, що



---

порівняльна перевага залізниці пов'язана з провізною спроможністю, але вантажовідправники перш за все шукають швидкість, яка скорочує час обороту транспортних засобів, тому через це великою популярністю користуються автотранспортні перевезення.

Окрім поданих вище досліджень, в роботі [8] ретельно досліджено питання конкуренції на субринках вантажних перевезень. Перш за все велика увага приділяється структурі витрат на автомобільні та залізничні вантажні перевезення. Якщо, наприклад, залізниця не зможе конкурувати за ціною, якістю, яку вона може запропонувати, не представлятиме інтересу, оскільки автомобільні перевезення зазвичай можуть запропонувати достатню якість. Однак, якщо залізничні перевезення будуть економічно конкурентоспроможними, це має включати достатньо високий рівень якості. Один загальний висновок, який ми можемо зробити з наведеного вище аналізу, полягає в тому, що залізничні перевезення майже завжди дешевші, ніж вантажні автомобільні перевезення, коли йдеться про перевезення загалом, але натомість їх постійні витрати та витрати на транспортування вищі. Залізничні перевезення часто є конкурентоспроможними у випадку, коли вантаж прямує безпосередньо від відправника або терміналу до іншого терміналу або вантажоодержувача з доступом до залізниці, де може бути виконана ефективна обробка. Проте, якщо виникають додаткові витрати на транспортування або маневрові роботи, це часто робить залізничне перевезення неконкурентоспроможним, тому економічно доцільніше в такому випадку перевозити вантаж на маршруті вантажівкою.

Окремим напрямом удосконалення транскордонних перевезень вантажів на великі відстані є дослідження схем мультимодальних перевезень [9,10]. Питання комбінованих залізнично-автомобільних перевезень порушено у науковій роботі [10]. Вважається, що за певних умов комбіновані перевезення можуть стати хорошою альтернативою автомобільним перевезенням.

Як зазначено вище, у галузі вантажних перевезень конкуренція автомобільного та залізничного транспорту присутня вже кілька десятиліть і з часом лише загострюється. Обидва види транспорту мають свої переваги та недоліки за певними критеріями і вимогами замовника транспортної послуги, іноді альтернативою можуть бути організовані комбіновані залізнично-автомобільні вантажні перевезення, особливо на великі відстані. Географічне положення України та збільшення попиту щодо сухопутних транспортних крос-кордонних перевезень з України в країни Європейського Союзу сприяють розвитку транспортної галузі нашої країни. Отже, проведення досліджень вибору організації способу перевезень масових вантажів, зокрема зернових, на великі відстані в експортному сполученні є актуальним.

**Мета статті.** Метою дослідження є підвищення ефективності транскордонних перевезень зернових вантажів на основі порівняльного аналізу якісних та вартісних показників транспортування зерна з України в Німеччину залізничним та автомобільним транспортом. Це дозволить дослідити різні схеми організації перевезень зернових вантажів на великі відстані в експортному сполученні.

Для досягнення заявленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати тривалість перевезення з України в Німеччину залізничним та автомобільним транспортом. Дослідити тривалість операцій на маршруті та виявити конкурентні переваги різних видів транспорту, що досліджуються;
- провести розрахунок вартості доставки за різними схемами перевезень вантажу залізничним та автомобільним транспортом;
- дослідити тарифні системи перевезення зернових вантажів на великі відстані в експортному сполученні різних залізничних компаній перевізників та порівняти з варіантами перевезення автомобільним транспортом.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення дослідження в роботі запропоновано проаналізувати перевезення зернових вантажів за маршрутом з Луків (станція Мацеїв) Україна до Росток Німеччина. Враховуючи, що зерно є масовим вантажем, в роботі запропоновано для наближення до практичних завдань проаналізувати перевезення 1800 тонн зерна. При міжнародних перевезеннях вантажів на великі відстані у великому обсязі запропоновано порівняти два види перевезень – залізничне та автомобільне – та визначити, яким транспортом вигідніше здійснювати перевезення.

На рисунку 1 наведено залізничний маршрут Луків-Дорогуськ-Росток та тривалість операцій з поїздом. Слід зазначити, що більша частина маршруту проходить територіями двох країн, які входять до складу Європейського Союзу – Польща (транзитом) і Німеччина (країна призначення). Даний маршрут проходить коліями залізничного вантажного коридору Північне море – Балтика – RFC №8 (анг. Rail Freight Corridors) [11], який входить до складу Транс'європейської транспортної мережі TEN-T (англ. The Trans-European Transport Network) [12]. Відстань маршруту від станції Мацеїв до станції Дорогуськ становить 96 км, а від Дорогуська до Росток становить 1044 км. Загальна довжина залізничного маршруту Мацеїв-Росток – 1140 км.

Виходячи з аналізу реального відправлення вантажного поїзда в дослідженні прийнято, що тривалість перевезення зі станції Мацеїв (Луків) до Дорогуська займає близько 2 діб (45,53 год), що включає в себе процес навантаження в Україні та передачу вагонів іноземному перевізнику, оформлення митних документів, транзитної декларації Т1.

Для порівняння необхідно проаналізувати маршрут Луків-Росток при здійсненні перевезення автомобільним транспортом. Протяжність автомагістралей та залізничних ліній різняться для одного і того ж

напрямку, адже це два окремих об'єкти інфраструктури. Загальна довжина маршруту Луків-Росток автошляхами складає – 1124,4 км. Відповідно до встановлених максимальних швидкостей на автомагістралях згідно п.12.6г Правил дорожнього руху України [13] та Європи (в даному випадку стосовно Польщі та Німеччини) [14] для розрахунку прийнято середню ходову швидкість вантажного автомобіля з урахуванням розгону та уповільнення 80 км/год і завантаженням 24 тонни. Окрім контролю швидкості при здійсненні автотранспортних перевезень важливо врахувати жорсткі обмеження робочого часу водія [15]. Прийнято середню тривалість проходження митного контролю близько однієї доби. Відповідно до вище зазначених умов було проведено розрахунок тривалості руху вантажівки на маршруті (див. рис. 2).

Таким чином можна розрахувати загальний час на здійснення рейсу автомобільним транспортом за маршрутом Луків-Росток при проходженні митного контролю на прикордонному переході Ягодин-Дорогуськ, який становить близько доби (точного часу проходження митного контролю вирахувати вкрай складно, адже залежить це від багатьох факторів і щодня тривалість черги змінюється). Діаграми тривалості перевезення з розбивкою за операціями на маршруті Мацеїв (Луків) – Росток залізничним та автомобільним транспортом наведені на рис. 3.

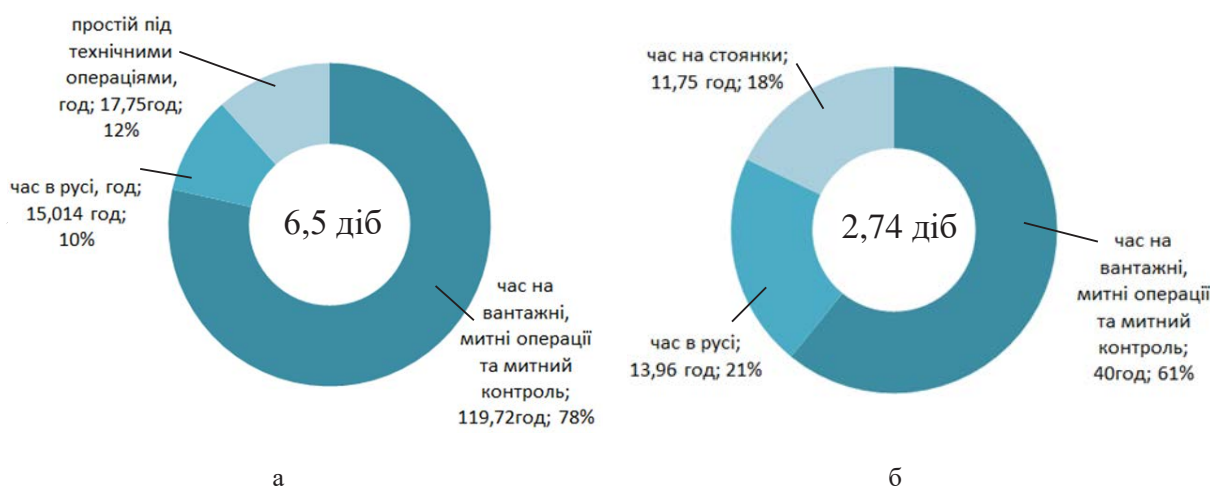
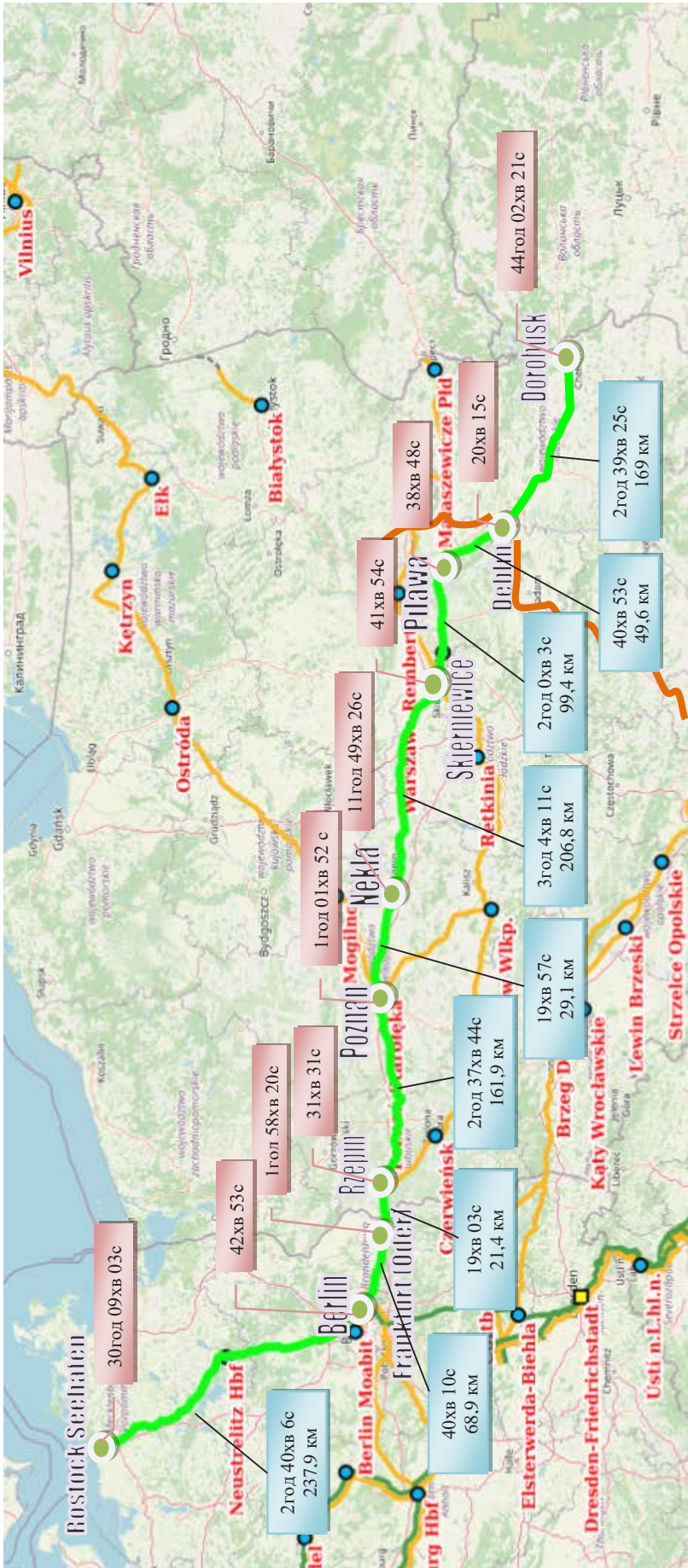


Рис. 3. Загальна тривалість перевезення з розбивкою за операціями на маршруті Мацеїв (Луків) – Росток: а – залізничний транспорт; б – автомобільний транспорт

Для комплексного аналізу в дослідженні запропоновано провести розрахунок базового тарифу за перевезення за різними схемами. При перевезенні залізницею запропоновано розглянути три схеми. Враховуючи, що інформація щодо тарифів компаній перевізників не завжди оприлюднюється, запропоновано для розрахунку використати тарифи на сайтах таких залізничних компаній як національного польського перевізника PKP Cargo S.A. [16], німецького національного перевізника DB Cargo AG [17] та його дочірньої компанії у Польщі DB Cargo Polska S.A. [18]. При розрахунку вартості враховувалось вагонами якого перевізника здійснюється перевезення та який перевізник здійснює перевезення відповідною залізничною мережею. До того ж, до базового тарифу включаються додаткові збори: плата за маневрову роботу на проміжних станціях, оформлення митної та транзитної декларацій, заявки на офіційний прикордонний контроль, доставку і збір документів до і після контролю на прикордонному переході тощо. Згідно з нормативними вимогами при розрахунках прийняте тонно-осьове навантаження вагона не більше 20 т на вісь. Допустиме завантаження:  $20\text{т}/\text{вісь} \times 4\text{вісей} = 80\text{т} - 23,5\text{т} = 56,5\text{т}$ . Курс 1 польський злотий (PLN) за 0,21 євро (EUR). Враховуючи вихідну умову, прийнято до розрахунку состав поїзда з 32 вагонів. Схема 1 передбачає перевезення вагонами DB Cargo Polska S.A. на всьому маршруті. Схема 2 передбачає перевезення вагонами PKP Cargo S.A. на всьому маршруті. Схема 3 – перевезення вагонами та локомотивом PKP Cargo S.A., але на мережі оператора інфраструктури Німеччини частина маршруту Ржепін-Росток локомотив DB Cargo AG (знижка 15% від базового тарифу для приватних вагонів). Згідно до публічних тарифів розрахунки показали, що в залежності від схеми перевезення вартість залізничного перевезення може коливатись в межах 102-150 євро/т. Слід зазначити, що при знижках на обсяг і регулярність від залізничних перевізників можна очікувати зниження тарифу, де вартість перевезення може коливати від 50 до 75 євро/т для заданого маршруту та обсягу.

Для проведення розрахунку вартості перевезення автотранспортом було досліджено ринок автоперевезень та визначено, що станом на жовтень 2022 року серед європейських автоперевізників вартість перевезення зернових культур в межах ЄС становить близько 2-2,5 євро/км, а експедиція цього самого вантажу буде коштувати близько 3 євро/км. Коли організовується перевезення з України в Європу, то ставка збільшується приблизно на 1 євро/км через ускладнення перевезення митними формальностями та чергами на кордоні,



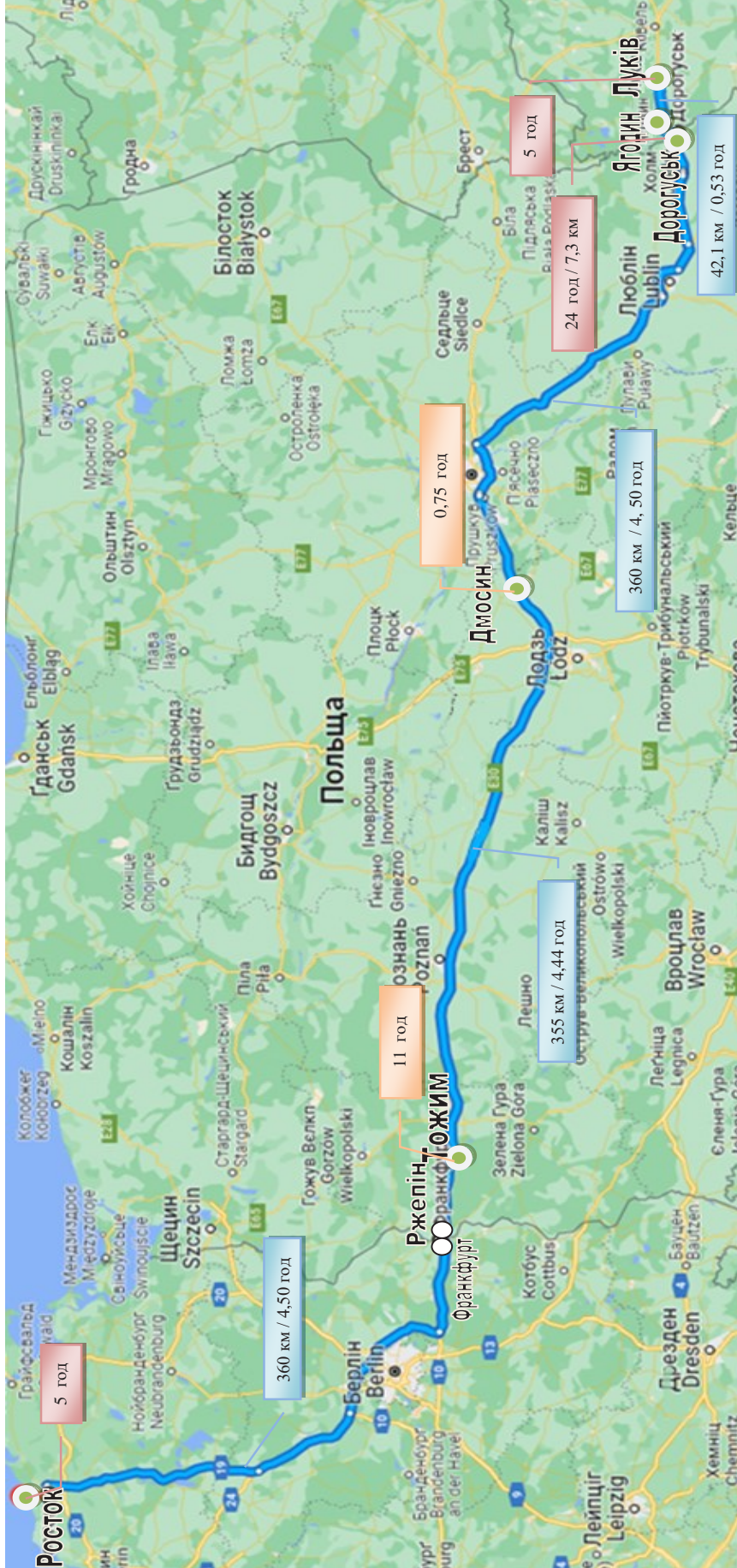


**Легенда**




- основні залізничні станції за маршрутом Луків-Дорогуськ-Росток
- залізничний маршрут Луків-Дорогуськ-Росток
- частина залізничного вантажного коридору RFC 8 (Північне море – Балтика)
- 19хв 03с 21,4 км
- 20 хв 15с
- частина залізничного вантажного коридору RFC 7 (Схід-Середній Схід)
- частина залізничного вантажного коридору RFC 11 (Бурштиновий)
- 19хв 57с 29,1 км
- 2 год 37хв 44с 161,9 км
- 3 год 4хв 11с 206,8 км
- 2 год 0хв 3с 99,4 км
- 40хв 53с 49,6 км
- 2 год 39хв 25с 169 км

Рис. 1. Залізничний маршрут за напрямком Мацеїв (Луків)-Дорогуськ-Росток та тривалість операцій з поїздом





**Легенда**

-  - час в русі та відстань між зупинками
-  - час на митні операції та митний контроль
-  - час на стоянки авто



-  - автомобільний маршрут Лувків - Росток
-  - зупинки на маршруті Лувків - Росток

Рис. 2. Автомобільний маршрут за напрямком Лувків-Дорогуєвськ-Росток та тривалість операцій

відповідно 3-3,5 та 4 євро/км. В будь-якому випадку, при простоях автотранспорту більше однієї доби від зазначеного терміну за договором, замовник має заплатити перевізнику штраф у розмірі, зазначеному в договорі ( в основному 100 євро/добу). Виходячи з таких умов, запропоновано розрахувати схему 4, за якою вартість перевезення буде відповідати оптимістичному варіанту 3,5 євро/км та схему 3, за якою експедиція буде 4 євро/км. Порівняльний аналіз вартості перевезення залізницею та автотранспортом наведено на рис. 4.



Рис. 4. Порівняльний аналіз вартості перевезення на маршруті Мацеїв (Луків)-Дорогуськ-Росток залізницею за різними схема

Окрім, аналізу вартості перевезення за чітко визначеним маршрутом в роботі запропоновано дослідити тарифні системи перевезення зернових вантажів на різні відстані в експортному сполученні вище згаданих залізничних компаній перевізників та порівняти з варіантами перевезення автомобільним транспортом. В роботі для ширшого порівняння додано розрахункову вартість перевезення згідно до діючої тарифної системи АТ «Укрзалізниця». Слід зазначити, що хоч і за визначеними маршрутами слідування вагонів зерновозів перевізника АТ «Укрзалізниця» з перестановкою візків коліями оператора інфраструктури PKP PLK S.A. у Польщі дозволено, але станом на жовтень 2022 року дозвіл на рух мережею Німеччини не вирішений. За таких умов, порівняльний аналіз більш теоретичний, але з практичної сторони може бути використаний в межах порівняння перевезень за іншими маршрутами.

Для визначення вартості перевезення зерна у вагонах перевізника АТ «Укрзалізниця» проведено розрахунок всіх складових тарифу. Розрахунок проведено для хоппер-зерновозів завантаженням 65 т; состав необхідний для перевезення 1800т зерна 28 вагонів; курс 35,6379 грн (UAH) за 1 євро (EUR). Інфраструктурну складову розраховано згідно схем 14 та 2 Збірника тарифів [19]. Коефіцієнти до Збірника тарифів приймалися згідно Ц-3-91/1011-22 від 28.06.2022 р. [20]. Розрахунок плати за користування вагонів перевізника були прийняті згідно до оприлюднених фактичних ставок плати за використання власних вагонів Перевізника (Спл = 2617 грн) у вантажному та порожньому рейсах по території України та за межами України у період з 01.10.2022 р по 31.10.2022 р. (таблиця 1 Додатку 1-2 до Договору); середня швидкість перевезення власного вагону Перевізника за одну добу (км/добу) ( $V_{ср} = 320$  км) [21]. Діаграма залежності величини тарифу перевезення 1 тонни зерна залізничними компаніями-перевізниками та автотранспортом від відстані перевезення наведена на рис. 5.

Результати порівняльного аналізу доводять досить великий діапазон коливань тарифних пропозицій. Найменш конкурентним виявився тариф DB Cargo A.G., зона доцільності здійснення перевезення автотранспортом за песимістичним тарифом за 4 євро/км досягається лише за 950 км. Слід зазначити, що опублікована схема все ж передбачає зменшення тарифу у випадку проведення переговорних домовленостей, що будуть передбачати гарантійні зобов'язання регулярних перевезень великих обсягів. Конкурентоспроможність автотранспортного тарифу із залізничними лежить в зоні перевезення до 130 км (див. рис. 1.6). Перша зона доцільності використання автотранспорту у порівнянні з найнижчим залізничним тарифом DB Cargo Polska S.A. знаходиться в межах 50 км. Друга зона за тарифом АТ «Укрзалізниця» – до 94 км. Третя зона за PKP Cargo S.A. – до 130 км.

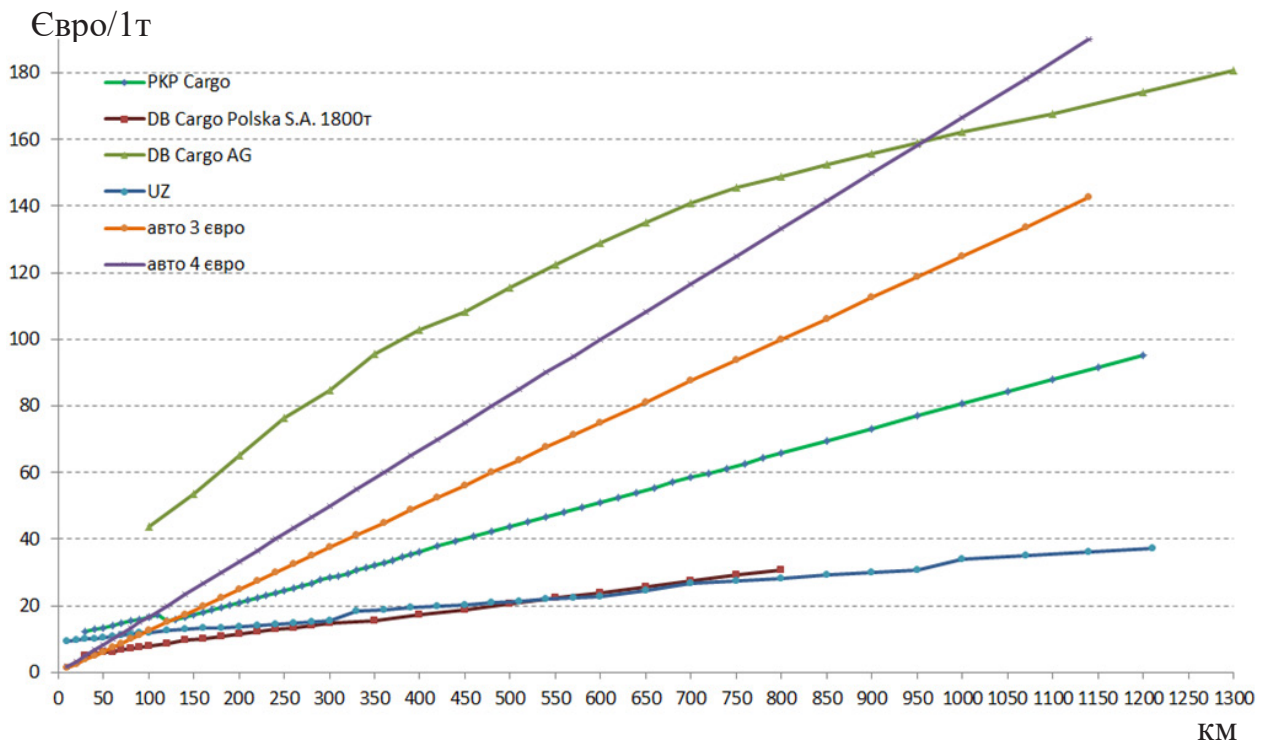


Рис. 5. Діаграма залежності величини тарифу перевезення 1 тонни зерна залізничними компаніями-перевізниками та автотранспортом від відстані перевезення

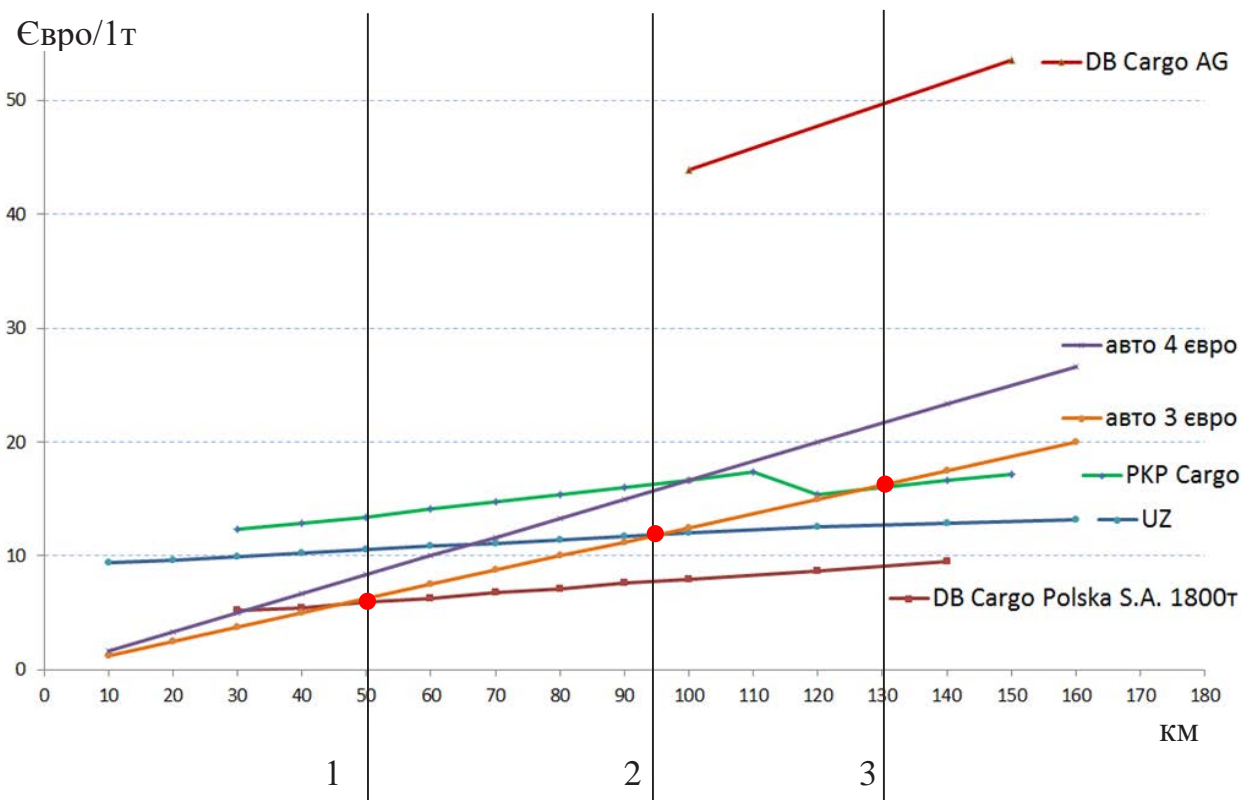


Рис. 6. Зони доцільності перевезення автотранспортом на діаграмі залежності величини тарифу перевезення 1 тонни зерна залізничними компаніями-перевізниками та автотранспортом від відстані перевезення



---

**Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.** Результати аналізу тривалості перевезення з України в Німеччину залізничним та автомобільним транспортом доводить, що перевагою автомобільного транспорту є швидкість та гнучкість. Тривалість руху на маршруті Мацеїв (Лукив) – Росток залізницею складає 6,5 діб, тоді як вантажівкою – 2,74 діб. Перевага у швидкості доставки є досить відчутною при невеликих обсягах перевезень зернових. Порівнюючи строк доставки 1800 тонн зерна одразу залізниця стає більш конкурентоспроможною, адже за одне відправлення здійснюється перевезення всієї партії одним поїздом у 32 вагони. За таких же умов автотранспортом, що має можливість за одну їзду автовантажівки забрати лише 24 тонни з врахуванням 12 їздок за добу, тривалість перевезення всієї партії складе 20,25 діб. Це значно довше за залізницю.

Проведені розрахунки вартості доставки за різними схемами перевезень вантажу залізничним та автомобільним транспортом на маршруті Мацеїв (Лукив) – Росток виявили, що залізничні перевезення в залежності від перевізника мають вартість перевезення меншу за автотранспорт. Залізницею вартість перевезення може коливатись в межах 102-150 євро/т, а при знижках від перевізників до 75 євро/т для заданого маршруту та обсягу 1800т. Автомобільним – 160-187 євро/т.

Порівняльний аналіз тарифних систем перевезення зернових вантажів на великі відстані в експортному сполученні різних залізничних компаній перевізників з варіантами перевезення автомобільним транспортом засвідчив конкурентоспроможність автотранспортного тарифу в зоні перевезення до 130 км. На основі розрахованих за публічними тарифами залежностей величин тарифу перевезення 1 тонни зерна залізничними компаніями-перевізниками та автотранспортом від відстані перевезення виявлені зони економічної доцільності використання автотранспорту. Перша зона доцільності використання автотранспорту у порівнянні з найнижчим залізничним тарифом DB Cargo Polska S.A. знаходиться в межах 50 км. Друга зона за тарифом АТ «Укрзалізниця» – до 94 км. Третя зона за РКР Cargo S.A. – до 130 км.

Проведені розрахунки в даному дослідженні та виявлені закономірності є наближеними, але дозволяють до початку перевезень оцінити якісні та економічні критерії ефективності крос-кордонних перевезень зернових вантажів автомобільним та залізничним транспортом з України в Німеччину. Доведена ефективність залізничних перевезень при організації не менше повноскладового поїзда для відправлення в експортному сполученні, важливо приділити увагу технологіям перевезень зернових вантажів на основі організації ступеневих маршрутів. Це дозволить на мережі АТ «Укрзалізниця» об'єднувати групові відправки в маршрутні поїзди та підводити до прикордонних станцій укрупнені групи, що значно зменшить вартість транспортування в експортному сполученні.

#### **Список використаних джерел:**

1. Thomson Reuters. Веб-сайт «Ukrainian grain exports via Poland rise by 50%, minister says», November 30, 2022. URL: <https://www.reuters.com/markets/commodities/ukrainian-grain-exports-via-poland-rise-by-50-minister-says-2022-11-30/> (дата звернення 06.12.2022)
2. Thomson Reuters. Pavel Polityuk, Marek Strzelecki and Maytaal Angel «Analysis: Ukraine lacks viable plan B to boost grain exports via rail, road or river», November 17, 2022 URL: <https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-lacks-viable-plan-b-boost-grain-exports-via-rail-road-or-river-2022-11-17/> (дата звернення 06.12.2022)
3. Aris Christodoulou & Panayotis Christidis, «Cross-border transport infrastructure in the EU» JRC Research Reports JRC113364, Joint Research Centre (Seville site), 2019. URL: <https://ideas.repec.org/p/ipt/iptwpa/jrc113364.html> (дата звернення 06.12.2022)
4. Pemberthy R. J. I.; Muriel-Villegas J. E.; Correa-Espinal A. A. A cross-border, long haul freight transportation problem with transshipments. *International Journal of Logistics Systems and Management*. 2019. Vol. 32(3/4). P.437-464. URL: [https://www.researchgate.net/publication/331559241\\_A\\_cross-border\\_long\\_haul\\_freight\\_transportation\\_problem\\_with\\_transshipments](https://www.researchgate.net/publication/331559241_A_cross-border_long_haul_freight_transportation_problem_with_transshipments) (дата звернення 06.12.2022)
5. Pajic V., Andrejic M., Kilibarda M. Sustainable transportation mode selection from the freight forwarder's perspective in trading with western EU countries. *Sustainable Futures*. 2022. Vol. 4. 100090. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666188822000247> (дата звернення 06.12.2022)
6. Shinghal N. *Economic and Political Weekly*. 2005. Vol. 40, No. 25, pp. 2587-2593. URL: <https://www.jstor.org/stable/4416788> (дата звернення 06.12.2022)
7. Daramola A. A comparative analysis of road and rail performance in freight transport: an example from Nigeria / *Urban, Planning and Transport Research*. 2022. Vol.10. Issue 1. P. 58-81. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21650020.2022.2033134> (дата звернення 06.12.2022)
8. Nelldal Bo-L. Competition and co-operation between railways and trucking in long distance freight transport – an economic analysis / Paper to 3rd KFB-Research conference «Transport Systems – Organisation and Planning» at Stockholm School of Economics 13/14 of June 2000. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506661/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення 06.12.2022)
9. Archettia C., Peirano L., Speranzab M. G. Optimization in multimodal freight transportation problems: A Survey. *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 299(1). P. 1-20. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221721006263> (дата звернення 06.12.2022)

- 
10. Carboni, A., Chiara D. B. Range of technical-economic competitiveness of rail-road combined transport. *Eur. Transp. Res.* 2018. Vol. 10. 45 p. URL: <https://etr.r.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-018-0319-3> (дата звернення 06.12.2022)
  11. Офіційний сайт European Commission – North Sea-Baltic Corridor. URL: [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/north-sea-baltic-corridor\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/north-sea-baltic-corridor_en) (дата звернення 03.07.2022)
  12. Офіційний сайт European Commission – Trans-European Transport Network (TEN-T). URL: [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en) (дата звернення 03.07.2022)
  13. Правила дорожнього руху України [чинна редакція Постанови КМУ від 28.10.2022 р URL: <https://ips.ligazakon.net/document/КР011306?an=419> (Дата звернення: 06.11.2022)
  14. European Commission. Speed limits. URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/going\\_abroad/spain/speed\\_limits\\_en.htm](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/going_abroad/spain/speed_limits_en.htm) (Дата звернення: 06.11.2022)
  15. Асоціація міжнародних автомобільних перевізників України (АСМАП) – Закон України №2819-IV «Про приєднання України до Європейської Угоди щодо роботи екіпажів транспортних засобів, які виконують міжнародні автомобільні перевезення (ЄУТР)» [від 07.09.2005]. URL: <http://www.asmap.org.ua/index1.php?id=58979> (Дата звернення: 06.11.2022)
  16. Taryfa towarowa PKP Cargo S.A. (ТТ PKP Cargo): [obowiązuje od 1 lutego 2022 roku]. URL: [https://www.pkcargo.com/media/1004598/tt\\_pkp\\_cargo\\_2022.pdf](https://www.pkcargo.com/media/1004598/tt_pkp_cargo_2022.pdf) (Дата звернення: 06.11.2022)
  17. DB Cargo. Standard Rates and other Provisions of DB Cargo AG: [valid from 1 april 2022]. URL: [https://www.dbcargo.com/resource/blob/7306164/f4ce74b17f3cc7c0df1c8d5964405386/Standard-Rates-and-other-Provisions-of-DB-Cargo-AG-2022\\_EN-4-data.pdf](https://www.dbcargo.com/resource/blob/7306164/f4ce74b17f3cc7c0df1c8d5964405386/Standard-Rates-and-other-Provisions-of-DB-Cargo-AG-2022_EN-4-data.pdf) (Дата звернення: 07.11.2022)
  18. Офіційний веб-сайт компанії DB Cargo Polska S.A. – Тарифи на товари. Принципи визначення вартості доставки. Товарний тариф DB Cargo Polska S.A. : [від 01.09.2022] URL: <https://pl.dbcargo.com/rail-pl-pl/strefa-klienta/taryfy-towarowe#> (Дата звернення: 06.10.2022)
  19. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги та Коефіцієнтів, що застосовуються до Збірника тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 15 квітня 2009 р. за № 340/16356. Офіційний сайт Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0340-09#Text>
  20. Коефіцієнти до Збірника тарифів. Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця». URL: [https://www.uz.gov.ua/cargo\\_transportation/tariff\\_conditions/transportation\\_in\\_ukraine/the\\_coefficients\\_of\\_the\\_collection\\_rates/](https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/tariff_conditions/transportation_in_ukraine/the_coefficients_of_the_collection_rates/). (Дата звернення: 06.10.2022)
  21. Договір про надання послуг з організації перевезень вантажів залізничним транспортом. Офіційний сайт Центр Транспортної Логістики (ЦТЛ) АТ «Укрзалізниця». URL: <https://uz-cargo.com/contractcarriage.html> (Дата звернення: 06.10.2022)

#### References:

1. Website Thomson Reuters. Ukrainian grain exports via Poland rise by 50%, minister says. (2022). URL: <https://www.reuters.com/markets/commodities/ukrainian-grain-exports-via-poland-rise-by-50-minister-says-2022-11-30/> (date of application 06.12.2022)
2. Thomson Reuters. Pavel Polityuk, Marek Strzelecki, Maytaal Angel Analysis: Ukraine lacks viable plan B to boost grain exports via rail, road or river. (2022). URL: <https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-lacks-viable-plan-b-boost-grain-exports-via-rail-road-or-river-2022-11-17/> (date of application 06.12.2022)
3. Aris Christodoulou & Panayotis Christidis (2019). Cross-border transport infrastructure in the EU. JRC Research Reports JRC113364, Joint Research Centre (Seville site). URL: <https://ideas.repec.org/p/ipt/iptwpa/jrc113364.html> (date of application 06.12.2022)
4. Pemberthy R. J. I.; Muriel-Villegas J. E.; Correa-Espinal A. A. (2019). A cross-border, long haul freight transportation problem with transshipments. *International Journal of Logistics Systems and Management*. Vol. 32(3/4). P.437-464. URL: [https://www.researchgate.net/publication/331559241\\_A\\_cross-border\\_long\\_haul\\_freight\\_transportation\\_problem\\_with\\_transshipments](https://www.researchgate.net/publication/331559241_A_cross-border_long_haul_freight_transportation_problem_with_transshipments) (date of application 06.12.2022)
5. Pajić V., Andrejić M., Kilibarda M. (2022). Sustainable transportation mode selection from the freight forwarder's perspective in trading with western EU countries. *Sustainable Futures*, Vol. 4. 100090. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666188822000247> (date of application 06.12.2022)
6. Nalin Shinghal (2005). *Economic and Political Weekly*, Vol. 40, No. 25 , pp. 2587-2593. URL: <https://www.jstor.org/stable/4416788> (date of application 06.12.2022)
7. Daramola A. (2022). A comparative analysis of road and rail performance in freight transport: an example from Nigeria, *Urban, Planning and Transport Research. An Open Access Journal*, Volume 10, Issue 1, Pages 58-81, URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21650020.2022.2033134> (date of application 06.12.2022)

- 
8. Nelldal Bo-L. (2000). Competition and co-operation between railways and trucking in long distance freight transport – an economic analysis / Paper to 3rd KFB-Research conference «Transport Systems – Organisation and Planning» at Stockholm School of Economics 13/14. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:506661/FULLTEXT01.pdf> (date of application 06.12.2022)
  9. Archettia C., Peirano L., Speranzab M. G. (2022). Optimization in multimodal freight transportation problems: A Survey. *European Journal of Operational Research*. Vol. 299(1). P. 1-20. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221721006263> (date of application 06.12.2022)
  10. Carboni, A., Chiara D. B. (2018). Range of technical-economic competitiveness of rail-road combined transport. *Eur. Transp. Res.* Vol. 10. 45 p. URL: <https://etr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-018-0319-3> (date of application 06.12.2022)
  11. Official website European Commission – North Sea-Baltic Corridor. (2022). URL: [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/north-sea-baltic-corridor\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/north-sea-baltic-corridor_en) (date of application 03.07.2022)
  12. Official website European Commission – Trans-European Transport Network (TEN-T). (2022). URL: [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en) (date of application 03.07.2022)
  13. Traffic rules of Ukraine (2022) [chynna redaktsiia Postanovy KMU vid 28.10.2022 p] URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KP011306?an=419> (date of application 06.11.2022)
  14. European Commission. Speed limits. (2022). URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/going\\_abroad/spain/speed\\_limits\\_en.htm](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/going_abroad/spain/speed_limits_en.htm) (date of application: 06.11.2022)
  15. Asotsiatsiia mizhnarodnykh avtomobilnykh pereviznykiv Ukrainy (AsMAP) – Zakon Ukrainy №2819-IV «Pro pryiednannia Ukrainy do Yevropeiskoi Uhody shchodo roboty ekipazhiv transportnykh zasobiv, yaki vykonuiut mizhnarodni avtomobilni perevezennia (IeUTR)» [vid 07.09.2005]. URL: <http://www.asmap.org.ua/index1.php?id=58979> (date of application: 06.11.2022)
  16. Taryfa towarowa PKP Cargo S.A. (TT PKP Cargo): [obowiazuje od 1 lutego 2022 roku]. URL: [https://www.pkcargo.com/media/1004598/tt\\_pkp\\_cargo\\_2022.pdf](https://www.pkcargo.com/media/1004598/tt_pkp_cargo_2022.pdf) (date of application: 06.11.2022)
  17. DB Cargo. Standard Rates and other Provisions of DB Cargo AG: [valid from 1 april 2022]. URL: [https://www.dbcargo.com/resource/blob/7306164/f4ce74b17f3cc7c0df1c8d5964405386/Standard-Rates-and-other-Provisions-of-DB-Cargo-AG-2022\\_EN-4-data.pdf](https://www.dbcargo.com/resource/blob/7306164/f4ce74b17f3cc7c0df1c8d5964405386/Standard-Rates-and-other-Provisions-of-DB-Cargo-AG-2022_EN-4-data.pdf) (date of application: 07.11.2022)
  18. The company's official website DB Cargo Polska S.A. – Taryfy na towary. Pryntsypy vyznachennia vartosti dostavky. Tovarnyi taryf DB Cargo Polska S.A. : [vid 01.09.2022] URL: <https://pl.dbcargo.com/rail-pl-pl/strefa-klienta/taryfy-towarowe#> (date of application: 06.10.2022)
  19. Zbirnyk taryfiv na perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom u mezhakh Ukrainy ta poviazani z nymy posluhy ta Koefitsientiv, shcho zastosovuiutsia do Zbirnyka taryfiv na perevezennia vantazhiv zaliznychnym transportom u mezhakh Ukrainy ta poviazani z nymy posluhy, zareiestrovanyi v Ministerstvi yustytysii Ukrainy 15 kvitnia 2009 r. za № 340/16356. Ofitsiyni sait Verkhovnoi Rady Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0340-09#Text>
  20. Koefitsiienty do Zbirnyka taryfiv. Ofitsiyni sait AT «Ukrzaliznytsia». (2022). URL: [https://www.uz.gov.ua/cargo\\_transportation/tariff\\_conditions/transportation\\_in\\_ukraine/the\\_coefficients\\_of\\_the\\_collection\\_rates/](https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/tariff_conditions/transportation_in_ukraine/the_coefficients_of_the_collection_rates/). (date of application: 06.10.2022)
  21. Dohovir pro nadannia posluh z orhanizatsii perevezen vantazhiv zaliznychnym transportom. Ofitsiyni sait Tsentr Transportnoi Lohistyky (TsTL) AT «Ukrzaliznytsia». (2022). URL: <https://uz-cargo.com/contractcarriage.html> (date of application: 06.10.2022)

**Лебідь В. В.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю  
Національного транспортного університету  
ORCID: 0000-0002-1260-3760

**Мейш Ю. А.**, доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри вищої математики  
Національного транспортного університету  
ORCID: 000-0001-7492-700X

**Майбородіна Н. В.**, кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри природничо-математичних  
та загально-інженерних дисциплін  
Відокремленого підрозділу Національного університету  
біоресурсів і природокористування України  
«Ніжинський агротехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0003-1754-6790

**Герасименко В. П.**, кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри електроенергетики, електротехніки  
та електромеханіки Відокремленого підрозділу Національного  
університету біоресурсів і природокористування України  
«Ніжинський агротехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0002-4017-1141

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ОФОРМЛЕННЯ МИТНИХ ДЕКЛАРАЦІЙ

*В роботі розглянуто питання прогнозування кількості оформлених митних декларацій методами математичної статистики. Статистичні спостереження за обсягами зовнішньої торгівлі товарами здійснюються на основі поданих митних декларацій, що заповнюються декларантами при митному оформленні товарів. Митна статистика є однією із важливих галузей щодо детальної інформації про товари, які переміщуються через митний кордон України, цілі їх переміщення та відомості для контролю та нарахування митних платежів що ведеться завдяки оформленим митним деклараціям. Митна декларація стає первинним документом, що підтверджує важливі показники для статистичних даних після її перевірки представником митниці, тому прогнозування кількості оформлення таких декларацій стає важливим питанням при плануванні обсягів зовнішньої торгівлі країни. В даній роботі на основі статистичних даних митної статистики декларування побудовано функції регресії обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 та обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування засобами табличного процесору Microsoft Excel. Важливими складовими успіху дослідження є правильна постановка задачі, можливість подальшого інтерпретування отриманих результатів, а також логічно правильне формальне застосування наявного математичного апарату. Проведено дослідження достовірності отриманих в роботі результатів та доведено достовірність побудованих функцій регресії. Побудовані достовірні функції регресії дають можливість виконувати прогнозування обсягу оформлених митних декларацій на 2023 рік. Отримані в даному дослідженні результати відіграють важливу роль при плануванні обсягів зовнішньої та внутрішньої торгівлі товарами та аналізі надходжень митних платежів до Державного бюджету України на 2023 рік.*

*Ключові слова: митна декларація, митне оформлення, експорт, імпорт, довірчий інтервал, рівень значущості, достовірність апроксимації.*

**Lebid V. V., Meish Yu. A., Maiborodina N. V., Herasymenko V. P. Application of mathematical statistics methods for forecasting the number of customs declarations**

*The paper deals with the issue of forecasting the number of completed customs declarations using the methods of mathematical statistics. The main goal of this work is to forecast the number of possible customs declarations of the MD-2 form in conditions of uncertainty based on the available statistical data for previous years. Statistical observations on the volume of*



---

foreign trade in goods are carried out on the basis of submitted customs declarations, which are filled out by declarants during customs clearance of goods. Customs statistics is one of the important branches of detailed information on goods moving across the customs border of Ukraine, the purpose of their movement, and information for control and assessment of customs payments, which is carried out thanks to completed customs declarations. Statistical reports of enterprises and organizations of Ukraine on the export-import of goods that are not subject to customs declaration play an important role in keeping statistics. The customs declaration becomes the primary document that confirms important indicators for statistical data after it is checked by a customs representative, so forecasting the number of such declarations becomes an important issue when planning the country's foreign trade volumes. Regression functions of the volume of completed customs declarations of the MD-2 form and the volume of completed customs declarations of the MD-2 form according to the electronic declaration procedure using the Microsoft Excel spreadsheet processor were built on the basis of statistical data of customs declaration statistics in this paper. Important components of the success of the research are the correct formulation of the problem, the possibility of further interpretation of the obtained results, as well as the logically correct formal application of the existing mathematical apparatus. The study of the reliability of the results obtained in the work was conducted and the reliability of the constructed regression functions was proved. Constructed reliable regression functions make it possible to forecast the volume of completed customs declarations for 2023. The results obtained in this study play an important role in planning the volume of foreign and domestic trade in goods and analyzing the receipts of customs payments to the State Budget of Ukraine for 2023.

Key words: customs declaration, customs clearance, export, import, confidence interval, level of significance, reliability of approximation.

**Постановка проблеми.** Ведення статистичних спостережень за обсягами зовнішньої торгівлі товарами здійснюються на основі поданих митних декларацій (надалі МД), які заповнюють декларанти при митному оформленні товарів [1]. Ведення такої статистики дає змогу аналізувати надходження митних платежів до Державного бюджету країни [2]. Також важливу роль у веденні статистики відіграють статистичні звіти підприємств і організацій України щодо експорту-імпорту товарів, що не підлягають митному декларуванню. Варто зауважити, що процес митного оформлення при здійсненні експортно-імпортних операцій розпочинається з моменту подання митному органу декларантом саме митної декларації та документів, необхідних для митного оформлення.

Саме завдяки оформленню митних декларацій ведеться митна статистика щодо детальної інформації про товари, які переміщуються через митний кордон України, цілі їх переміщення та відомості для контролю та нарахування митних платежів. По завершенню перевірки митної декларації представником митниці, митна декларація стає первинним документом, яка підтверджує важливі показники для статистичних даних.

Однак, згідно ст. 264 Митного кодексу України (надалі МКУ) митні декларації можуть бути відхилені митними органами у разі, якщо декларація подана без документів або відсутні в ній необхідні відомості для здійснення митного оформлення і така операція щодо здійснення митного оформлення вважається незавершеною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Віддаючи належне наявним науковим дослідженням зарубіжних і вітчизняних учених з питань митного декларування [3-7], слід зазначити, що недостатньо досліджена процедура прогнозування очікуваних оформлень митних декларацій і відповідно надходжень сум митних платежів (мито, митний збір, податок на додану вартість) до державного бюджету України від виконання експортно-імпортних операцій та кількості оформлених митних декларацій.

**Мета статті.** Основною метою даної роботи є прогнозування кількості можливого оформлення митних декларацій форми МД-2 в умовах невизначеності на основі наявних статистичних даних за попередні роки із застосуванням методів математичної статистики. Оскільки митна декларація та інші документи можуть подаватися митному органу в електронному вигляді або на паперових носіях, які супроводжуються електронними копіями, то в роботі виконаємо прогнозування щодо оформлення митних декларацій форми МД-2 та митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування. Вимоги до оформлення і використання митних декларацій та порядок внесення змін до митних декларацій, їх відкриття та визнання недійсними об'єднані у Положенні про митні декларації, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 21.05.2012 № 450 (зі змінами) [8].

**Виклад основного матеріалу.** Подання митної декларації до митних органів має важливе значення, оскільки з моменту надходження митної декларації митне оформлення товару вважається розпочатим (ч. 1. ст. 248 МКУ), а митний агент несе повну відповідальність за достовірність відомостей, наведених у митній декларації і товаросупровідних документах.

Для успішного прогнозування кількості оформлення митних декларацій форми МД-2 і вибору моделі, що використовуватиметься, необхідно обирати регресійну функцію серед багатьох можливих варіантів. При такому підході будуть застосовуватися спеціальні критерії якості моделі [9,10]. Щоб перевірити достовірність запропонованої моделі пропонуємо скористатися елементами дисперсійного аналізу та перевіряти значущість отриманих результатів.

Для даної задачі оберемо рівень значущості  $\alpha = 0,05$  (або 5%). Тоді всі сформульовані висновки будуть виконуватись з рівнем довіри  $p = 1 - \alpha = 0,95$ ; тобто з ймовірністю 95%.

Побудуємо модель оформлених митних декларацій форми МД-2 на основі статистичних даних спеціальної митної статистики декларування (табл. 1) [1].

Таблиця 1

Показник	Одиниця виміру	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Оформлено митних декларацій форми МД-2	тис. шт.	3 113,4	2 791,2	3 088,0	3 569,4	3 953,2	4 559,4	4 464,6	4 687,3	3 261,0

Як інструмент для побудови моделі оберемо табличний процесор Microsoft Excel.

На основі даних про обсяг оформлених митних декларацій форми МД-2 з 2014 року по 2022 рік:

1. Визначимо вид функції регресії.
2. Побудуємо функцію регресії.
3. Дослідимо достовірність побудованої функції регресії.
4. Виконаємо прогнозування за побудованою функцією регресії.

а) спрогнозуємо обсяг оформлених митних декларацій форми МД-2 на 2023 рік;

б) обчислимо довірчий інтервал для прогнозованого індивідуального значення оформлених митних декларацій форми МД-2.

1. Для визначення виду функції регресії побудуємо кореляційне поле точок (рис. 1).

За розміщенням точок на кореляційному полі припускаємо, що функція регресії обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 має нелінійну форму.

2. Засобами Microsoft Excel здійснюємо вибір функції регресії. Зупинимося на кубічній функції (рис. 2).

Отже, на основі даних про обсяг оформлених митних декларацій форми

МД-2 з 2014 року по 2022 рік ми одержали

емпіричну функції регресії:

$$\hat{y} = -31,997x^3 + 429,26x^2 - 1348,2x + 4068,1 \quad (1)$$

або

теоретичну функції регресії:  $y = -31,997x^3 + 429,26x^2 - 1348,2x + 4068,1 + u$ ,

де  $u$  – випадкова складова.

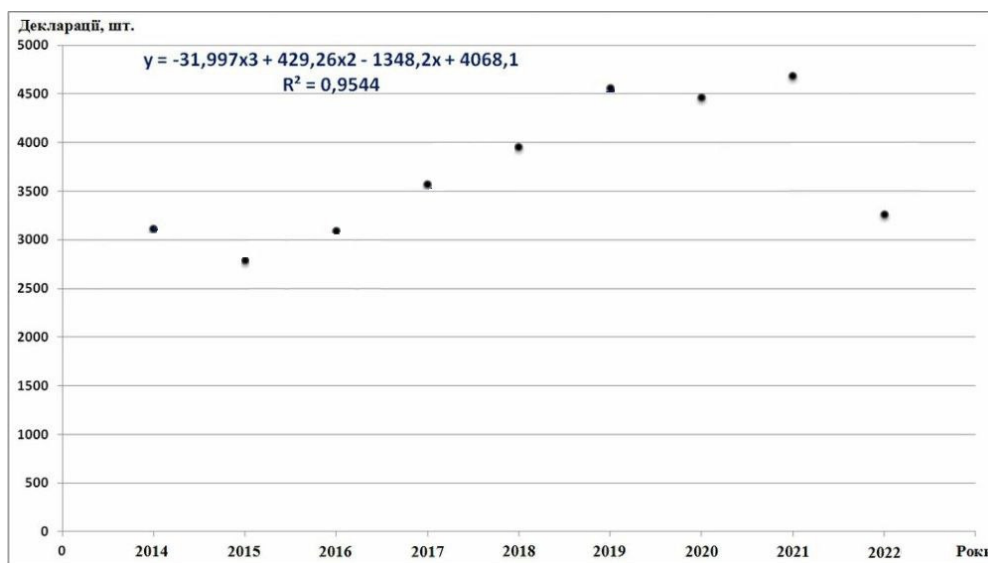


Рис. 1

3. Для даної функції регресії достовірність апроксимації [11] (коефіцієнт детермінації)  $R^2 = 0,9544$ . Оскільки коефіцієнт детермінації  $0,8 \leq R^2 < 1$  – кубічна функції регресії (1) достатньо точно відповідає дійсним значенням обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2. Тобто побудована функція регресії на 95,44% відповідає вхідним статистичним даним.

Обчислимо індекс кореляції  $R$  за формулою

$$R = \sqrt{R^2} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{0,9544} = 0,97$$



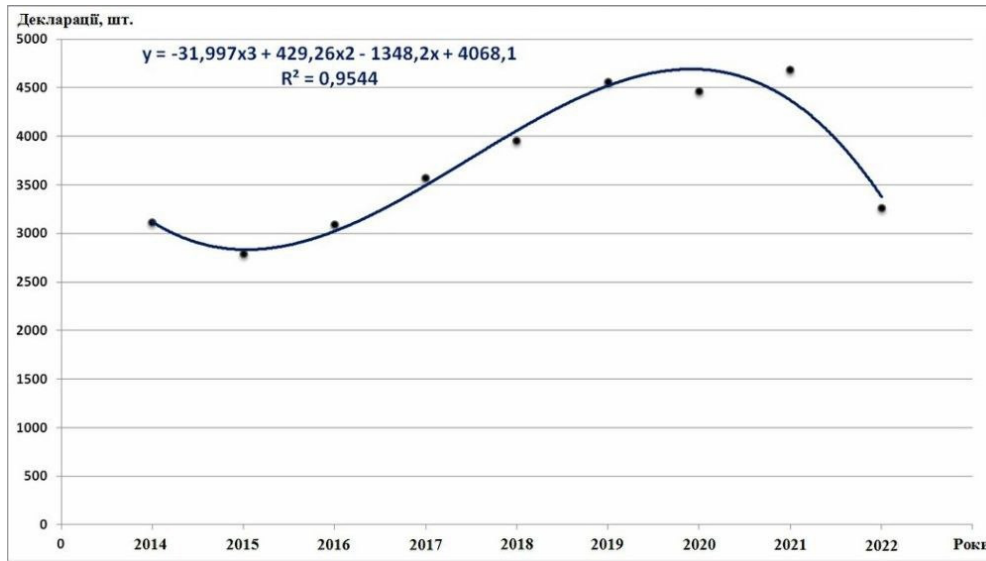


Рис. 2

Оскільки величини  $R^2$  і  $R$  наближаються до одиниці, то для побудованої функції регресії це свідчить про її достовірність.

Обчислимо емпіричні значення  $\hat{y}_i$ , використавши функцію регресії (1).

Обчислимо залишки функції регресії  $u_i$  за формулою

$$u_i = y_i - \hat{y}_i. \quad (3)$$

Обчислимо відносні похибки залишків функції регресії  $\delta_i$  за формулою

$$\delta_i = \frac{u_i}{y_i} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Обчислимо середнє значення відносної похибки залишків  $\bar{\delta}$  за формулою

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i. \quad (5)$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^9 \delta_i = \frac{1}{9} \cdot (-1,2\%) = -0,13\%.$$

Оскільки  $\bar{\delta} = -0,13\%$  значно менше 10%, то функцію регресії можна вважати достатньо точною.

4. а) обчислимо точковий прогноз  $\hat{y}_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 для заданого значення  $x_{np}$  за побудованою емпіричною функцією регресії (1), використавши формулу для точкового прогнозу:

$$\hat{y}_{np} = -31,997x_{np}^3 + 429,26x_{np}^2 - 1348,2x_{np} + 4068,1.$$

$$\hat{y}_{np} = 1515,1 \text{ (тис. шт.)}.$$

Значення  $\hat{y}_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 на 2023 рік за одержаною функцією регресії:

$$\hat{y}_{np} = 1515,1 \text{ (тис. шт.)}.$$

З ймовірністю 95% можна стверджувати, що обсяг оформлених митних декларацій форми МД-2 на 2023 рік:  $\hat{y}_{np} = 1515,1$  (тис. шт.).

б) обчислимо довірчий інтервал [11] для індивідуального значення  $y_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за формулою

$$y_{np} \in (\hat{y}_{np} - \Delta y_{np}; \hat{y}_{np} + \Delta y_{np}), \quad (6)$$

де  $\Delta y_{np}$  – похибка індивідуального значення  $y_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 обчислюється за формулою

$$\Delta y_{np} = t_{\text{табл}} \cdot \hat{\sigma}_u \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_{np} - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (7)$$

Табличне значення розподілу Стьюдента [12]:

$$t_{\text{табл}} = t(0,025; 7) = 2,84.$$

Обчислимо незміщену оцінку дисперсії залишків  $\hat{\sigma}_u^2$  за формулою

$$\hat{\sigma}_u^2 = \frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n u_i^2. \quad (8)$$

$$\hat{\sigma}_u^2 = \frac{1}{9-2} \cdot 187457 = 26779,57.$$

Обчислимо середнє квадратичне відхилення залишків  $\hat{\sigma}_u$  за формулою

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\hat{\sigma}_u^2}. \quad (9)$$

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{26779,57} = 163,64.$$

Отже, похибка індивідуального значення  $y_{np}$ :

$$\Delta y_{np} = 2,84 \cdot 163,64 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{9} + \frac{(10-5)^2}{60}} = 337,62.$$

Довірчий інтервал для індивідуального значення  $y_{np}$  оформлених митних декларацій форми МД-2:

$$y_{np} \in (1515,1 - 337,62; 1515,1 + 337,62);$$

$$y_{np} \in (1177,48; 1852,72).$$

Отже, з ймовірністю 95% можна стверджувати, що прогнозоване теоретичне (дійсне) значення  $y_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 на 2023 рік потрапить в інтервал  $y_{np} \in (1177,48; 1852,72)$ .

Побудуємо функцію регресії оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування (табл. 2). Процедура побудови функції регресії здійснюватиметься аналогічно до процедури попередньої задачі.

Таблиця 2

Показник	Одиниця виміру	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Оформлено митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування:	тис. шт.	2 680,8	2 530,7	2 851,8	3 349,3	3 746,9	4 389,4	4 314,0	4 547,9	3 229,4

1) Для визначення типу функції регресії побудуємо кореляційне поле точок (рис. 3).

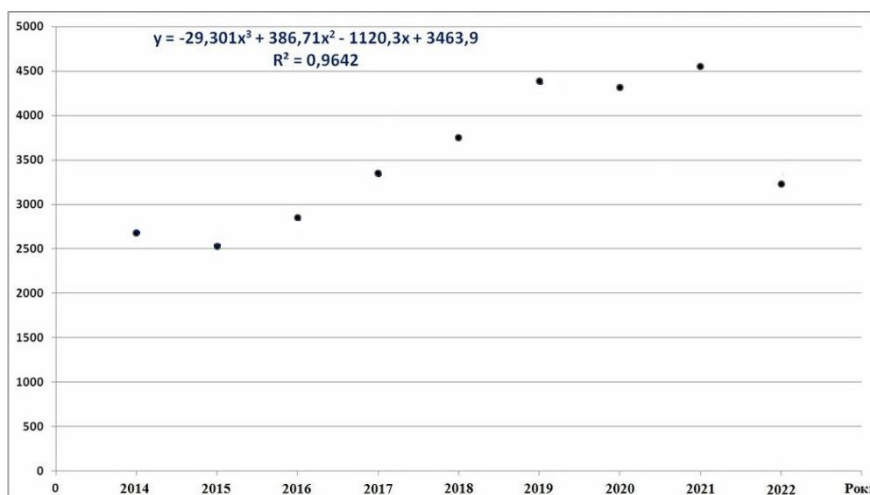


Рис. 3

За розміщенням точок на кореляційному полі припускаємо, що функція регресії обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування має нелінійну форму.

2) Засобами Microsoft Excel здійснюємо вибір моделі. Зупинимося на кубічній функції.

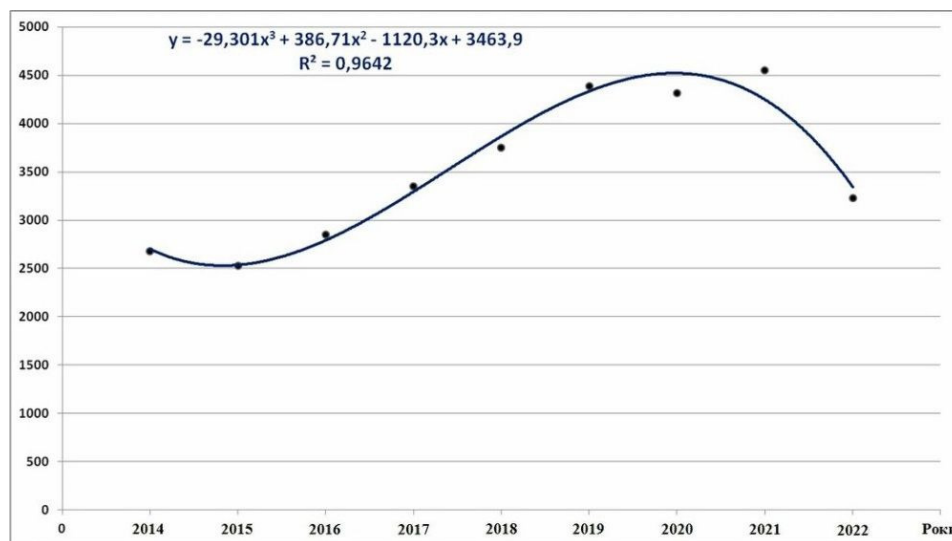


Рис. 4

Отже, на основі даних про обсяг оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування з 2014 року по 2022 рік отримано: емпіричну функцію регресії:

$$\hat{y} = -29,301x^3 + 386,71x^2 - 1120,3x + 3463,9 \quad (10)$$

або

теоретичну функцію регресії:  $y = -29,301x^3 + 386,71x^2 - 1120,3x + 3463,9 + u$ ,

де  $u$  – випадкова складова.

3) Для даної функції регресії достовірність апроксимації (коефіцієнт детермінації)  $R^2 = 0,9642$ .

Оскільки коефіцієнт детермінації  $0,8 \leq R^2 < 1$  – кубічна функція регресії (10) достатньо точно відповідає дійсним значенням обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування.

Тобто побудована функція регресії на 96,42% відповідає вхідним статистичним даним.

Обчислимо індекс кореляції  $R$  за формулою (2):

$$R = \sqrt{0,9642} = 0,97.$$

Оскільки величини  $R^2$  і  $R$  наближаються до одиниці, то для побудованої функції регресії це свідчить про її достовірність.

Обчислимо емпіричні значення  $\hat{y}_i$ , використавши функцію регресії (10).

Обчислимо залишки функції регресії  $u_i$  за формулою (3), відносні похибки залишків функції регресії  $\delta_i$  за формулою (4), середнє значення відносної похибки залишків  $\bar{\delta}$  за формулою (5).

$$\bar{\delta} = \frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i = \frac{1}{9} \cdot (-0,97\%) = -0,11\%.$$

Оскільки  $\bar{\delta} = -0,11\%$  значно менше 10%, то функцію регресії можна вважати достатньо точною.

4. а) обчислимо точковий прогноз  $\hat{y}_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування для заданого значення  $x_{np}$  за побудованою емпіричною функцією регресії (10), використавши формулу для точкового прогнозу:

$$\hat{y}_{np} = -29,301x_{np}^3 + 386,71x_{np}^2 - 1120,3x_{np} + 3463,9.$$

Значення  $\hat{y}_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування на 2023 рік за одержаною функцією регресії:

$$\hat{y}_{np} = 1630,9 \text{ (тис. шт.)}$$

Отже, з ймовірністю 95% можна стверджувати, що обсяг оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування на 2023 рік:  $\hat{y}_{np} = 1630,9$  (тис. шт.).

б) обчислимо довірчий інтервал для індивідуального значення  $y_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування за формулою (6), з використанням формули (7). Табличне значення розподілу Стьюдента:

$$t_{\text{табл}} = t(0,025; 7) = 2,84.$$

Обчислимо незміщену оцінку дисперсії залишків  $\hat{\sigma}_u^2$  за формулою (8)

$$\hat{\sigma}_u^2 = \frac{1}{9-2} \cdot 169719,86 = 24245,69.$$

Обчислимо середнє квадратичне відхилення залишків  $\hat{\sigma}_u$  за формулою (9)

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{24245,69} = 155,71.$$

Отже, похибка індивідуального значення  $y_{np}$ :

$$\Delta y_{np} = 2,84 \cdot 155,71 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{9} + \frac{(10-5)^2}{60}} = 321,26.$$

Довірчий інтервал для індивідуального значення  $y_{np}$  оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування:

$$y_{np} \in (1630,9 - 321,26; 1630,9 + 321,26);$$

$$y_{np} \in (1309,64; 1952,16).$$

Отже, з ймовірністю 95% можна стверджувати, що прогнозоване теоретичне (дійсне) значення  $y_{np}$  обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування на 2023 рік потрапить в інтервал  $y_{np} \in (1309,64; 1952,16)$ .

**Висновки з дослідження і перспективи подальшого розвитку у цьому напрямі.** В даній роботі на основі статистичних даних митної статистики декларування побудовано функції регресії обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 та обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування засобами табличного процесору Microsoft Excel. Доведено достовірність побудованих функцій регресії. Всі сформульовані висновки в даній роботі виконуються з ймовірністю 95%.

Побудовані достовірні функції регресії дають можливість виконувати прогнозування обсягу оформлених митних декларацій на 2023 рік. Згідно одержаних в роботі результатів обсяг оформлених митних декларацій форми МД-2 на 2023 рік:  $y_{np} = 1515,1$  (тис. шт.). Довірчий інтервал для прогнозованого індивідуального значення оформлених митних декларацій форми МД-2:  $y_{np} \in (1177,48; 1852,72)$ . Значення прогнозованого обсягу оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування на 2023 рік:  $y_{np} = 1630,9$  (тис. шт.). Довірчий інтервал для прогнозованого індивідуального значення оформлених митних декларацій форми МД-2 за процедурою електронного декларування:  $y_{np} \in (1309,64; 1952,16)$ .

Одержані в даній роботі результати відіграють важливу роль при плануванні обсягів зовнішньої торгівлі товарами та аналізі надходжень митних платежів до Державного бюджету України на 2023 рік.

#### Список використаних джерел:

1. Статистика та реєстри. Статистика декларування, переміщення товарів та транспортних засобів. URL: <https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri>
2. Доходи держбюджету України. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/budget/gov/income/> (дата звернення: 05.12.2022)
3. Митна справа: підруч. / А. І. Крисоватий, С. Д. Герчаківський, О. Б. Дем'янюк та ін.; за ред. А. І. Крисоватого. Тернопіль: ВПЦ «Екон. думка ТНЕУ», 2014. 540 с.
4. Баранов С. О. Митне право України: навчально-методичний посібник. Одеса, 2017. 375 с.
5. Прокопенко В. В. Виконання митних формальностей при переміщенні товарів через митний кордон України різними видами транспорту: монографія. Дніпро: Ун-т митної справи та фінансів. 2018. 336 с.
6. Найденко О.Є., Тихомирова Д.В. Роль митних платежів в митній політиці. Інфраструктура ринку. Випуск 60. Ст.180-185. URL: [http://market-infr.od.ua/journals/2021/60\\_2021/34.pdf](http://market-infr.od.ua/journals/2021/60_2021/34.pdf)
7. Дубовик О., Мартинюк І. Фіскальна ефективність митних платежів в Україні. URL: <http://dspace.oneu.edu.ua>
8. Постанова про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 21 травня 2012 р. № 450 та визнання такою, що втратила чинність, постанови Кабінету Міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 681. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1090-2022-%D0%BF#Text>
9. Наконечний С.І. Економетрія: підручник / Наконечний С.І., Терещенко Т.О., Романюк Т.П. К.: КНЕУ, 2004. 520 с.



---

10. Майбородіна Н.В. Економетрика: навчальний посібник / Майбородіна Н.В. Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2021. 280 с.

11. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І., Савіна С.С. Теорія ймовірностей та математична статистика. К.: КНЕУ, 2001. 336 с.

12. Васильків І.М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 184 с.

#### References:

1. Statistics and registers. Statistics of declaration, movement of goods and vehicles (2022), URL: <https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri>

2. Revenues of the state budget of Ukraine. (2022), URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/budget/gov/income>

3. Krysovaty A. I., Herchakivskyi S. D., Demyanyuk O. B. & etc. (2014) Customs affairs: sub-hand. A. I. Krysovaty (ed.). Ternopil: VOC "Econ. TNEU opinion".

4. Baranov S. O. (2017). Customs Law of Ukraine: educational and methodological manual. Odesa.

5. Prokopenko V. V. (2018). Fulfillment of customs formalities when moving goods across the customs border of Ukraine by various modes of transport: monograph. Dnipro: University of Customs and Finance.

6. Naidenko O.E. & Tikhomirova D.V. (2021). The role of customs payments in customs policy. Market infrastructure. Issue 60. pp.180-185, URL: [http://market-infr.od.ua/journals/2021/60\\_2021/34.pdf](http://market-infr.od.ua/journals/2021/60_2021/34.pdf)

7. Dubovyk O. & Martynyuk I. (2021). Fiscal efficiency of customs payments in Ukraine, URL: <http://dspace.oneu.edu.ua>

8. Resolution on amendments to Resolution No. 450 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated May 21, 2012 and recognition as invalid of Resolution No. 681 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 5, 2020 (2020), URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1090-2022-%D0%BF#Text>

9. Final S.I., Nakonechnyi S.I., Tereshchenko T.O. & Romanyuk T.P. (2004). Econometrics: a textbook. K.: KNEU.

10. Maiborodina N.V. (2021). Econometrics: a study guide. Nizhyn: PP Lysenko M.M.

11. Zhluktenko V.I., Nakonechnyi S.I. & Savina S.S. (2001). Probability theory and mathematical statistics. K.: KNEU.

12. Vasylykiv I.M. (2020). Basics of probability theory and mathematical statistics: teaching. manual. Lviv: LNU named after Ivan Franko.

**Семенов А. О.**, доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри інформаційних радіоелектронних  
технологій і систем  
Вінницького національного технічного університету  
ORCID: 0000-0001-9580-6602

**Семенова О. О.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій  
Вінницького національного технічного університету  
ORCID: 0000-0001-5312-9148

**Пінаєв Б. О.**, аспірант кафедри інформаційних  
радіоелектронних технологій і систем  
Вінницького національного технічного університету  
ORCID: 0000-0001-9592-0640

**Козін Д. О.**, аспірант кафедри інформаційних  
радіоелектронних технологій і систем  
Вінницького національного технічного університету  
ORCID: 0000-0003-2987-1726

**Кристофоров А. В.**, студент кафедри інформаційних  
радіоелектронних технологій і систем  
Вінницького національного технічного університету  
ORCID: 0000-0003-0616-667X

## ШИРОКОСМУГОВА ПРЯМОКУТНА РУПОРНА АНТЕНА З ДІЕЛЕКТРИЧНОЮ ЛІНЗОЮ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ «ТОЧКА-ТОЧКА»

Сучасні інформаційні технології стрімко розвиваються. Застосування Інтернету речей та сенсорних мереж потребує освоєння нових діапазонів частот. При цьому спостерігається тенденція стрімкого переходу від дециметрового діапазону до сантиметрового діапазону довжин хвиль. На сьогоднішній день виникла актуальна науково-практична задача створення нових антенних пристроїв для застосування в бездротових інфокомунікаційних і сенсорних мережах, що мають бездротовий зв'язок типу «точка-точка». Антени є надзвичайно важливим компонентом пристроїв бездротових інфокомунікаційних і сенсорних мереж. Для забезпечення якісного бездротового зв'язку важливу роль відіграє форма амплітудної діаграми спрямованості, що визначає спрямовані властивості антени. Від якості узгодження параметрів антени в робочому діапазоні частот залежить рівень інформаційних сигналів і можливість здійснення просторового розділення каналів. Також від величини спрямованих властивостей антени суттєво залежить енергоефективність інфокомунікаційних пристроїв. Об'єктом дослідження у роботі є процес випромінювання електромагнітних хвиль і спрямовані властивості прямокутної рупорної антени з діелектричною лінзою в одномодовому режимі роботи. Запропонована в роботі широкосмугова прямокутна рупорна антена з діелектричною лінзою має класичну геометричну конфігурацію та працює у смузі частот 4285,7 МГц – 8571,4 МГц. Її габаритні розміри – ширина 318 мм, висота 240 мм, довжина 320 мм. Збудження антени здійснено зондовим збуджувачем у вигляді несиметричного штиря. Живлення антени здійснено коаксіальним кабелем з хвильовим опором 75 Ом. Поблизу штиря крім хвилі основного типу  $H_{10}$  збуджується багато вищих типів електромагнітних хвиль. Усі збуджені вищі типи хвиль перебувають у закритичному режимі роботи прямокутного хвильоводу і по мірі поширення до рупора затухають по експоненціальному закону. Їх амплітуда зменшується понад ніж у 100 разів. А тому вищі типи хвиль не проходять в горловину рупора та не надходять до розкриття рупора, в якому розташована діелектрична лінза. В результаті досліджень встановлено, що у робочому діапазоні частот 6,5 ГГц ... 7,6 ГГц ширина діаграми спрямованості антени змінюється в таких межах  $2\theta_{0,5}^E = 8,14^\circ \dots 9,75^\circ$ ;  $2\theta_{0,5}^H = 6,2^\circ \dots 7,2^\circ$ . Коефіцієнт спрямованої дії антени у робочому діапазоні частот знаходиться в межах 490-370 разів, а її коефіцієнт підсилення по потужності змінюється у межах 26,55-26,0 дБ.

Ключові слова: рупорна антена, діелектрична лінза, частота, амплітуда, діаграма спрямованості, електромагнітна хвиля, випромінювання.

---

**Semenov A. O., Semenova O. O., Pinaiev B. O., Kulias R. O., Krystoforov A. V. Broadband rectangular horn antenna with dielectric lens for point-to-point wireless communication**

Modern information technologies are developing rapidly. The application of the Internet of Things and sensor networks requires the development of new frequency ranges. At the same time, there is a tendency for rapid transition from the decimeter range to the centimeter range of wavelengths. Today, there is an urgent scientific and practical task of creating new antenna devices for use in wireless information communication and sensor networks with point-to-point wireless communication. Antennas are an extremely important component of wireless information communication and sensor network devices. To ensure high-quality wireless communication, an important role is played by the shape of the amplitude pattern, which determines the directional properties of the antenna. The level of information signals and the possibility of spatial separation of channels depends on the quality of the antenna parameters agreement in the operating frequency range. Also, the energy efficiency of information communication devices significantly depends on the magnitude of the directional properties of the antenna. The object of research in the paper is the process of electromagnetic wave radiation and directional properties of a rectangular horn antenna with a dielectric lens in single-mode operation. The proposed broadband rectangular horn antenna with a dielectric lens has a classic geometric configuration and operates in the frequency band 4285.7 MHz – 8571.4 MHz. Its dimensions are width 318 mm, height 240 mm, length 320 mm. The antenna is excited by a probe exciter in the form of an asymmetric pin. The antenna is powered by a coaxial cable with a wave resistance of 75 Ohms. In addition to the basic  $H_{10}$ -type wave, many higher types of electromagnetic waves are excited near the pin. All excited higher types of waves are in the closed mode of operation of the rectangular waveguide and decay exponentially as they propagate to the horn. Their amplitude decreases more than 100 times. Therefore, higher types of waves do not pass through the throat of the horn and do not reach the opening of the horn in which the dielectric lens is located. As a result of research, it was established that in the operating frequency range of 6.5 GHz ... 7.6 GHz, the width of the antenna's directional pattern varies within the following limits:  $2\theta_{0.5}^E = 8.14^\circ \dots 9.75^\circ$ ;  $2\theta_{0.5}^H = 6.2^\circ \dots 7.2^\circ$ . The coefficient of directional action of the antenna in the working frequency range is within 490-370 times, and its power gain varies within 26.55-26.0 dB.

Key words: horn antenna, dielectric lens, frequency, amplitude, directional pattern, electromagnetic wave, radiation.

**Постановка проблеми.** Хвилеводні випромінювачі та рупорні антени є поширеним типом антен мікрохвильового діапазону [1]. Вони використовуються як окремі антени, а також як випромінювальні елементи інших антен (дзеркальних, лінзових) [2]. Ці антени широко використовують у діапазонах сантиметрових і міліметрових довжин електромагнітних хвиль [3].

Рупорні антени дозволяють формувати діаграми спрямованості шириною від  $100^\circ \dots 140^\circ$  (при розкритті спеціальної геометричної форми) до  $8^\circ \dots 16^\circ$  у пірамідальних рупорах. Можливість подальшого звуження діаграми спрямованості рупора обмежується необхідністю різкого збільшення його геометричних розмірів [4].

Основними перевагами рупорних антен є [5, 6]:

1) Широка смуга робочих частот. Рупорні антени мають приблизно полуторне перекриття по діапазону. Можливість зміни робочої частоти у ще більших межах обмежується складністю збудження і поширення вищих типів електромагнітних хвиль у фідерах, що їх живлять.

2) Високий коефіцієнт корисної дії (на практиці 93...97%).

3) Велика гранична потужність НВЧ сигналу.

4) Рупорні антени досить прості у виготовленні.

Основними недоліками рупорних антен є [7, 8]:

1) Громіздкість конструкції.

2) Складність формування вузьких діаграм спрямованості.

3) Труднощі регулювання амплітудно-фазового розподілу поля в розкритті. Це обмежує можливість зменшення рівня бокових пелюсток і створення діаграм спрямованості спеціальної форми.

Тому розроблення та дослідження нових методів і засобів для керування формою та параметрами діаграм спрямованості рупорних антен є актуальним науково-технічним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день є низка провідних світових компаній-виробників, що серійно виготовляють рупорні антени. Найбільш відомими з них є Rohde & Schwarz (<https://www.rohde-schwarz.com/>), Schwarzbeck (<https://www.schwarzbeck.com/>), Aaronia (<https://aaronia.com/>), TS-Lindgren (<https://www.ets-lindgren.com/>), АМТЕК-СТС (<https://www.ametek-cts.com/>).

На рисунку 1 показана світлина ширококугової рупорної антени ТЕМН 6000 виробництва компанії Schwarzbeck, збудження якої здійснюється електромагнітними хвилями ТЕМ типу [9]. Це лінійно поляризована ширококугова рупорна антена ТЕМ, що виготовлена з алюмінію. Вона призначена для прийому та передачі радіохвиль, особливо для генерації випромінюваних полів під час випробувань на стійкість до зовнішнього середовища та надширококугових вимірювань [9]. Використовуваний діапазон частот 300 МГц – 8 ГГц. Робочий діапазон частот 380 МГц – 6 ГГц. Хвильовий опір 50 Ом, максимальна потужність 300 Вт. Максимальний коефіцієнт підсилення у смузі робочих частот 9,41 dBi. Розміри площини випромінювання рупора: ширина – 260 мм, висота – 210 мм. Вага 1,4 кг. Типовим застосуванням цієї антени є стандарт IEC 61000-4-39 [9].



Рис. 1. Широкопasmова рупорна антена TEMH 6000 виробництва компанії Schwarzbeck [9]

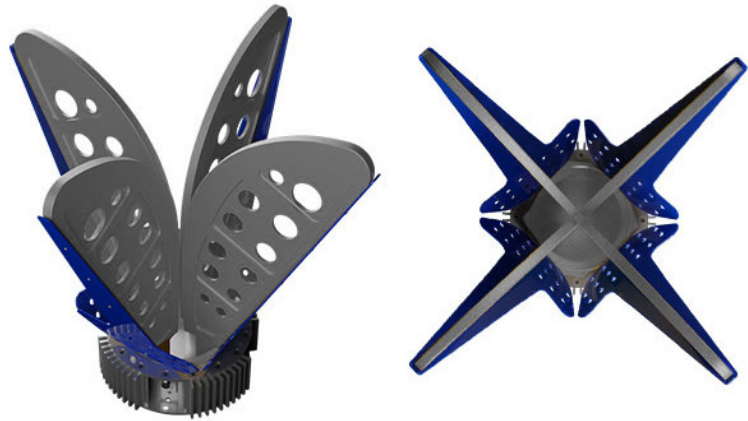


Рис. 2. Рупорна антени серії PowerLOG® PRO виробництва компанії Aaronia AG: вигляд збоку (ліворуч), вигляд згори (праворуч) [10]

Перевагою широкопasmової рупорної антени TEMH 6000 виробництва компанії Schwarzbeck є малі геометричні розміри та вага. Недоліком цієї антени є малий коефіцієнт підсилення.

На рисунку 2 наведена світлина рупорної антени серії PowerLOG® PRO виробництва компанії Aaronia AG [10]. Така антена характеризується великою шириною смуги частот і досить високою входною потужністю. Коефіцієнт підсилення збільшується зі збільшенням частоти максимум до 14 дБі [10]. Це збільшення підсилення компенсує зростаючі втрати кабелю на високих частотах. Рупорні антени серії PowerLOG® PRO придатні як для випромінювання, так і для приймання радіохвиль [10]. Завдяки високій потужності передачі до 500 Вт серія PowerLOG® PRO особливо підходить для вимірювань електромагнітної сумісності та випромінювання перешкод [10]. Основні параметри антени: діапазон частот 300 МГц – 8 ГГц; максимальна потужність 500 Вт; хвильовий опір 50 Ом; максимальне значення коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі у фідері в робочому діапазоні частот не більше 2,5. Геометричні розміри рупора: довжина 510 мм, ширина 507, висота 507 мм. Вага 8,8 кг.

Конструкція відкритої рупорної антени з чотирма ребрами на рис. 2 подібна на дві хвилевідні антени з двома ребрами, що розташовані ортогонально одна одній. За такою конструкцією побудовані та серійно виготовляються фірмою ETS-Lindgren рупорні антени моделі Quad-Ridged Horn 3164-06 для діапазону частот від 300 МГц до 6 ГГц [11] та моделі Quad-Ridged Horn 3164-08 для діапазону частот від 700 МГц до 8 ГГц [12]. Тако фірма Aaronia виготовляє подібні рупорні антени моделі 30600 PowerLOG PRO Series для діапазону частот від 300 МГц до 8 ГГц [13]. Основними недоліком рупорних антен зазначених серій є їхні великі геометричні розміри, велика вага та надмірно велика вартість – від 2999 € до 6998 € і більше.

При створенні рупорних антен основною технічною задачею є зменшення геометричних розмірів рупору, зокрема довжини. Існують два шляхи вирішення задачі зменшення довжини рупора. Перший шлях полягає у застосуванні багаторупорної антени. Великий розмір розкриву антени розбивається на  $n$  частин. Тоді довжина кожного рупора може бути зменшена в  $n^2$  разів в порівнянні з довжиною однорупорної антени. Рупори розташовуються вздовж прямої в одній площині і з'єднуються так, щоб довжина шляху хвилі від загального хвилевода до кожного з рупорів була однаковою. Цим досягається синфазність збудження рупорів [14].

В основі другого шляху зменшення довжини рупора покладено застосування спеціальних пристроїв, які корегують фазові спотворення в розкритті рупора. Вони штучно вирівнюють довжину шляху, який проходить електромагнітна хвиля від горловини рупора до всіх точок розкриття. Або в розкритті рупора розташовують різноманітні типи лінз. Ці лінзи вирівнюють фазовий фронт хвилі. Або використовують метаматеріали всередині рупора [15].

У роботі [16] здійснено покращення підсилення рупорної антени за допомогою металевої лінзи. Запропонована в [16] антена складається з просторового подільника потужності та Н-площинної лінзи. Подільник потужності і лінза металеві та виготовлені за допомогою технології 3-D-друку. Запропонована у [16] металева лінза має зморшкуваті підканали різної довжини для перетворення вихідного квазіциліндричного хвильового фронту в майже плоский хвильовий фронт у широкому діапазоні частот. Це уможливило створити широкопasmову антену з високим коефіцієнтом підсилення. У роботі [16] запропоновано дві конструкції рупорної антени з металевою лінзою. Коефіцієнт підсилення першої конструкції антени становить 18,1 дБі при нормованому рівні бічних пелюсток -9,4 дБ. Коефіцієнт підсилення другої конструкції антени рівний 19,6 дБі при нормованому рівні бічних пелюсток -15,0 дБ. Встановлено, що розміри (осьові довжини) запропонованих конструкцій антени на 60% менші ніж у оптимальних рупорних антен [16].



Основну увагу при дослідженні спрямованих властивостей рупорних антен приділено для рупорів різної геометричної форми [17]. Дослідженню параметрів і характеристик рупорних антен з використанням діелектричних лінз менше було приділено уваги. Об'єктом дослідження у роботі є процес випромінювання електромагнітних хвиль і спрямовані властивості прямокутної рупорної антени з діелектричною лінзою в одномодовому режимі роботи.

**Мета статті:** дослідження спрямованих властивостей прямокутної рупорної антени з діелектричною лінзою в режимі одномодового поширення електромагнітних хвиль. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання: 1) здійснити чисельний розрахунок діаграми спрямованості прямокутної рупорної антени в горизонтальній площині і вертикальній площині; 2) виконати математичне моделювання діаграми спрямованості прямокутної рупорної антени з діелектричною лінзою в робочому діапазоні частот; 3) отримати результати дослідження спрямованих властивостей та частотних характеристик прямокутної рупорної антени з діелектричною лінзою.

**Вклад основного матеріалу.** Для отримання гострішої діаграми спрямованості переріз стандартного хвилеводу можна плавно збільшувати, перетворюючи хвилевід на рупор (рис. 3) [18]. В цьому випадку структура поля в хвилеводі в основному збережеться [18]. У горлі рупора, тобто в місці його з'єднання з хвилеводом, все ж таки виникають вищі типи хвиль. Проте якщо кут розкриття рупора не дуже великий, то хвилі всіх типів, окрім основного, швидко затухнуть в районі горловини рупора, а по рупору розповсюджуватиметься тільки коливання основного типу [18].

Плавне збільшення перерізу хвилеводу також покращує узгодження його з вільним простором [19]. Модуль коефіцієнта відбиття від кінця прямокутного хвилеводу (рупора) з хвилею типу  $H_{10}$  може бути виражений такою формулою

$$|\rho| = (1 - \lambda / \lambda_x) / (1 + \lambda / \lambda_x), \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжини хвилі у вільному просторі,  $\lambda_x$  – довжина хвилі в рупорі. Збільшення розкриття рупора в площині вектору  $H$  приводить до наближення довжини хвилі в рупорі  $\lambda_x$  до довжини хвилі у вільному просторі  $\lambda$ . При цьому модуль коефіцієнта відбиття  $|\rho|$  наближається до нуля [19].

Діаграма спрямованості (ДС) антени це залежність інтенсивності електромагнітного поля, що випромінює антена в дальній зоні від кутів  $\theta$  і  $\varphi$  при одній і тій самій відстані від точки спостереження до початку координат. Комплексна діаграма спрямованості антени має три складові – амплітудна, фазову та поляризаційну діаграми спрямованості. Фізичний зміст амплітудної діаграми спрямованості антени – це здатність антени концентрувати електромагнітну енергію в завчасно вибраному секторі простору [20]. Розраховувати ДС будемо на трьох частотах робочого діапазону – нижній, середній та верхній. Це здійснено для з'ясування діапазонних властивостей антени [20].

Діаграма спрямованості (ДС) антени це залежність інтенсивності електромагнітного поля, що випромінює антена в дальній зоні від кутів  $\theta$  і  $\varphi$  при одній і тій самій відстані від точки спостереження до початку координат. Комплексна діаграма спрямованості антени має три складові – амплітудна, фазову та поляризаційну діаграми спрямованості. Фізичний зміст амплітудної діаграми спрямованості антени – це здатність антени концентрувати електромагнітну енергію в завчасно вибраному секторі простору [20]. Розраховувати ДС будемо на трьох частотах робочого діапазону – нижній, середній та верхній. Це здійснено для з'ясування діапазонних властивостей антени [20].

На рис. 4 показано профіль діелектричної лінзи,  $\Theta^E$  – кут між віссю антени і напрямком в точку спостереження.

Моделювання амплітудної діаграми проведено за допомогою програми Mathcad 14 за такими співвідношеннями:

– в площині  $H$

$$F(\theta^H) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot a_p \cdot \sin \theta^H\right) \theta}{\frac{\pi}{\lambda} \cdot a_p \cdot \sin \theta^H} \cdot \frac{1 + \cos \theta^H}{2}, \quad (2)$$

– в площині  $E$

$$F(\theta^E) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot b_p \cdot \sin \theta^E\right) \theta}{\frac{\pi}{\lambda} \cdot b_p \cdot \sin \theta^E} \cdot \frac{1 + \cos \theta^E}{2}. \quad (3)$$

На рис. 5 і рис. 6 наведені графіки діаграм спрямованості в площині  $H$  та  $E$  відповідно.

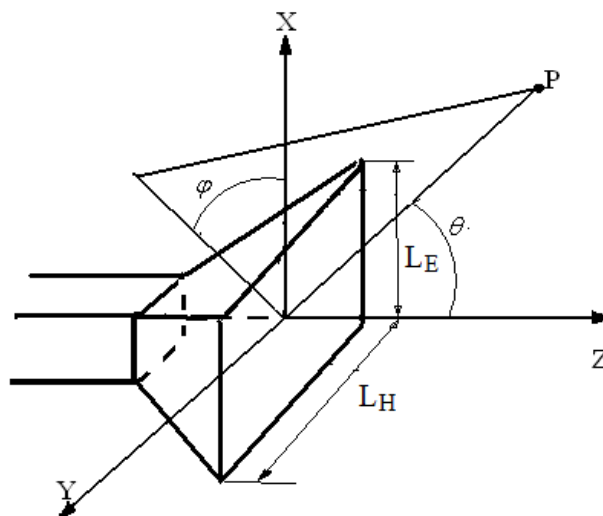


Рис. 3. Будова рупорної антени та система координат [18]

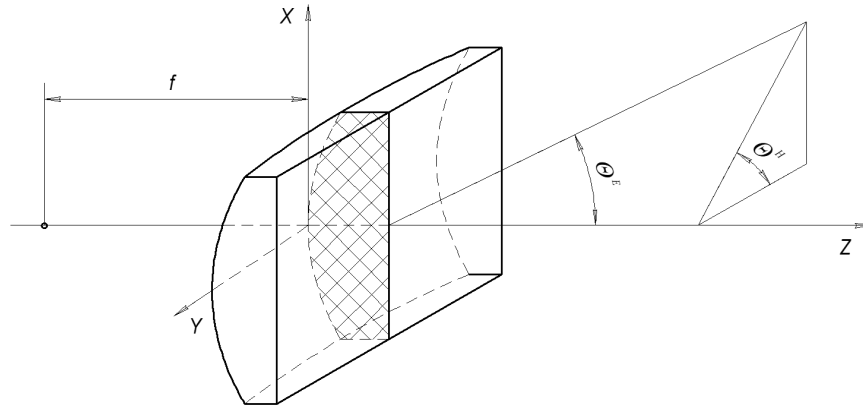


Рис. 4. Профіль діелектричної лінзи

Параметри амплітудної ДС антени занесені до табл. 1.

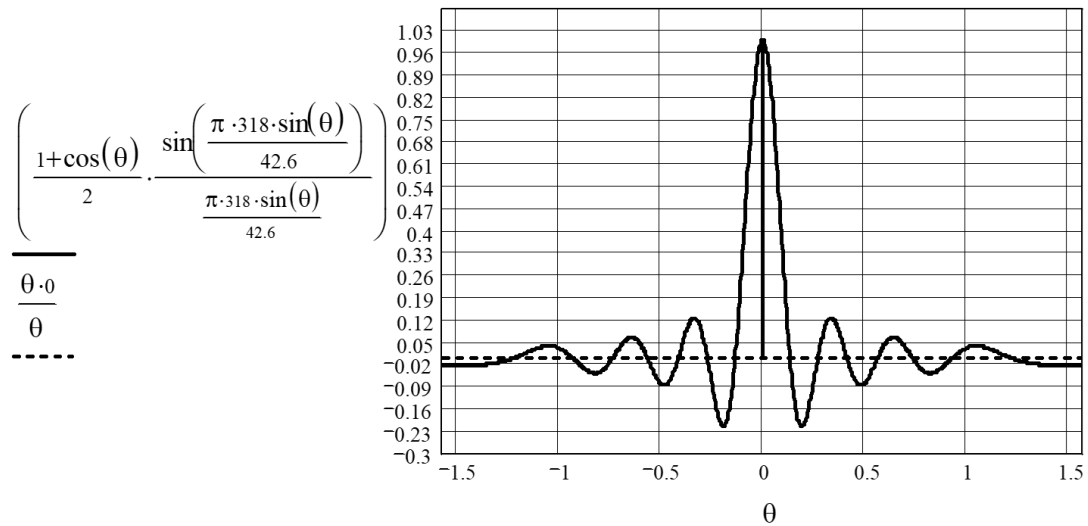


Рис. 5. Діаграма спрямованості в площині Н в декартовій системі координат на середній довжині хвилі  $\lambda = 42,6$  мм робочого діапазону

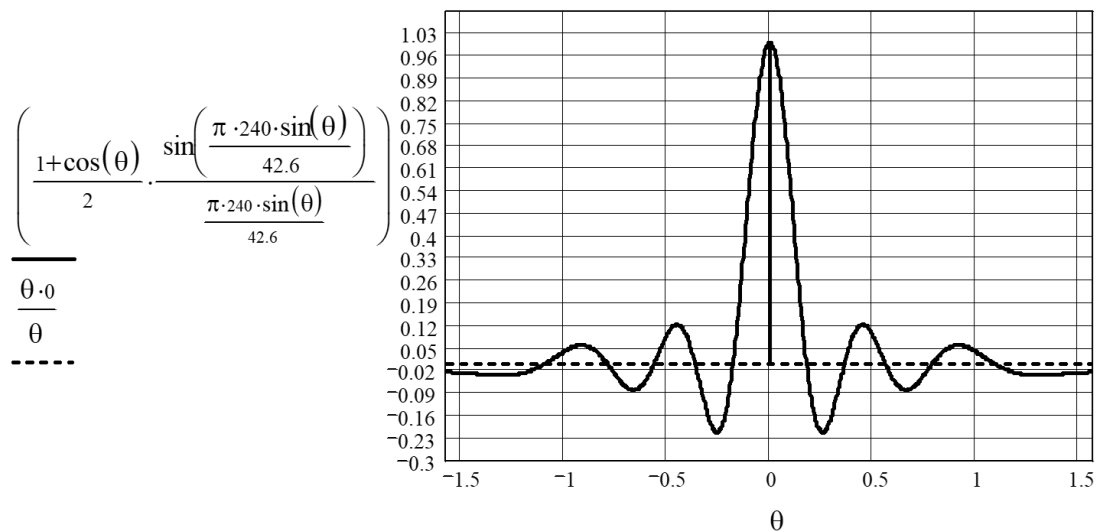


Рис. 6. Діаграма спрямованості в площині Е в декартовій системі координат на середній довжині хвилі  $\lambda = 42,6$  мм робочого діапазону

Результати математичного моделювання амплітудної ДС антени

	Н			Е		
	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\lambda_{\max}$	$\lambda_{\min}$	$\lambda_{\text{ср}}$	$\lambda_{\max}$
$\theta$	6,2°	6,7°	7,2°	8,14°	9,06°	9,75°
РБП	0,218	0,212	0,207	0,222	0,212	0,202

Коефіцієнт спрямованої дії антени (КСД) – це відношення квадрата напруженості електричного поля, створюваного антеною в заданому напрямку, до середнього значення квадрата напруженості електричного поля в усіх напрямках. Для діелектричної лінзової антени КСД визначено за формулою

$$D = 0,81 \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\lambda^2} \cdot L_E \cdot L_H, \quad (4)$$

де  $L_H = 318$  мм – довжина широкої (горизонтальної) сторони розкриву рупора,

$L_E = 240$  мм – довжина вузької (вертикальної) сторони розкриву рупора.

Графік залежності коефіцієнта спрямованої дії антени від довжини хвилі поданий на рис. 7.

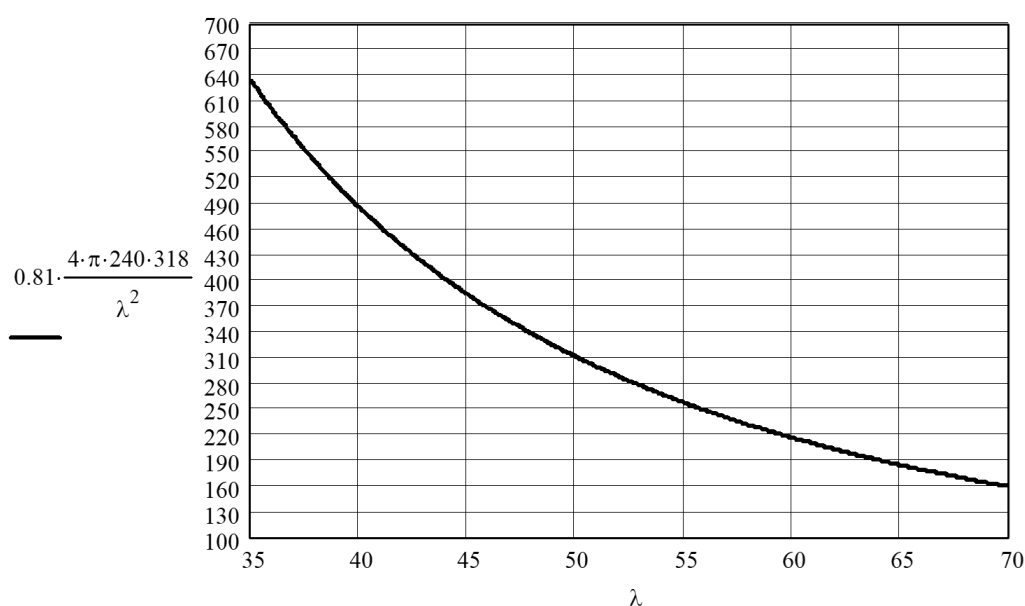


Рис. 7. Залежність коефіцієнта спрямованої дії антени від довжини хвилі (в діапазоні довжин хвиль 35-70 мм)

Коефіцієнт підсилення антени – це відношення потужності на вході еталонної антени до потужності, яка підводиться до входу досліджуваної антени, за умови, що обидві антени створюють у даному напрямку на однаковій відстані рівні значення напруженості поля або такої ж щільності потоку потужності.

Коефіцієнт підсилення антени діелектричної лінзової антени визначається за формулою

$$G = \eta \cdot D, \quad (5)$$

де  $\eta = 93\%$  – коефіцієнт корисної дії рупорної антени з діелектричною лінзою.

Графік залежності коефіцієнта підсилення антени від довжини хвилі поданий на рис. 8.

Залежність ширини променя від довжини хвилі визначено за формулами:

– в площині Н

$$L_H = \frac{67^\circ \cdot \lambda}{20_{0,5}^E}, \quad (6)$$

– в площині Е

$$L_E = \frac{51^\circ \cdot \lambda}{20_{0,5}^E}. \quad (7)$$

Графік залежності ширини пелюстки амплітудної ДС у напрямку основного випромінювання від довжини хвилі в площині Н і в площині Е подані на рис. 9 – рис. 10 відповідно.

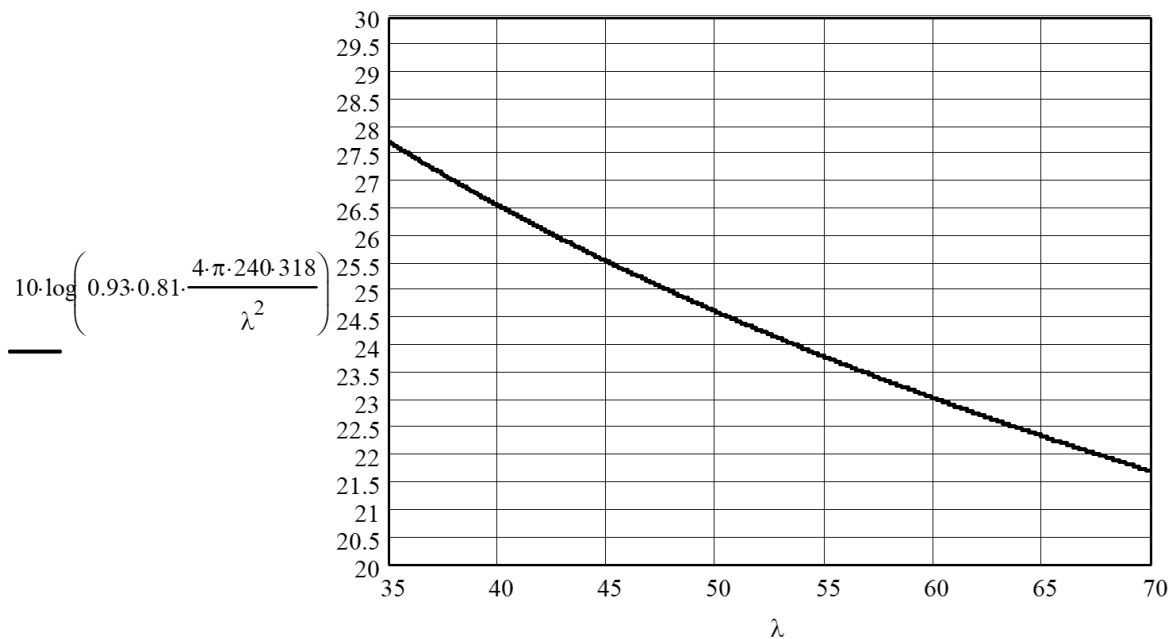


Рис. 8. Графік залежності коефіцієнта підсилення антени від довжини хвилі (в діапазоні довжин хвиль 35-70 мм)

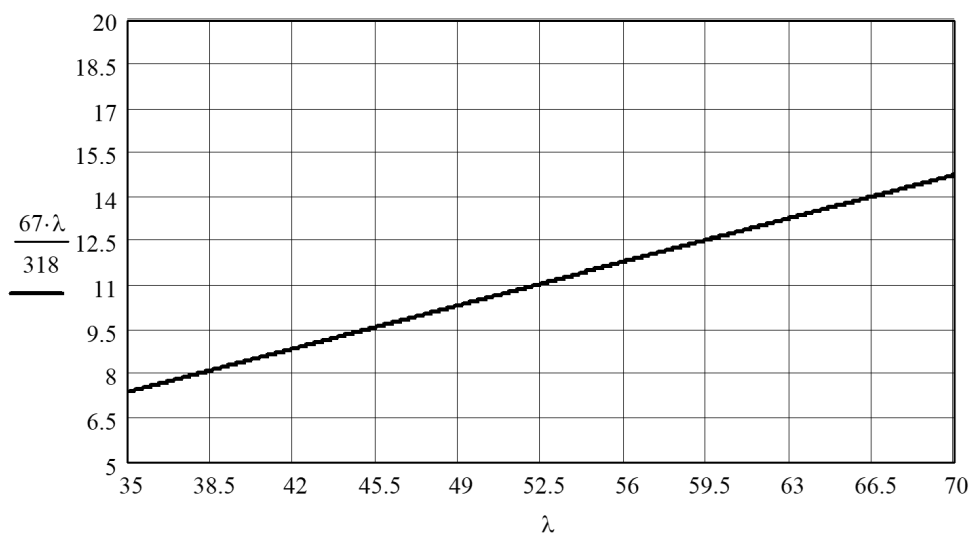


Рис. 9. Графік залежності ширини пелюстки амплітудної ДС у напрямку основного випромінювання від довжини хвилі в площині Н

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** У роботі було запропоновано варіант діелектричної лінзової антени для діапазону частот 4285,7 МГц – 8571,4 МГц (довжини хвиль 35 мм – 70 мм). Її перевагою є те, що вона має досить високий коефіцієнт спрямованої дії, високий коефіцієнт корисної дії та високий коефіцієнт підсилення. Дана антена має досить просту конструкцію, яка не потребує дуже точних розмірів. Робочий діапазон частот у якому забезпечено хвильовий опір антени 75 Ом становить 6,5–7,6 ГГц. У робочому діапазоні частот ширина діаграми спрямованості змінюється в таких межах  $2\theta_{0,5}^E = 8,14^\circ \dots 9,75^\circ$ ;  $2\theta_{0,5}^H = 6,2^\circ \dots 7,2^\circ$ . В таких антенах можуть бути реалізовані оптимальні ДС, так як розподіл поля в розкритті може вибиратися в широких межах за рахунок зміни зв'язку випромінювачів з хвилеводом. В антені використаний найпоширеніший збуджувальний пристрій зондового



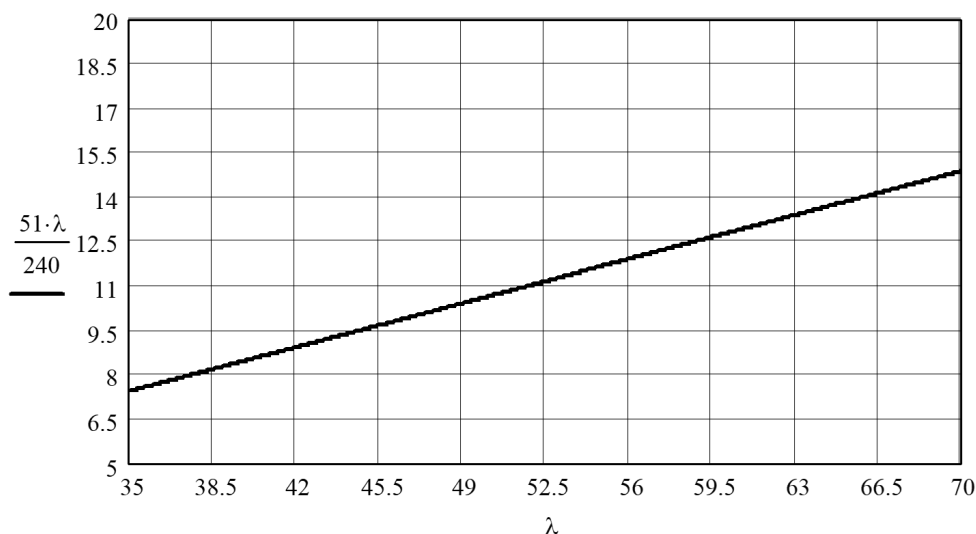


Рис. 10. Графік залежності ширини пелюстки амплітудної ДС у напрямку основного випромінювання від довжини хвилі в площині Е

типу, який виконаний у вигляді несиметричного штиря, що розташований паралельно силовим лініям електричного поля. Коефіцієнт спрямованої дії антени у робочому діапазоні частот знаходиться в межах 490-370 разів, а її коефіцієнт підсилення по потужності змінюється у межах 26,55-26,0 дБ. З отриманих результатів досліджень слідує, що параметри антени у робочому діапазоні частот 6,5–7,6 ГГц змінюються в невеликих межах. Подальший розвиток досліджень у даному напрямку полягає у застосуванні нейронної мережі для керування параметрами сигналу (амплітуди та фази) збудження електромагнітних коливань у рупорній з метою досягнення максимально можливих її спрямованих властивостей. Це уможливить значно збільшити відстань бездротового зв'язку типу «точка-точка» при незмінній потужності радіопередавача.

#### Список використаних джерел:

1. Lee J. N., Cho Y. K., Jung J. H., Hyun S. B. High-gain sub-terahertz lens horn antenna with a metal guide. *Electronics Letters*. 2020. Vol. 56, Issue 14, pp. 689–691. DOI: 10.1049/el.2020.0860
2. Wang J., Lin H., Yang F., Xu G., Ge J. Design of 94GHz Dual-Polarization Antenna Fed by Diagonal Horn for Cloud Radars. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10, pp. 22480–22486. DOI: 10.1109/access.2022.3154483
3. He Y., Zhao X., Zhao L., Fan Z., Wang J.-K., Zhang L., Ni C., Wu W.-J. Design of Broadband Double-Ridge Horn Antenna for Millimeter-Wave Applications. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9, pp. 118919–118926. DOI: 10.1109/access.2021.3107914
4. Huang S., Chan K. Y., Wang Y., Ramer R. High Gain SIW H-Plane Horn Antenna with 3D Printed Parasitic E-Plane Horn. *Electronics*. 2021. Vol. 10, Issue 19, p. 2391. DOI: 10.3390/electronics10192391
5. Wang P., Wu Q., He R.-B., Luo W. Gain and Radiation Pattern Enhancement of the H-Plane Horn Antenna Using a Tapered Dielectric Lens. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7, pp. 69101–69107. DOI: 10.1109/access.2019.2915934
6. Chang C., Zhu X., Liu G., Fang J., Xiao R., Chen C., Shao H., Li J., Huang H., Zhang Q., Zhang Z.-Q. Design and Experiments of the GW High-Power Microwave Feed Horn. *Progress In Electromagnetics Research*. 2010. Vol. 101, pp. 157–171. DOI: 10.2528/pier10010202
7. Jacobs B., Odendaal J. W., Joubert J. An Improved Design for a 1–18 GHz Double-Ridged Guide Horn Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2012. Vol. 60, Issue 9, pp. 4110–4118. DOI: 10.1109/tap.2012.2207043
8. Wang J., Yao Y., Yu J., Chen X. Broadband compact smooth horn with flat-top radiation pattern. *Electronics Letters*. 2019. Vol. 55, Issue 3, pp. 119–120. DOI: 10.1049/el.2018.7541
9. Broadband TEM Horn Antenna TEMH 6000. URL: [http://schwarzbeck.de/Datenblatt/m\\_temh6000.pdf](http://schwarzbeck.de/Datenblatt/m_temh6000.pdf)
10. High-power horn antennas PowerLOG® PRO series. URL: [https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/PowerLOG/PowerLOG\\_PRO\\_Horn\\_Antennas\\_Quad\\_only.pdf](https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/PowerLOG/PowerLOG_PRO_Horn_Antennas_Quad_only.pdf)
11. 3164-06 Open Boundary Quad-Ridged Horn. URL: <https://www.ets-https://www.ets-lindgren.com/datasheet/antennas/open-boundary-quad-ridged-horn/4003/400303>
12. 3164-08 Open Boundary Quad-Ridged Horn. URL: <https://www.ets-lindgren.com/datasheet/antennas/open-boundary-quad-ridged-horn/4003/400304>
13. The horn antennas of the PowerLOG® PRO series. URL: <https://aaronia.com/antennas/powerlog-pro-series-horn/>

14. Teber A. Beamforming Radiation Properties of Absorbing/Transparent Zones-Added Horn Antenna. *Gazi University Journal of Science*. 2020. (Vol. 33, Issue 2, pp. 355–363). DOI: 10.35378/gujs.602204
15. Tomaz A., Barroso J. J., Hasar U. C. Side Lobe Reduction in an X-Band Horn Antenna Loaded by a Wire Medium. *Journal of Aerospace Technology and Management*. 2015. Vol. 7, Issue 3, pp. 307–313. DOI: 10.5028/jatm.v7i3.468
16. Zhang Z.-Y., Lu K., Leung K. W. Gain Enhancement of Horn Antenna Using a Metal Lens. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2022. pp. 1–1. DOI: 10.1109/tap.2022.3228631
17. Patel A., Vala A., Mahant K., Bhatt P., Chaudhari J., Mewada H. Performance Analysis of Corrugated Horn Antenna for Liquid Level Measurement Application. In: Dhavse, R., Kumar, V., Monteleone, S. (eds) *Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2023, vol. 952. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-6737-5\_6
18. Andriy Semenov, Olena Semenova, Bogdan Pinaiev, Dmytro Kozin, Oleksandr Shpylovyi. Study of the radiation pattern of a rectangular horn antenna in the operation of multimode propagation of electromagnetic waves. *Technology Audit and Production Reserves*. 2022. № 2/2(64), pp. 50–55. DOI: 10.15587/2706-5448.2022.256560
19. Semenov A., Havrilov D., Volovyk A., Stalchenko O., Kulas R., Ilchuk D. Single-Mode and Multimode Operation of the Rectangular Waveguide with a Spherical Ferrite Probe. *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 26–28 Aug. 2021, pp. 100–104. DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575750.
20. Semenov A., Semenova O., Pinaiev B., Kulas R., Shpylovyi O. Development of a flexible antenna-wristband for wearable wrist-worn infocommunication devices of the LTE standard. *Technology Audit and Production Reserves*. 2022. Vol. 3, Issue 1(65), pp. 20–26. DOI 10.15587/2706-5448.2022.261718

#### References:

1. Lee, J. N., Cho, Y. K., Jung, J. H., & Hyun, S. B. (2020). High-gain sub-terahertz lens horn antenna with a metal guide. In *Electronics Letters* (Vol. 56, Issue 14, pp. 689–691). Institution of Engineering and Technology (IET). <https://doi.org/10.1049/el.2020.0860>
2. Wang, J., Lin, H., Yang, F., Xu, G., & Ge, J. (2022). Design of 94GHz Dual-Polarization Antenna Fed by Diagonal Horn for Cloud Radars. In *IEEE Access* (Vol. 10, pp. 22480–22486). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/access.2022.3154483>
3. He, Y., Zhao, X., Zhao, L., Fan, Z., Wang, J.-K., Zhang, L., Ni, C., & Wu, W.-J. (2021). Design of Broadband Double-Ridge Horn Antenna for Millimeter-Wave Applications. In *IEEE Access* (Vol. 9, pp. 118919–118926). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/access.2021.3107914>
4. Huang, S., Chan, K. Y., Wang, Y., & Ramer, R. (2021). High Gain SIW H-Plane Horn Antenna with 3D Printed Parasitic E-Plane Horn. In *Electronics* (Vol. 10, Issue 19, p. 2391). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/electronics10192391>
5. Wang, P., Wu, Q., He, R.-B., & Luo, W. (2019). Gain and Radiation Pattern Enhancement of the H-Plane Horn Antenna Using a Tapered Dielectric Lens. In *IEEE Access* (Vol. 7, pp. 69101–69107). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/access.2019.2915934>
6. Chang, C., Zhu, X., Liu, G., Fang, J., Xiao, R., Chen, C., Shao, H., Li, J., Huang, H., Zhang, Q., & Zhang, Z.-Q. (2010). DESIGN AND EXPERIMENTS OF THE GW HIGH-POWER MICROWAVE FEED HORN. In *Progress In Electromagnetics Research* (Vol. 101, pp. 157–171). The Electromagnetics Academy. <https://doi.org/10.2528/pier10010202>
7. Jacobs, B., Odendaal, J. W., & Joubert, J. (2012). An Improved Design for a 1–18 GHz Double-Ridged Guide Horn Antenna. In *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* (Vol. 60, Issue 9, pp. 4110–4118). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/tap.2012.2207043>
8. Wang, J., Yao, Y., Yu, J., & Chen, X. (2019). Broadband compact smooth horn with flat-top radiation pattern. In *Electronics Letters* (Vol. 55, Issue 3, pp. 119–120). Institution of Engineering and Technology (IET). <https://doi.org/10.1049/el.2018.7541>
9. Broadband TEM Horn Antenna TEMH 6000. Retrieved from [http://schwarzbeck.de/Datenblatt/m\\_temh6000.pdf](http://schwarzbeck.de/Datenblatt/m_temh6000.pdf)
10. High-power horn antennas PowerLOG® PRO series. Retrieved from [https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/PowerLOG/PowerLOG\\_PRO\\_Horn\\_Antennas\\_Quad\\_only.pdf](https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/PowerLOG/PowerLOG_PRO_Horn_Antennas_Quad_only.pdf)
11. 3164-06 Open Boundary Quad-Ridged Horn. Retrieved from <https://www.ets-lindgren.com/datasheet/antennas/open-boundary-quad-ridged-horn/4003/400303>
12. 3164-08 Open Boundary Quad-Ridged Horn. Retrieved from <https://www.ets-lindgren.com/datasheet/antennas/open-boundary-quad-ridged-horn/4003/400304>
13. The horn antennas of the PowerLOG® PRO series. Retrieved from <https://aaronia.com/antennas/powerlog-pro-series-horn/>
14. TEBER, A. (2020). Beamforming Radiation Properties of Absorbing/Transparent Zones-Added Horn Antenna. In *GAZI UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE* (Vol. 33, Issue 2, pp. 355–363). Gazi University Journal of Science. <https://doi.org/10.35378/gujs.602204>

- 
15. Tomaz, A., Barroso, J. J., & Hasar, U. C. (2015). Side Lobe Reduction in an X-Band Horn Antenna Loaded by a Wire Medium. In *Journal of Aerospace Technology and Management* (Vol. 7, Issue 3, pp. 307–313). FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.5028/jatm.v7i3.468>
  16. Zhang, Z.-Y., Lu, K., & Leung, K. W. (2022). Gain Enhancement of Horn Antenna Using a Metal Lens. In *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* (pp. 1–1). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/tap.2022.3228631>
  17. Patel, A., Vala, A., Mahant, K., Bhatt, P., Chaudhari, J., & Mewada, H. (2022). Performance Analysis of Corrugated Horn Antenna for Liquid Level Measurement Application. In *Lecture Notes in Electrical Engineering* (pp. 65–71). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-6737-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6737-5_6)
  18. Semenov, A., Semenova, O., Pinaiev, B., Kozin, D., & Shpylovyi, O. (2022). Study of the radiation pattern of a rectangular horn antenna in the operation of multimode propagation of electromagnetic waves. In *Technology audit and production reserves* (Vol. 2, Issue 2(64), pp. 50–55). Private Company Technology Center. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.256560>
  19. Semenov, A., Havrilov, D., Volovyk, A., Stalchenko, O., Kulias, R., & Ilchuk, D. (2021). Single-Mode and Multimode Operation of the Rectangular Waveguide with a Spherical Ferrite Probe. In *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575750>
  20. Semenov, A., Semenova, O., Pinaiev, B., Kulias, R., & Shpylovyi, O. (2022). Development of a flexible antenna-wristband for wearable wrist-worn infocommunication devices of the LTE standard. In *Technology audit and production reserves* (Vol. 3, Issue 1(65), pp. 20–26). Private Company Technology Center. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.261718>

**Чанишев Р. І.**, кандидат юридичних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних технологій  
Національного університету «Одеська юридична академія»  
ORCID: 0000-0002-3592-7223

## ФЕДЕРАТИВНА ЄВРОПЕЙСЬКА ІНФРАСТРУКТУРА ДАНИХ GAIA-X ЯК ІНСТРУМЕНТ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СУВЕРЕНІТЕТУ ЄВРОПИ: ДОСВІД ДЛЯ УКРАЇНИ

У статті аналізуються проблеми, пов'язані з поновленням технологічного суверенітету Європи у сфері збору, зберігання, обробки і обміну даними за допомогою хмарних технологій, розробляються загальні рекомендації щодо розміщення державних інформаційних технологій та їх резервних копій у хмарних сервісах країн Європейського Союзу, що має важливе значення в умовах євроінтеграційного розвитку нашої країни, враховуючи те, що 28 лютого 2022 року Україна офіційно подала заявку на членство в ЄС.

Зазначається, що Законом України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення функціонування інформаційно-комунікаційних систем, електронних комунікаційних систем, публічних електронних реєстрів» від 15 березня 2022 року №2130-ІХ внесено зміни до Закону України «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах», що передбачають можливість розміщення державних інформаційних ресурсів та їх резервних копій на хмарних ресурсах та/або центрах обробки даних, що розташовані за межами України. При цьому існують обмеження, що не дозволяють розміщувати дані на території низки країн.

Розглядається можливість розміщення таких даних у хмарних сервісах країн Європейського Союзу. Аналізується діяльність асоціації Gaia-X, створеної у 2020 році, завданням якої є створення загальноєвропейської системи хмарного збору, зберігання, обробки та вільного обміну даними. Фактичною метою асоціації є забезпечення суверенітету і конкурентноспроможності європейської економіки.

Відзначається, що при цьому сама асоціація Gaia-X не є хмарною платформою або офіційним органом із стандартизації, не надає послуг і не займається безпосередньою технічною реалізацією проектів, розроблених за її завданнями. Водночас до теперішнього часу діяльність Gaia-X недостатньо висвітлюється у вітчизняній літературі, інформація про неї, як правило, обмежується короткими новинними повідомленнями.

Наголошується на необхідності ґрунтовного дослідження діяльності цієї асоціації, її мети, завдань, використаних нею методів, і проблем, які виникли в ході їх реалізації. Крім того, акцентується увага на необхідності розгляду і можливих існуючих альтернатив на той випадок, якщо асоціація Gaia-X не зможе вирішити багаточисельні проблеми, що виявилися в її діяльності останніми роками.

Ключові слова: хмарні технології, європейська інтеграція України, монополізація надання хмарних послуг, Європейська екосистема інформаційного простору, загальноєвропейський простір медіаданих, Європейський хмарний промисловий альянс.

### **Chanyshv R. I. Federated European data infrastructure Gaia-X as a tool of European technological sovereignty: experience for Ukraine**

The article analyzes the problems associated with the renewal of Europe's technological sovereignty in the field of data collection, storage, processing and exchange using cloud technologies, develops general recommendations for the placement of state information technologies and their backup copies in the cloud services of the countries of the European Union, which has an important significance in terms of the European integration development of our country, taking into account the fact that Ukraine officially submitted an application for EU membership on February 28, 2022.

It is noted that the Law of Ukraine "On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding Ensuring the Functioning of Information and Communication Systems, Electronic Communication Systems, Public Electronic Registries" dated March 15, 2022 No 2130-IX amended the Law of Ukraine "On Protection of Information in Information and Communication Systems", namely regarding the possibility of placing state information resources and their backup copies on cloud resources and/or data processing centers located outside of Ukraine. At the same time, there are restrictions that do not allow posting data on the territory of a number of countries.

The possibility of placing such data in cloud services of the countries of the European Union is being considered. The activity of the Gaia-X association, established in 2020, is analyzed, the task of which is to create a pan-European system of cloud collection, storage, processing and free exchange of data. The actual goal of the association is to ensure the sovereignty and competitiveness of the European economy.

It is noted that the Gaia-X association itself is not a cloud platform or an official standardization body, does not provide services and is not engaged in the direct technical implementation of projects developed according to its tasks. At the same time, the activities of Gaia-X are not sufficiently covered in domestic literature to date, information about it is usually limited to short news reports.



---

*It is emphasized the need for a thorough study of the activities of this association, its purpose, tasks, methods used by it, and problems that arose during their implementation. In addition, attention is focused on the need to consider and possible existing alternatives in case the Gaia-X association cannot solve the numerous problems that have appeared in its activities in recent years.*

*Key words: cloud technologies, European integration of Ukraine, monopolization of the provision of cloud services, European Information Space Ecosystem, Common European Media Data Space, European Cloud Industrial Alliance.*

**Постановка проблеми.** Військова агресія РФ проти України, що почалася 24 лютого 2022 року, зумовила необхідність посилення захисту даних в українських інформаційно-комунікаційних системах. У зв'язку з цим 15 березня 2022 року Верховна Рада України прийняла Закон «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення функціонування інформаційно-комунікаційних систем, електронних комунікаційних систем, публічних електронних реєстрів» №2130-IX [1], яким було внесено зміни до законів України «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах», «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» та «Про публічні електронні реєстри».

Так, ст. 8 Закону України «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах» було доповнено частиною п'ятою, в якій закріплено норму про те, що «власники системи для забезпечення належного функціонування систем та захисту інформації, що обробляється в них ... забезпечують в установленому законодавством порядку передачу (переміщення) державних інформаційних ресурсів та їх резервних копій для розміщення на хмарних ресурсах та/або в центрах обробки даних, розташованих за межами України, протягом періоду дії правового режиму воєнного стану в Україні та шести місяців після його припинення чи скасування».

Центри обробки даних можуть бути розташовані у будь-якій точці земної кулі. Проте у частині сьомій ст. 8 Закону зазначається, що «розміщення систем та зберігання резервних копій державних інформаційних ресурсів та систем на територіях України, на яких органи державної влади України тимчасово не здійснюють свої повноваження, територіях держав, визнаних Верховною Радою України державами-агресорами, територіях держав, щодо яких застосовані санкції відповідно до Закону України "Про санкції", та територіях держав, які входять до митних та воєнних союзів з такими державами, забороняється».

Законом України від 1 липня 2010 року «Про засади внутрішньої і зовнішньої політики» одними із принципів та пріоритетів України визнано інтеграцію України до європейського політичного, економічного та правового простору. 28 лютого 2022 року Україна офіційно подала заявку на членство у ЄС, а 1 березня 2022 року Європарламент рекомендував надати Україні статусу країни-кандидата на вступ до ЄС.

Враховуючи вищевикладене, основним місцем розміщення державних інформаційних ресурсів та їх резервних копій для розміщення на хмарних ресурсах та/або в центрах обробки даних, розташованих за межами України, можуть бути, насамперед, території країн-членів Європейського Союзу. У зв'язку з цим існує необхідність ретельного вивчення поточної ситуації, перспектив та проблем, які можуть бути якимось чином пов'язані з розміщенням зазначених ресурсів та їх резервних копій на території цих країн.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз публікацій, пов'язаних із зазначеною темою, показує, хоча ця проблема активно обговорюється в зарубіжних джерелах, наприклад, у роботах таких авторів, як професори Борис Отто, Майкл тен Гомпель і Стефан Вробель [2, 3], низці публікацій у медіа [4, 5], але поки що не знайшла свого належного відображення у науковій літературі. Число вітчизняних публікацій на цю тему вкрай мало, і практично всі вони носять не науковий, а новинний характер.

Такий парадокс можна пояснити як новизною самої теми, так і тим, що вона перебуває на стику таких далеко не суміжних галузей знань, як комп'ютерні технології, економіка і право. Отже, для розкриття цієї теми необхідні спеціальні знання одразу з декількох галузей знань, що на практиці зустрічається дуже рідко.

**Мета статті.** Метою статті є аналіз проблем, пов'язаних з поновленням технологічного суверенітету Європи у сфері збору, зберігання, обробки і обміну даними за допомогою хмарних технологій, та шляхів їх вирішення, а також розробка загальних рекомендацій щодо розміщення державних інформаційних технологій та їх резервних копій у хмарних сервісах країн Європейського Союзу.

**Виклад основного матеріалу.** Зростання пропускнуєї спроможності мережі Інтернет дозволило реалізувати ідею початку 70-х років ХХ століття Джозефа Ліклайдера (одного із творців мережі ARPANET) про те, що кожна людина зможе використовувати підключення до глобальної комп'ютерної мережі не тільки для обміну даними, але й для доступу до віддалено виконуваних комп'ютерних програм.

Ця можливість була реалізована практично, починаючи приблизно з 2006 року, коли компанія Amazon запустила для комерційного використання свій сервіс Elastic Compute Cloud (EC2). Згодом аналогічні послуги стали надавати й інші компанії, наприклад, Microsoft, яка запустила в 2010 році сервіс Azure, і компанія Google, яка запустила у 2012 році сервіс Google Compute Engine. Приблизно з того ж 2012 року для позначення всієї сукупності подібних послуг набув поширення термін «Хмарні технології».

Переваги використання хмарних технологій призвели до того, що вони стали активно використовуватися у всіх сферах людської діяльності – на виробництві, в бізнесі, охороні здоров'я, навчанні, медіа тощо. Проте основними постачальниками хмарних послуг у світі, як і раніше, залишаються компанії Amazon, Microsoft і Google, розташовані в США.

---

Особливістю реалізації хмарних технологій є те, що всі дані зберігаються на комп'ютерах, розташованих у центрах обробки даних (далі – ЦОД), при цьому користувачі зазвичай не знають, де саме територіально знаходиться той ЦОД, на комп'ютерах якого знаходяться дані. Таким чином, дані користувачів знаходяться в повному розпорядженні компаній, що надають послуги хмарних сервісів.

Для отримання доступу до хмарних послуг користувачі повинні укласти з постачальником послуг договір (так званий «договір приєднання», умови якого не обговорюються, їх можна лише прийняти або не прийняти). Договір у більшості випадків укладається дистанційно шляхом підтвердження згоди з умовами договору натисканням на відповідну кнопку («ОК», «Продовжити», «Далі» тощо) у вікні програми. При цьому користувачеві надається можливість ознайомитися з умовами використання хмарних технологій, але найчастіше це робиться у формі, малопомітній для користувача [6].

У цих умовах зазвичай обговорюється можливість повного доступу провайдера хмарних технологій (далі – ПроХТ) до всіх файлів користувача, що зберігаються в ЦОД, а також доступ до електронних листів та інших комунікаційних програм. Крім того, в цих умовах вказано на можливість припинення надання доступу користувача до послуг і файлів з будь-якої причини та в будь-який момент. Тим самим надання послуг, навіть оплачених, повністю залежить від довільного рішення самого ПроХТ [7, 8].

2018 року у США був прийнятий Закон, що регулює використання хмарних даних – US CLOUD Act [9], який носить екстериторіальний характер, що дозволяє федеральним правоохоронним органам, у разі потреби, в судовому порядку зобов'язувати американські технологічні компанії надавати запитані дані, що зберігаються на серверах їх ЦОД, незалежно від того, чи зберігаються ці дані в США або на території інших країн.

Оскільки хмарні послуги у сучасних реаліях тісно пов'язані практично з усіма сферами людської діяльності, подібні рішення ПроХТ можуть призвести до негативних наслідків не лише для приватних чи бізнес-користувачів, а й для окремих держав чи їх спільнот.

Фактична монополізація надання хмарних послуг американськими компаніями стала викликати тривогу у провідних держав Європейського Союзу, насамперед у ФРН, Франції, Італії, Бельгії та Іспанії. Так, наприклад, наприкінці 2020 року найбільший у Німеччині фінансовий конгломерат Deutsche Bank AG уклав угоду з Google (Alphabet) про перенесення більшої частини своїх даних на сервери Google, оскільки в ЄС на той момент не було власної хмарної платформи, яка могла б конкурувати з американськими ПроХТ [10]. Було усвідомлено, що для того, щоб уряди, компанії та приватні громадяни не втратили контроль над своїми даними, що зберігаються у хмарних системах, необхідно створити власну, європейську систему надання хмарних послуг.

Ще 2015 року, у початковий період розвитку хмарних технологій, у Європі було створено некомерційну торговельну асоціацію провайдерів інфраструктурних хмарних послуг (провайдерів IaaS). У 2017 році її було зареєстровано під назвою CISPE (Cloud Infrastructure Services Providers in Europe). Цілями асоціації стали: формування загальноєвропейської політики державних закупівель у сфері хмарних технологій; створення єдиного європейського цифрового ринку; створення та впровадження правил/стандартів безпеки та захисту даних високого рівня, не прив'язаних до конкретного постачальника послуг.

У 2019 році, спираючись на успіхи, досягнуті CISPE, міністрами економіки Німеччини та Франції було ініційовано проект створення загальноєвропейської системи управління хмарними даними. При цьому сама CISPE стала одним із 22 членів-засновників цієї системи [11].

15 вересня 2020 р. 22 членами-засновниками було створено Асоціацію Gaia-X. Свою назву вона отримала на честь давньогрецької богині Геї, яка вважалася хранителькою стародавньої мудрості. Статут та цілі Асоціації були визначені у спільному франко-німецькому документі, в якому було викладено позицію цих країн із вказаного питання. Асоціація набула офіційного статусу після її затвердження Указом короля Бельгії від 21 грудня 2021 р. Згідно з бельгійським законодавством, асоціація Gaia-X є міжнародною некомерційною організацією (AISBL).

Асоціація Gaia-X призначена для реалізації однойменного проекту Gaia-X, метою якого є забезпечення суверенітету та конкурентоспроможності європейської економіки. Основним завданням асоціації Gaia-X є загальне управління процесом створення наступного покоління загальноєвропейської інфраструктури отримання, зберігання, обробки даних, організації доступу до даних та координація взаємодії між безпосередніми розробниками проектів. При цьому сама асоціація Gaia-X не є хмарною платформою чи офіційним органом зі стандартизації, не надає послуг та не займається безпосередньою технічною реалізацією розроблених за її завданням проектів.

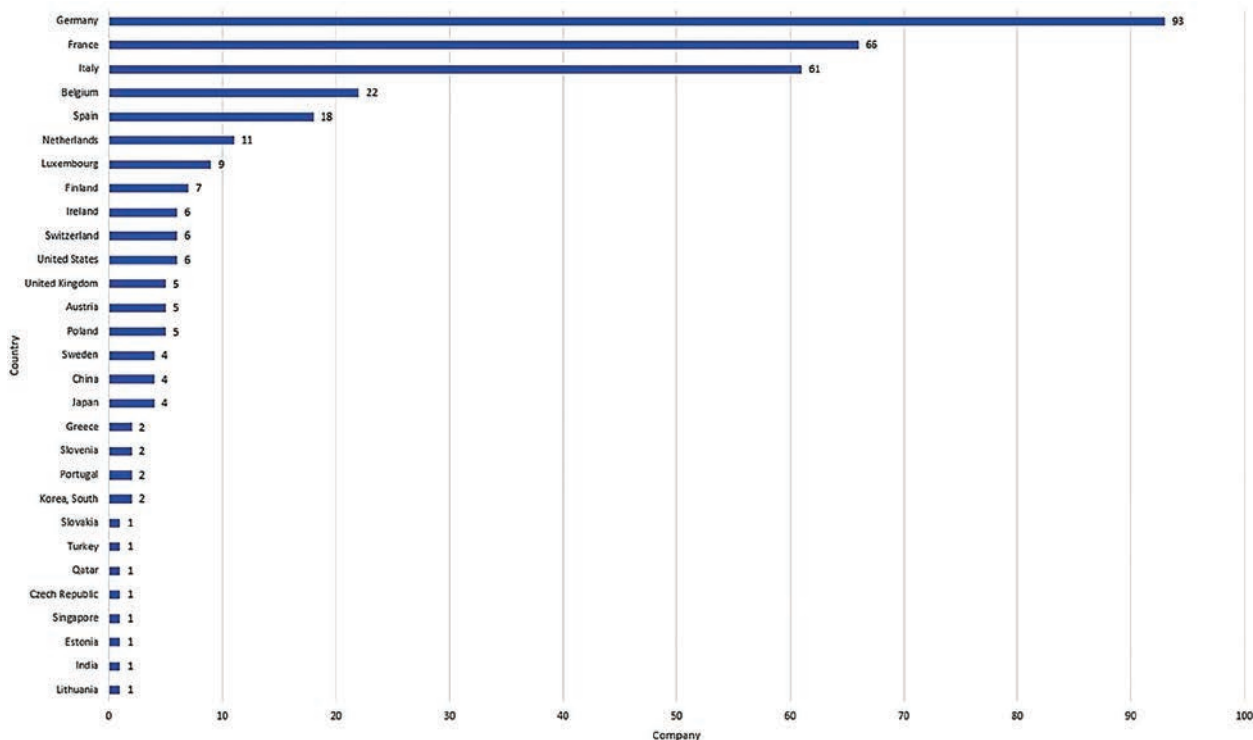
Членами асоціації можуть стати будь-які ПроХТ та користувачі, які приймають положення її статуту та згодні з її цілями. Тим самим членство в асоціації може бути надано для організацій та користувачів з будь-якої країни світу, включаючи США.

Рішення 22 членів-засновників Gaia-X про надання членства в європейській асоціації американським та китайським компаніям було дещо вимушеним і пов'язане з тим, що 70% хмарних послуг європейським користувачам наразі надаються американськими компаніями Amazon, Microsoft та Google, а китайські компанії мають великий потенціал подальшого розвитку. При цьому представник компанії Microsoft Каспер Клінг заявив, що без участі великих американських хмарних провайдерів проект Gaia-X не може бути реалізований в принципі, а відхід американських ПроХТ з Європи означатиме крах європейської економіки.

Свою чергою один з експертів проекту Gaia-X Курт Гарлофф зазначив, що у списку сервісів Gaia-X необхідно чітко вказати на те, що хоча завантаження некритичних даних (у тому числі й тих, які не містять персональних даних громадян ЄС) у ЦОД американських ПроХТ допустиме, але несе загрозу збереження конфіденційності даних через відсутність контролю ЄС над неєвропейськими ПроХТ - «Користувачі повинні знати, з чим вони пов'язуються».

З іншого боку, існують певні побоювання, що кошти проекту Gaia-X можуть бути використані для неявного фінансування американських та азіатських компаній [12].

До теперішнього часу до складу асоціації увійшло понад 425 членів, які представляють 20 різних країн світу та 16 національних центрів.



Кількість членів асоціації Gaia-X по країнах на початок 2022 року

Основним принципом архітектури Gaia-X є принцип децентралізації, що ґрунтується на об'єднанні різних систем шляхом використання єдиного стандарту – стандарту Gaia-X. При цьому декларується відкритість системи, її прозорість та взаємна довіра її учасників по відношенню один до одного.

По суті йдеться про створення єдиної загальноєвропейської хмарної системи, заснованої на Інтернет, контроль над якою, незважаючи на участь представників з неєвропейських країн, залишається у Європейської спільноти, оскільки 22 члени-засновники ухвалили рішення, що членами керівної Ради Gaia-X можуть бути тільки ті компанії, штаб-квартири яких перебувають у Європі.

Організаційно структура Gaia-X складається з:

- 1) власне асоціації Gaia-X (Gaia-X Association);
- 2) мережі національних центрів (National Gaia-X Hubs);
- 3) співтовариств Gaia-X (Gaia-X Community).

В рамках кожної структури функціонують різні робочі групи та комітети, основним завданням яких є створення єдиної цифрової інфраструктури для Європи.

У рамках Асоціації Gaia-X створено три комітети:

1. Технічний комітет, що займається створенням архітектури Gaia-X.
2. Комітет політики та правил, що визначає шляхи створення структури Gaia-X.
3. Комітет простору даних та бізнесу, що займається поєднанням технічних вимог із вимогами бізнесу.

Зокрема, завданнями Технічного комітету є розробка загальної архітектури Gaia-X, у тому числі завдання створення децентралізованої системи керування ідентифікацією та доступом на основі сертифікатів відкритих ключів за стандартом X.509 із підтримкою сучасного протоколу TLS. Пріоритетними напрямками є аерокосмічна галузь, сільське господарство, освіта, енергетика, фінанси, охорона здоров'я, промислове виробництво, ЗМІ та державний сектор.

---

Крім того, на запит Технічного комітету було створено європейську робочу групу, завданням якої є створення загальноєвропейського простору медіаданих (Media/CCI data space).

Через наслідки збройної агресії РФ проти України, в Європі виникла проблема збереження продовольчого суверенітету. Одним із напрямів його збереження є створення інформаційної системи, що дозволяє пов'язати понад 10 мільйонів європейських ферм із їхніми бізнес-партнерами, що забезпечить покращення логістики забезпечення переробної промисловості та експорту продовольства [13]. Також велика увага приділяється створенню систем штучного інтелекту та освіти.

Першочерговим завданням асоціації Gaia-X є створення Європейської екосистеми інформаційного простору (European Data Space Ecosystem) – спільного ринку даних для держав та бізнесу. Шляхи вирішення цього завдання були сформульовані в Європейській стратегії в галузі даних, представленою Єврокомісією 19 лютого 2020 року [14].

Стратегія визначила завдання, які необхідно вирішити протягом 2020 -2025 років, спираючись на акти, що вже діють, у тому числі такі, як Загальний регламент захисту даних (EU) 2016/679 (GDPR), Положення про вільний обмін неперсональними даними (EU) 2018 /1807 (FFD), Акт про кібербезпеку (EU) 2019/881 (CSA), Директива про відкриті дані (EU) 2019/1024 (Directive on Open Data and Reuse Public Sector Information (Recast)), Директива про цифровий контент (EU) 2019/770 (Directive on certain aspects concerning contracts for supply of digital contents and digital services) та Директива про електронну комерцію (EU) 2000/31 (Directive on electronic commerce).

У 2022 році було прийнято три нові акти: Акт про цифрові ринки (EU) 2022/1925 (DMA), Акт про цифрові послуги (EU) 2022/2065 (DSA) та Акт про цифрову операційну стійкість (EU) 2022/2554 (DORA).

Крім того, потрібно було внести додаткові зміни до законодавства країн ЄС, які дають змогу здійснювати управління загальноєвропейським інформаційним простором даних, у тому числі й у частині стандартизації, спрощення прийняття рішень, пов'язаних з тим, які дані, ким і для чого можуть бути використані.

Зокрема, передбачено створення механізмів, що спрощують отримання дозволу від фізичних осіб на використання отриманих або створених ними даних європейським суспільством (так званий «альтруїзм у сфері даних»). У зв'язку з цим слід зазначити, що, наприклад, в умовах використання хмарних служб Microsoft прямо застерігається, що, розміщуючи інформацію в хмарних службах, користувач цим надає компанії Microsoft повне право на використання цієї інформації у своїх цілях.

Прямо протилежним є підхід, який визначається Європейською стратегією в галузі даних, що передбачає обмін бізнес-даними між європейськими підприємствами за допомогою правил, розроблених та затверджених як постачальником послуг, так і самим користувачем.

Крім того, для Європейської екосистеми інформаційного простору передбачено механізм безкоштовного доступу до найкритичніших для суспільства наборів даних.

На жаль, успішно розпочатий проєкт останнім часом почав стикатися з труднощами, пов'язаними з тим, що між учасниками виникли розбіжності щодо його цілей та напрямів діяльності. Зокрема не вдається узгодити основні правила зберігання даних через затягування процедури їх розгляду. Крім того, асоціації закидають створення надмірної кількості робочих груп, що призводить до бюрократизації її діяльності. Велика кількість учасників, які мають свої цілі, не дозволяє досягти консенсусу при розгляді питань, при цьому ухвалення важливих рішень постійно відкладається.

У зв'язку з цим у членів асоціації виникли сумніви в успішному майбутньому проєкту Gaia-X. Чимало представників постачальників хмарних послуг вважають, що чисту мету Gaia-X навряд чи буде досягнуто, а створена організаційна структура Gaia-X не впоралася з управлінням такою великою кількістю учасників.

Відсутність прогресу в європейській програмі хмарних обчислень викликає тривогу на найвищому урядовому рівні. За словами президента Франції Еммануеля Макрона, «Європа дуже запізнилася» зі своїми суверенними хмарними планами» [15]. Запізнення виявляється і в тому, що через відсутність необхідного досвіду технічні робочі групи асоціації не в змозі вирішити багато питань самостійно, без допомоги американських та китайських компаній.

Характерним є те, що асоціація Gaia-X відмовилася надати представникам європейських ЗМІ повний доступ до документів своїх технічних комітетів, що дозволило б розкрити ступінь участі фахівців неєвропейських компаній у роботі.

Спочатку участь американських та китайських представників у технічних групах була штучно обмежена. Але згодом ці представники стали домінувати, оскільки американські та китайські компанії мають незрівнянно великий досвід подібних розробок.

У 2022 р. ряд неєвропейських фірм, включаючи Microsoft, Google, Amazon, Palantir, Huawei та Alibaba, були прийняті в асоціацію як повноправні члени. Це викликало побоювання, що таке рішення дасть можливість великим американським і китайським компаніям змінювати правила на свою користь, а не на користь європейських компаній.

Так, представник компанії Microsoft у своїй заяві зазначив, що GAIA-X — це проєкт, створений у Європі для Європи, але він відкритий для всіх, і Microsoft робить свій внесок у спільну справу, причому на



---

прохання самих європейських компаній. Компанія Microsoft визнає, що єдине та остаточне право прийняття рішень має залишатися в європейських руках.

Однак при цьому стало відомо, що багато членів правління Gaia-X є або клієнтами, або великими партнерами Amazon, Google і Microsoft та фактично представляють їх інтереси, що дає цим компаніям можливість впливати на процес прийняття рішень, у тому числі з таких важливих питань, як процедура передачі користувачами своїх даних до конкуруючої служби.

Незважаючи на те, що CISPE є одним із засновників Gaia-X, її разом з компаніями Vitkom і DigitalEurope звинувачують у тому, що вони представляють інтереси американських технологічних гігантів, таких, як Amazon, Google і Microsoft (які також є членами Gaia-X). та не надають жодних послуг, крім лобювання своїх власних інтересів.

За словами Мішеля Полена, члена ради директорів Gaia-X та генерального директора французької компанії OVHcloud, «деякі хочуть зірвати проєкт, уповільнити його чи дискредитувати. Він повільний, надто повільний. Є люди, які хочуть, щоб він не вдався під приводом участі». Крім того, він зазначив, що неєвропейські члени Gaia-X, які не дотримуються вимог щодо забезпечення суверенітету цієї асоціації, у тому числі китайські фірми Alibaba і Huawei, можуть бути виключені з консорціуму [16].

Зазначається, що тісні комерційні зв'язки між європейськими телекомунікаційними гігантами та американськими постачальниками хмарних послуг можуть ускладнити або взагалі унеможливити досягнення технологічного суверенітету Європи.

Так, американська компанія AWS та велика французька ІТ-компанія Atos 30 листопада 2022 року уклали багаторічний контракт, згідно з яким AWS стане хмарним провайдером для Atos, а Atos стане для AWS стратегічним партнером у галузі ІТ-аутсорсингу та трансформації ЦОД. При цьому представник Atos зазначив: «Ми пишаємося тим, що зміцнюємо наші взаємини з AWS у рамках першого у своєму роді співробітництва, яке дозволить трансформувати інфраструктури клієнтів та галузь ІТ-аутсорсингу» [17].

По суті, подібна угода є прямою протилежністю до тих цілей, для досягнення яких була створена асоціація Gaia-X, особливо з урахуванням того факту, що компанія Atos, у тому числі, займається і послугами, що надаються європейським пенсійним фондам, тобто її діяльність пов'язана з обробкою великої кількості персональних даних [18]. Подібна ситуація вже призвела до того, що деякі компанії – учасники Gaia-X вже вийшли чи збираються вийти із цього проєкту. Розчаровані Gaia-X, вони просувають ідеї створення нового альянсу, який існуватиме паралельно Gaia-X і конкуруватиме з цим проєктом. Таке суперництво, за логікою речей, дозволить швидше реалізувати завдання досягнення технологічного суверенітету.

У липні 2022 року група європейських компаній (Nextcloud, Scaleway та інші), що працюють у сфері інформаційних технологій, створила асоціацію під назвою Euclidia [19]. Її назва «EUCLIDIA» – це абревіатура, утворена зі слів «Європейський Хмарний Промисловий Альянс» (EUropean CLoud InDustrIal Alliance).

В асоціацію входять малі та середні підприємства (МСП або Small and medium-sized enterprises, SMEs), що надають послуги хмарних технологій та розробляють і постачають апаратне або програмне забезпечення для IaaS, PaaS або SaaS та належать європейським акціонерам.

Декларованою метою асоціації є створення сильної Європейської екосистеми та середовища, сприятливого для розвитку МСП та інновацій. Фактичною метою Euclidia стало завдання не слідувати готовим американським і азіатським моделям хмарних технологій, а знайти свій власний шлях вирішення завдання, без чого неможливо стати реальним світовим технологічним лідером. Передбачається отримання фінансування для створення в Європі повністю європейськими МСП не менше десяти розподілених хмарних систем, призначених для перенесення великих даних у промислові кластери, розгортання сервісів PaaS в університетських містечках для підтримки досліджень та розробок. Крім того, Euclidia прагне до того, щоб великі європейські корпорації та уряди виділяли не менше 10% своїх річних капітальних та експлуатаційних витрат на стимулювання європейських МСП.

Тим не менш, більшість учасників Gaia-X, як і раніше, вважають, що проєкт все ж таки буде успішно реалізований. Завищені очікування від Gaia-X призвели до розчарування, але все ж таки потенціал проєкту є все ще високим, і проєкту необхідно позбавлятися зайвого бюрократизму і активніше вкладати профільні стартапи, що реалізують реальні, а не управлінські технології.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Створення асоціації Gaia-X було своєчасним кроком на шляху загальноєвропейської інтеграції та її завдання значною мірою відрізняються від загальносвітових тенденцій.

Традиційно кожен ПроХТ збирає власні набори даних, які в подальшому можуть бути продані іншим компаніям або можуть бути обмінені на інші дані. При цьому шляхи обміну даними можуть бути дуже заплутаними, а інформація про такі угоди зберігатиметься в таємниці.

На відміну від подібних систем проєкт Gaia-X передбачає створення відкритої та прозорої системи обміну хмарними даними, що може виявитися більш комерційно вигідною справою настільки, що ПроХТ США в майбутньому спробують скопіювати цю систему в тій чи іншій формі.

Але сам процес реалізації проєкту Gaia-X загруз у бюрократії, чварах та лобюванні інтересів окремих компаній. Це пов'язано з великою кількістю учасників, які увійшли до складу асоціації та різноспрямованістю

---

їхніх інтересів. І майбутнє успішно розпочатого проекту цілком залежить від того, чи зможуть члени асоціації дійти спільної згоди на самітах асоціації, які регулярно проводяться.

У будь-якому випадку, проекту Gaia-X вже є альтернатива і можна сподіватися, що альянс Euclidia врахує досвід помилок, допущених асоціацією Gaia-X, і не повторить їх.

Водночас українським ПроХТ уже зараз необхідно готуватись до вступу до тієї чи іншої асоціації після включення України до складу Євросоюзу.

#### Список використаних джерел:

1. Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення функціонування інформаційно-комунікаційних систем, електронних комунікаційних систем, публічних електронних реєстрів: Закон України від 15.03.2022 №2130-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2130-20/print>.

2. Boris Otto, Michael ten Hompel, Stefan Wrobel Editors Designing Data Spaces The Ecosystem Approach to Competitive Advantage. - Dortmund: Springer, 2022. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-93975-5>.

3. GAIA-X and IDS Editor Prof. Dr. Boris Otto. – Dortmund: International Data Spaces Association, 2021. URL: [https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/IDSA-Position-Paper-GAIA-X-and-IDS.pdf](https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/IDSA-Position-Paper-GAIA-X-and-IDS.pdf).

4. Adam Green Europe's Gaia-X looks to challenge Big Tech's cloud dominance. – London: Financial Times march 9 2021, 2022. URL: <https://www.ft.com/content/6ac505fd-5b90-4979-8c3c-b5ba756e9089>.

5. Gaia-X Federated Data Infrastructure: The Future of Data Management HealthManagement, Volume 21 – Issue 4, 2021 URL: <https://healthmanagement.org/c/hospital/issuearticle/gaia-x-federated-data-infrastructure-the-future-of-data-management>.

6. Чанишев Р.І. Умови забезпечення конфіденційності та безпеки даних користувача при роботі з провайдером хмарних сервісів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». 2021. Том 32 (71), №1. С. 151-158.

7. Політика конфіденційності Google. – URL: <https://policies.google.com/privacy?hl=uk>.

8. Угода про використання служб Microsoft. – URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/servicesagreement>.

9. H.R.4943 - CLOUD Act URL: <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/4943>.

10. Deutsche Bank and Google Cloud sign pioneering cloud and innovation partnership URL: <https://www.db.com/news/detail/20201204-deutsche-bank-and-google-cloud-sign-pioneering-cloud-and-innovation>.

11. Germany, France launch Gaia-X platform in bid for 'tech sovereignty' URL: <https://www.politico.eu/article/germany-france-gaia-x-cloud-platform-eu-tech-sovereignty>.

12. Amerikanische Unternehmen bei EU-Cloud Gaia-X zugelassen URL: <https://webhosting.de/amerikanische-unternehmen-bei-eu-cloud-gaia-x-zugelassen>.

13. Gaia-X Lighthouse projects: the industrialisation of the Gaia-X Concepts URL: <https://gaia-x.eu/news/latest-news/gaia-x-lighthouse-projects-the-industrialisation-of-the-gaia-x-concepts>.

14. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions: A European strategy for data URL: [https://www.tadviser.ru/images/5/58/Communication-european-strategy-data-19feb2020\\_en.pdf](https://www.tadviser.ru/images/5/58/Communication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf).

15. Inside Gaia-X: How chaos and infighting are killing Europe's grand cloud project URL: <https://www.politico.eu/article/chaos-and-infighting-are-killing-europes-grand-cloud-project>.

16. Gaia-X board member blames lobbying for project's gridlock URL: <https://www.politico.eu/article/eu-lobbying-cloud-project-gaia-x-board-member-says-cloud-project-must-neuter-lobbies-role-to-get-on-track>.

17. AWS and Atos Strengthen Collaboration with New Strategic Partnership to Transform the Infrastructure Outsourcing Industry [https://atos.net/en/2022/press-release\\_2022\\_11\\_30/aws-and-atos-strengthen-collaboration-with-new-strategic-partnership-to-transform-the-infrastructure-outsourcing-industry](https://atos.net/en/2022/press-release_2022_11_30/aws-and-atos-strengthen-collaboration-with-new-strategic-partnership-to-transform-the-infrastructure-outsourcing-industry).

18. Atos and Nest part company two years into 18-year £1.5bn contract [https://www.theregister.com/AMP/2023/02/01/atos\\_and\\_nest\\_part\\_company](https://www.theregister.com/AMP/2023/02/01/atos_and_nest_part_company).

19. EUCLIDIA: the European Cloud Industrial Alliance URL: <https://www.euclidia.eu>.

#### References:

1. About making changes to the current laws of Ukraine on how to ensure the functioning of information and communication systems, electronic communication systems, public electronic registers: Law of Ukraine dated March 15, 2022 No. 2130-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2130-20/print>

2. Boris Otto, Michael ten Hompel, Stefan Wrobel Editors Designing Data Spaces The Ecosystem Approach to Competitive Advantage. - Dortmund: Springer, 2022. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-93975-5>.

3. GAIA-X and IDS Editor Prof. Dr. Boris Otto. – Dortmund: International Data Spaces Association, 2021. URL: [https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/IDSA-Position-Paper-GAIA-X-and-IDS.pdf](https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/IDSA-Position-Paper-GAIA-X-and-IDS.pdf).

4. Adam Green Europe's Gaia-X looks to challenge Big Tech's cloud dominance. – London: Financial Times march 9 2021, 2022. URL: <https://www.ft.com/content/6ac505fd-5b90-4979-8c3c-b5ba756e9089>.

- 
5. Gaia-X Federated Data Infrastructure: The Future of Data Management HealthManagement, Volume 21 – Issue 4, 2021 URL: <https://healthmanagement.org/c/hospital/issuearticle/gaia-x-federated-data-infrastructure-the-future-of-data-management>.
  6. Chanyshv R.I. Conditions for ensuring confidentiality and security of user data when working with cloud service providers. *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University. Series V.I. Vernadsky: Technical sciences*". 2021. Volume 32 (71), No.1. P. 151-158.
  7. Google Privacy Policy. - URL: <https://policies.google.com/privacy?hl=uk>.
  8. Microsoft Services Agreement. - URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/servicesagreement>.
  9. H.R.4943 - CLOUD Act URL: <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/4943>.
  10. Deutsche Bank and Google Cloud sign pioneering cloud and innovation partnership URL: <https://www.db.com/news/detail/20201204-deutsche-bank-and-google-cloud-sign-pioneering-cloud-and-innovation-partnership>.
  11. Germany, France launch Gaia-X platform in bid for ‘tech sovereignty’ URL: <https://www.politico.eu/article/germany-france-gaia-x-cloud-platform-eu-tech-sovereignty>.
  12. American companies admitted to EU cloud Gaia-X URL: <https://webhosting.de/american-companies-admitted-to-eu-cloud-gaia-x>.
  13. Gaia-X Lighthouse projects: the industrialisation of the Gaia-X Concepts URL: <https://gaia-x.eu/news/latest-news/gaia-x-lighthouse-projects-the-industrialisation-of-the-gaia-x-concepts>.
  14. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions: A European strategy for data URL: [https://www.tadviser.ru/images/5/58/Communication-european-strategy-data-19feb2020\\_en.pdf](https://www.tadviser.ru/images/5/58/Communication-european-strategy-data-19feb2020_en.pdf).
  15. Inside Gaia-X: How chaos and infighting are killing Europe’s grand cloud project URL: <https://www.politico.eu/article/chaos-and-infighting-are-killing-europes-grand-cloud-project>.
  16. Gaia-X board member blames lobbying for project’s gridlock URL: <https://www.politico.eu/article/eu-lobbying-cloud-project-gaia-x-board-member-says-cloud-project-must-neuter-lobbies-role-to-get-on-track>.
  17. AWS and Atos Strengthen Collaboration with New Strategic Partnership to Transform the Infrastructure Outsourcing Industry [https://atos.net/en/2022/press-release\\_2022\\_11\\_30/aws-and-atos-strengthen-collaboration-with-new-strategic-partnership-to-transform-the-infrastructure-outsourcing-industry](https://atos.net/en/2022/press-release_2022_11_30/aws-and-atos-strengthen-collaboration-with-new-strategic-partnership-to-transform-the-infrastructure-outsourcing-industry).
  18. Atos and Nest part company two years into 18-year £1.5bn contract [https://www.theregister.com/AMP/2023/02/01/atos\\_and\\_nest\\_part\\_company](https://www.theregister.com/AMP/2023/02/01/atos_and_nest_part_company).
  19. EUCLIDIA: the European Cloud Industrial Alliance URL: <https://www.euclidia.eu>.

**Юдіна О. І.**, доктор економічних наук, доцент,  
Університет митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0003-3699-5321

**Язіна В. А.**, кандидат економічних наук, доцент,  
Університет митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0002-8695-3456

**Кириллова С. К.**, здобувач вищої освіти  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0009-0006-2290-2541

## ЦІЛЬОВЕ УПРАВЛІННЯ РЕЗЕРВАМИ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ІНДУСТРІЇ ГОСТИННОСТІ

*Стаття розкриває багатоаспектність проблем в теорії управління підприємством індустрії гостинності, яка потребує певних методів дослідження які дозволили б найповніше охарактеризувати складну природу процесу управління. Методологія дослідження повинна враховувати вплив зовнішнього та внутрішнього середовища, багатогранність, якісний і кількісний склад і порядок взаємозв'язків складових частин системи управління, а також давати можливість їх синтезувати та інтегрувати в цілісну модель.*

*Своєчасний вияв резервів та система ефективної розробки стратегії, що запускають ці резерви, може дозволити підприємствам індустрії гостинності підняти рівень якості надання послуг та обслуговування.*

*Механізм виявлення резервів включає комплексне дослідження, що пов'язане із такими процесами, як: утворення, виявлення, використання резервів. Для максимального досягнення цілі підприємства індустрії гостинності повинно використовувати функціональну стратегію, що передбачає виконання певного процесу та ресурсну стратегію, що передбачає виконання цілі за допомогою координації та ресурсного розподілу.*

*Формування методології наукового пізнання потребує повного і всебічного відображення об'єктивних процесів щодо пристосування до сучасних умов функціонування (принципів розвитку) і розвитку об'єкту дослідження, процесів кількісних й якісних змін, їх взаємодії та ступеня взаємовпливу. Виявлення причинно-наслідкових зв'язків і закономірностей обумовленості одного процесу або явища іншим дозволяє виявити нові якісні сторони об'єкту, що вивчається. Цього можна досягнути, якщо розглядати досліджуваний об'єкт на підприємстві індустрії гостинності (процес, явище) як систему та використовувати системний підхід і його методи як одне з ефективних засобів наукового пізнання.*

*Отже, впровадження ефективної поетапної стратегії управлінням конкурентоспроможністю підприємствами індустрії гостинності за допомогою використання резервів можливо лише за умов детального аналізу досліджуваного об'єкта із дотриманням відповідних принципів та норм підприємства.*

*Ключові слова: готельно-ресторанне господарство, індустрія гостинності, резерви, системне моделювання, управління.*

**Yudina O. I., Yazina V. A., Kyryllova S. K. Targeted management of economic development reserves of hospitality industry enterprises**

*The article reveals the multifaceted nature of problems in the management theory of the hospitality industry, which requires certain research methods that would allow the most complete characterization of the complex nature of the management process. The research methodology should take into account the influence of the external and internal environment, multifacetedness, qualitative composition and order of interrelationships of the constituent parts of the management system, as well as provide an opportunity to synthesize and integrate them into a coherent model.*

*The identification of reserves and the development of functional strategies that realize these reserves will allow modern enterprises of the hospitality industry to move to a new level in terms of the quality of service and provision of services.*

*The reserve search mechanism involves a set of studies related to the formation, discovery and use of reserves. To achieve both local and general goals of the organization, a functional strategy should be used, which refers to a separate functional process, direction (stage or element) of the economic activity of the enterprise – marketing, service provision, finance, investments, personnel, and a resource strategy, which refers to separate resources of provision strategic activity of the enterprise.*

*The formation of the methodology of scientific knowledge requires a complete and comprehensive reflection of objective processes regarding adaptation to modern conditions of functioning (principles of development) and development of the object of research, processes of quantitative and qualitative changes, their interaction and the degree of mutual influence. The identification of cause-and-effect relationships and regularities of conditioning of one process or phenomenon to another allows to*



---

reveal new qualitative aspects of the object being studied. This can be achieved by considering the researched object (process, phenomenon) as a system and using the system approach and its methods as one of the effective means of scientific knowledge.

Therefore, having identified all the reserves for increasing the competitiveness of hotel and restaurant businesses, it is necessary to develop and implement the phased implementation of functional strategies that will allow hospitality industry enterprises to reach a new world level.

Key words: hotel and restaurant business, hospitality industry, reserves, system modeling, management.

**Постановка проблеми.** Управління в економіці являє собою інструмент досягнення поставлених цілей, а якісне управління об'єктом викликає необхідність його детального або системного вивчення. Отже, виникає проблема щодо системного розгляду підприємства як об'єкта управління та системи менеджменту, яка надає цільову дію на цей об'єкт.

У межах запропонованої концепції наукового дослідження розвитку підприємства готельно-ресторанної сфери об'єктами аналізу є підприємство, яке розглядається як система і об'єкт управління, а також система управління як процес та взаємозв'язаний комплекс: «науково обґрунтована теорія управління – стратегія – методологія – цільовий результат», що обумовлений логічно зв'язаними за змістом процесами, виконуваними функціями і завданнями відповідно до закономірностей взаємодії їх елементів. Такий системний підхід надає змогу формування цільових функцій окремих видів діяльності й бізнес-процесів підприємства для досягнення диференційованого та інтегрованого оптимального результату з найбільшою ефективністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема резервного забезпечення підприємств готельно-ресторанного господарства в сучасних економічних умовах займалася такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як Акофф Р. [1], Андрушків Б.М.[2], Василенко В.О.[3], Камушков О.С., Кузьмак О.І. [4], Мельник Л.М., Наливайко А.П.[6], Погайдак О.Б., Ткач В.О., Томпсон А. А., Стрикленд А. Дж., Кунц Г., Доннел О.[5] та інші.

**Виклад основного матеріалу.** Вирішенню питань щодо оцінки резервів економічного розвитку виробничого потенціалу та забезпечення економічного зростання підприємств присвячено роботи багатьох науковців. У дослідженнях Б. М. Андрушківа приділено увагу показникам, що характеризують ресурсні резерви підприємств і представлені напрями їх інноваційного розвитку [2]. У роботах І. Ансоффа і Р. Л. Акоффа визначаються кількісні параметри показників, які складають резервний виробничий потенціал, але не характеризують категорію «економічний розвиток» [1]. О. І. Василенко визначає окремі складові, структурні підрозділи підприємства та процеси, ефективно управління якими забезпечує економічний розвиток за рахунок використання організаційною системою управлінських резервів [3]. О. І. Кузьмак акцентує увагу на необхідності використання резервів ресурсу праці та розвитку продуктивних сил на довгостроковому інтервалі, як основного фактору економічного зростання та розвитку [4]. Складність і мінливість природи функціонування підприємства створили умови для існування різноманітних моделей організації їх діяльності, адекватність яких оцінюється з урахування специфіки ситуації та умов, в яких діє господарюючий суб'єкт або його підрозділи, залежно від стану зовнішнього та внутрішнього середовища. На думку О. Доннела, Г. Кунца [5] не може бути однакового типу структури, способу планування й управління, єдиних принципів побудови і розвитку підприємства (організації), які ідеально підходили б до кожного підприємства незалежно від цілей, стану, зовнішнього середовища, культурної відмінності, технологій та багатьох інших факторів. Тому вони пропонують ситуаційний підхід до управління господарюючими суб'єктами.

Крім того, вивчення підприємства неможливо без урахування часових періодів, динаміки та статичності, механізмів, що забезпечують виконання функцій і ефективність діяльності. При цьому, господарююча одиниця розглядається як сукупність процесів (засобів), інструментів, як суб'єкт колективної діяльності, об'єкт, що має певні властивості та характеристики, який взаємодіє з іншими об'єктами та процесами зовнішнього середовища. Така характеристика підприємства дозволяє представити його в якості моделі економічної системи.

До важливих ознак цілісності економічної системи можна віднести такі характеристики:

– диференціація процесів (складових частин, елементів) та спеціалізація на виконання різних функцій і видів діяльності;

– з'єднання, організація, координованість, інтегрованість.

Системний підхід припускає функціонування механізму адаптації підприємства як системи до зовнішнього середовища і збереження високого рівня інтеграції різнорідних підрозділів (різних видів діяльності та їх складових) в єдине ціле для успішної роботи господарюючого суб'єкта. Оскільки «виживання підприємства» є передумовою і обов'язковою умовою ефективною діяльності й ціледосягнення підприємства [6]. При цьому «виживання підприємства», його ефективність забезпечується за умови виконання організаційною системою, не тільки основної цільової функції, але і адаптивної, й інтеграційної.

Тому для стабільного функціонування підприємства в нестійкому зовнішньому середовищі необхідне виконання таких умов: досягнення поставленої мети, адаптація до змін навколишнього середовища, інтеграція певних внутрішніх процесів, направлених на досягнення ефективності діяльності й економічного зростання на основі розвитку резервів потенціалу ресурсів.

Таким чином, заклади готельно-ресторанного господарства, як відкриті системи, можуть досягати бажаних результатів різними способами, виходячи з певної концепції. Цілі можуть бути досягнуті за допомогою варіюючих введень і варіюючих процесів або методів.

Суб'єкт господарювання за своїми сутнісними характеристиками представляє адаптивно-раціональну систему, що пристосовується до невизначеностей зовнішнього середовища і обмежень, що виникають у цьому зв'язку. Важливу роль в зниженні невизначеності відіграє інформація, на основі якої проводиться моніторинг зовнішніх і внутрішніх факторів, аналіз їх взаємодії, що, своєю чергою, дозволяє оцінити ситуацію, що склалася, стан діяльності підприємства на даний момент часу, і ухвалити обґрунтоване управлінське рішення щодо забезпечення ефективності діяльності та економічного розвитку суб'єкту господарювання. Крім того, підприємство служить свого роду системним інтегратором, оскільки його функціонування,

об'єднує в часі й просторі сукупність різноманітних економічних процесів (підсистем), направлених на виробництво продукції (послуг) і отримання прибутку за рахунок витягання підсистемних ефектів і результатів синергії. Таким чином, відповідно до системного підходу підприємство складається із структурних підрозділів, де кожен структурний елемент виконує певні зобов'язання та вирішує завдання щодо досягнення цілей підприємства, впливає на ефективність його функціонування і економічний розвиток.

Системний економічний розвиток – це характеристика соціально-економічної системи, що визначає її здатність забезпечувати реалізацію цільової функції при зміні умов функціонування. Тому, у ринкових умовах, що змінюються, щоб вижити, бути успішним протягом тривалого часу, тобто бути економічно стійким, добитися досягнення своєї мети, підприємство повинне бути як результативним, так і ефективним, а як звісно якість результатів прямопропорційно залежить від рівня ефективності діяльності. Виробництво або яка-небудь інша діяльність, вимагає відповідних ресурсів, споживаних в цьому процесі, або витрат на її організацію і проведення. Дані витрати є фактором формування певного рівня ефективності (рентабельності), а отже, і економічного розвитку суб'єкта господарювання.

Основоположник теорії «управління за цілями» Пітер Друкер підкреслював, що на даному етапі оцінка діяльності підрозділів і компанії в цілому є однією з найбільш слабо опрацьованих областей управління. «Управління за цілями» є методом управлінської діяльності, що передбачає:

- прогнозування результатів діяльності;
- планування шляхів досягнення результатів.

Термін «показник результату діяльності», містить в собі і ступінь досягнення, і витрати на отримання результату, термін «показники ефективності результатів діяльності» визначає параметри, які відображають якісні характеристики отриманих результатів процесу виробництва і реалізації продукції, саме ці показники ефективності є інструментом вимірювання поставлених цілей, а технології розробки оцінки і контролю цілей полягають в основі концепції сучасного управління за цілями.

З метою виявлення резервів економічного розвитку потенціалу операційної діяльності, визначення закономірностей і ступеня впливу витрат за її елементами на рівень ефективності функціонування підприємств та їх зростання проведено дослідження наявності кількісних взаємозв'язків цих параметрів шляхом побудови моделей кореляційної залежності на підставі цільової функції й розрахунку формул, які б з точністю до 95% випадків, дозволили визначити, як фактори, що представлені рівнем витрат ресурсів, впливають на зміну рівня прибутку підприємства. Для проведення розрахунків використана програма «Statgraphis Plus, version 7.0».

Розроблена за допомогою кореляційно-регресійного аналізу економіко-математична модель операційної діяльності ґрунтується на визначенні кількісного ступеня впливу витрат ресурсів на результативний показник прибутку підприємства  $G_{ДВ}$ , яка описується наступним математичним рівнянням:

$$\hat{G}_{ДВ} = 0,9084 - 0,3358 * \bar{K}_{МЗ} + 1,155287 * \bar{K}_{ВПР} - 1,28638 * \bar{K}_{ВФ}, \quad (1)$$

де  $\hat{G}_{ДВ}$  – теоретичне (розрахункове) значення рівня прибутку під впливом факторів виробництва.

Для визначення особливостей взаємозв'язків елементів виробничого процесу в системі «витрати-результати», найточнішого встановлення закономірностей взаємодії виробничих ресурсів і ступеня їх впливу на результати діяльності закладів готельно-ресторанного господарства, необхідно побудувати статистично-стохастичну модель виробництва шляхом виключення із наведеного вище рівняння (1) показника витрат на адміністративно-збутову діяльність, та визначення структури і характеру взаємовпливу матеріальних витрат, витрат праці й основних засобів (2): Дана модель має наступний математичний вираз:

$$\hat{G}_{ДВ} = 0,9084 - 0,3358 * \bar{K}_{МЗ} + 1,155287 * \bar{K}_{ВПР} - 1,28638 * \bar{K}_{ВФ}, \quad (2)$$

де  $\hat{G}_{ДВ}$  – прогнозне значення рівня прибутку операційної діяльності;

Створене стохастичне лінійне рівняння процесу виробництва ( $\hat{G}_{ДВ}$ ) демонструє найбільшу ступінь впливу ресурсу праці на зростання рівня рентабельності закладів готельно-ресторанного господарства Дніпропетровської області. Розраховане значення коефіцієнту цього показника свідчить про те, що зростання резервів розвитку трудових ресурсів на 1%, викликає зростання ефективності результатів функціонування підприємства на 1,16%, а значення коефіцієнтів, які характеризують вплив матеріальних і амортизаційних витрат (витрат основних виробничих фондів), показують, що їх зменшення сприяє зростанню прибутку. Таким чином, згідно проведених за наведеною математичною формулою розрахунків встановлено, що зменшення обсягів цих витрат на 1% буде сприяти зростанню ефективності операційної діяльності на 0,34% і 1,29%, відповідно [7].

Для найбільш точного математичного опису обсягів і структури витрат виробництва, їх впливу на загальний фінансово-економічний результат, а також аналізу і оцінки взаємодії та розвитку резервів потенціалу конкретних видів ресурсів, складено лінійне рівняння за допомогою якого здійснюється економічне обґрунтування кількісної взаємодії змінних витрат (показників матеріаломісткості й трудомісткості) та рівня рентабельності закладів готельно-ресторанного господарства:

$$\hat{G}_{ДВ} = 0,66174 - 0,751 * \bar{K}_{МВ} + 1,73381 * \bar{K}_{ВПР}, \quad (3)$$

де  $\hat{G}_{ДВ}$  – прогнозне значення рівня прибутку операційної діяльності.

Математична форма представленої моделі змінних витрат свідчить про те, що зростання продуктивності праці і зниження матеріаломісткості надає значний вплив на позитивну зміну рівня рентабельності суб'єктів господарювання. Згідно розрахованих оцінювальних коефіцієнтів рівняння (3) збільшення резервів

---

розвитку ресурсу праці і зменшення матеріальних витрат на 1% забезпечать підвищення суми прибутку на 1,73% і 0,75%, відповідно [7].

Розроблені лінійні економіко-математичні моделі операційної та виробничої діяльності, змінних витрат є якісними, визначають особливості статичного (короткострокового) економічного зростання підприємств і забезпечують цільове управління резервами їх розвитку. Цільовими установками управління даними процесами є зниження операційних витрат, підвищення ефективності функціонування шляхом виявлення і використання резервів потенціалу наявних ресурсів, а, отже, зростання прибутку і стійкості економічної одиниці.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Цільовий підхід в управлінні економічним розвитком підприємств готельно-ресторанних послуг надає змогу: пояснити закономірності взаємодії елементів, підсистем і процесів; виявити резерви їх розвитку; визначити ступень взаємовпливу показників операційної діяльності, можливості економічного зростання господарюючої одиниці (на основі функції цілі) та представляє собою найбільш ефективний стратегічний інструмент для вирішення завдань щодо забезпечення економічного зростання та розвитку підприємств готельно-ресторанної сфери.

Моделювання діяльності господарюючих одиниць у системі цільового управління дозволяє пояснити закономірності зв'язків підсистем і бізнес-процесів, виявити резерви розвитку ресурсного потенціалу, визначити ступінь взаємодії елементів операційних витрат, їх диференційований та інтегрований вплив на рівень прибутку, встановити сукупну та приватну дію показників ресурсомісткості на результати операційної діяльності та можливості економічного зростання за рахунок використання наявних резервів потенціалу ресурсів.

Побудовані економіко-математичні моделі й визначені на їх основі оцінювальні показники служать методичним інструментарієм для прогнозування результатів роботи підприємств, їх економічного зростання, визначення рівня зниження витрат за елементами операційної діяльності, а також є підґрунтям для розробки стратегії резервів економічного розвитку ресурсного потенціалу, підвищення ефективності його використання та збільшення прибутку підприємств готельно-ресторанних послуг.

#### Список використаних джерел:

1. Акофф Р. Планування майбутнього корпорації: пер. з англ. М.: Прогрес. 1985, 328 с.
2. Андрушків Б.М., Мельник Л.М., Погайдак О.Б. Інноваційні засоби формування концепції оцінювання сталого розвитку у системі: підприємство – галузь – регіон – держава (Євроінтеграційні аспекти). *Український журнал прикладної економіки*, 2016, Том 1 (№ 2), с. 6-17.
3. Василенко В. О. Менеджмент стійкого розвитку підприємств: монографія. К. : ЦУЛ. 2014, 644 с.
4. Кузьмак О. І. Необхідність та роль управління ризиками в діяльності підприємств сфери послуг. *Економіка і управління*, 2015. № 4, с. 42-46.
5. Кунц Г., Доннел О. Управління. Системний та ситуаційний аналіз управлінських функцій. Пер. із англ. Т.2. 1981, 496 с.
6. Наливайко А.П. Стратегія підприємства у постіндустріальній економіці : монографія. Київ : КНЕУ, 2017, 418 с.
7. Юдіна О.І. Моделювання сталого економічного розвитку підприємств готельно-ресторанного бізнесу на основі декомпозиційного аналізу. *Економічний простір: зб. наук. праць*. Дніпро: ПДАБА, 2022. № 181, с. 162-167.

#### References:

1. Akoff R. (1985) *Planuvannya majbutnogo korporaciyi* [Planning the future of the corporation]. M.: Progres.
2. Andrushkiv B.M., Melnik L.M., Pogajdak O.B. (2016) Innovacijni zasobi formuvannya koncepciyi ocinyuvannya stalogo rozvitku u sistemi: pidpriyemstvo – galuz – region – derzhava (Yevrointegracijni aspekti) [Innovacijni zasobi formuvannya koncepciyi ocinyuvannya stalogo rozvitku u sistemi: pidpriyemstvo – galuz – region – derzhava (Yevrointegracijni aspekti)]. *Ukrainian Journal of Applied Economics*, Volume 1 (No. 2), pp. 6-17.
3. Vasilenko V.O. (2014) *Menedzhment stijkogo rozvitku pidpriyemstv: monografiya* [Management of sustainable development of enterprises] monograph. K.: Tsul.
4. Kuzmak O.I. (2015) *Necessity and role of risk management in the activities of enterprises in the service sector* [Necessity and role of risk management in the activities of enterprises in the service sector]. *Economics and Management*, No. 4, pp. 42-46.
5. Kunc G., Donnel O. (1981) *Upravlinnya. Sistemnij ta situacijnij analiz upravlinskih funkcij* [System and situational analysis of managerial functions].
6. Nalivajko A.P. (2017) *Strategiya pidpriyemstva u postindustrialnij ekonomici : monografiya* [Enterprise strategy in the post-industrial economy: monograph]. Kiyiv : KNEU.
7. Yudina O.I. (2022) *Modelyuvannya stalogo ekonomichnogo rozvitku pidpriyemstv gotelno-restorannogo biznesu na osnovi dekompozicijnogo analizu* [Modeling of sustainable economic development of hotel and restaurant business enterprises based on decomposition analysis]. *Economic space: coll. of science works Dnipro: PDABA*, 2022. No. 181, pp. 162-167.



**Погребняк А. В.**, доктор технічних наук, професор,  
Університет митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0003-3214-6410

**Язіна В. А.**, кандидат економічних наук, доцент кафедри  
Університет митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0002-8695-3456

**Наумович Т. Р.**, здобувач вищої освіти  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0009-0006-9578-8663

### СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГОТЕЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

*У статті визначені основні негативні фактори впливу «локдауну» і санітарно-гігієнічних, епідеміологічних заходів та застосовані закладами готельного бізнесу адаптаційні ресурси з їх мінімізації (чи запобігання) для оптимізації функціонування.*

*Впродовж усієї еволюційної історії homo sapiens, людина повинна була, і тому прагнула, задовольнити свої первинні потреби, керуючись інстинктом самозбереження. Задля досягнення цієї мети вона долала, у пошуках придатних умов існування, величезні відстані на суші нашої планети. Великі «розселення народів», досить добре досліджені науковцями, завжди супроводжувалися міграційними процесами невеликих груп населення певних територій (сімі, племені тощо.), що і призвело, завдячуючи ексклюзивним адаптаційним властивостям людини як виду, до максимального розповсюдження її усією поверхнею Землі. Коло потреб сучасної людини, здебільше урбанізованої (у економічно розвинених країнах ЄС, Північної Америки, Південно- Східної Азії ступінь урбанізації населення коливається між 70 та майже 100 відсотками) на сьогодні не обмежується, звичайно, першою та другою сходинками драбини Маслоу, а розповсюджується на максимально високі її яруси, які можуть бути забезпечені чинним технологічним ресурсом.*

*Сучасний технологічний розвиток розвинених країн світу може також забезпечувати майже необмежене використання адаптаційного ресурсу кожної людини, що подорожує, у її потребах з пересування між пунктами цієї подорожі, з якою метою вона б не здійснювалася. Усе більшої уваги заслуговує не до кінця ще оцінений туристичний сектор економіки України, здатний спричинити мультиплікативний та синергетичний ефект не тільки у розвитку готельно-ресторанного бізнесу, ритейлу, сфери послуг, а і стати вагомим внеском в економіку усієї країни. Більше 1600 готелів України забезпечували понад 400 тис. робочих місць станом на 2019 рік, ринок гостинності за рівнем дохідності та прибутковості, надходжень до державного бюджету, окупності інвестиційних вкладень та проєктів туристична галузь досі займає лідерські позиції в економіці України.*

*Ключові слова: готельне господарство, індустрія гостинності, інвестиції, пандемія COVID-19, туризм.*

**Pohrebniak A. V., Yazina V. A., Naumovych T. R. Current state and development prospects of the hotel industry of Ukraine**

*The article identifies the main negative factors of the impact of the «lockdown» and sanitary-hygienic, epidemiological measures, and the adaptation resources used by the hotel business to minimize (or prevent) them in order to optimize functioning.*

*Throughout the entire evolutionary history of homo sapiens, man had to, and therefore sought, to satisfy his primary needs, guided by the instinct of self-preservation. In order to achieve this goal, in search of suitable conditions for existence, it covered huge distances on the land of our planet. Large "dispersals of peoples", quite well researched by scientists, were always accompanied by migration processes of small population groups of certain territories (families, tribes, etc.), which led, thanks to the exclusive adaptive properties of man as a species, to its maximum spread over the entire surface of the Earth. The range of needs of a modern person, who is mostly urbanized (in the economically developed countries of the EU, North America, and Southeast Asia, the degree of urbanization of the population varies between 70 and almost 100 percent), today, of course, is not limited to the first and second rungs of Maslow's ladder, but extends to the maximum its high tiers, which can be provided with a valid technological resource.*

*Modern technological development of the developed countries of the world can also ensure almost unlimited use of the adaptive resource of each person traveling in his needs for movement between the points of this trip, for whatever purpose it is carried out. The tourism sector of the economy of Ukraine, which is not fully evaluated, deserves more and more attention, which is able to cause a multiplicative and synergistic effect not only in the development of the hotel and restaurant business, retail, and the service sector, but also to become a significant contribution to the economy of the entire country. More than 1,600 hotels in*



---

*Ukraine provided more than 400,000 jobs as of 2019, the hospitality market in terms of profitability and profitability, revenues to the state budget, return on investments and projects, the tourism industry still occupies a leading position in the economy of Ukraine. The state of the tourism industry is an important indicator of the investment climate in the country, and the hotel industry is the main determinant.*

Key words: investment, COVID-19 pandemic, hotel business, hospitality industry, tourism.

Стан туристичної галузі є важливим індикатором інвестиційного клімату у державі, дії якої створюють реальні умови для забезпечення оптимального балансу між очікуваннями туристичного бізнесу та його надіями на прибуток і подальший розвиток. Зростання обсягів міжнародних інвестицій можливе за наявності потужної реклами, застосування широкого кола інформаційних технологій, надання дієвих реальних гарантій для інвестора з виконання обіцянок та зобов'язань.

Метою даної статті є аналіз деяких економічних показників діяльності об'єктів готельного бізнесу України за період 2019-2022 років.

**Постановка проблеми.** Аналіз економічних показників готельної нерухомості в Україні на кінець 2021 року демонструє, що песимізм в очікуваннях, пов'язаний із запровадженими урядом з 2019 р. карантинними заходами, які формували стан невизначеності та турбулентності, здебільшого виявився перебільшеним і, у цілому, готельний ринок почав відновлюватися.

За результатами дослідження економічної діяльності готелів встановлено, що загальний обсяг їх прибутку у 2019 році склав 2,5 млрд. \$., тобто, на 10% більше, ніж у 2018 році. Аналогічні показники 2020 року, через пандемію COVID-19, знизилися до 1,5 млрд. \$., а 2021 рік вже демонструє позитивні зміни прибутковості, досягнувши 1,9 млрд \$ [3].

У цілому, негативний досвід «проходження» періоду пандемії 2019-20 рр. вимагав стриманості у плануванні та прогнозуванні подальшої діяльності та запровадження більш жорстких обмежень для оптимізації можливих ризиків. Тому, досягнення докарантинних показників на 2022 р. навіть не планувалося. На жаль, події 24 лютого 2022 року, з яких розпочалася повномасштабна російсько-українська війна, внесли додаткові випробування для економіки та соціальної сфери України, що значною мірою вплинуло і на стан готельного бізнесу. Порівняльний аналіз економічного стану готельної нерухомості періоду 2021-22 рр. дозволить визначити основні втрати, недоліки цього сектору економіки та намітити можливі шляхи з їх подолання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемами вітчизняних підприємств готельного господарства в сучасних економічних умовах займалися такі вітчизняні вчені, як Байлик С.І. [1], Балашова Е.А. [2], Камушков О.С., Круль Г.Я., Лупашко А.П.[4], Нагребельна Г.[5], Незвещук-Когут Т.С., Подлепіна П.О., Ткач В.О., Юдіна О.І. та інші.

**Виклад основного матеріалу.** Проаналізуємо, які ж чинники сприяли досить швидкому відновленню на кінець 2021 р. готельного ринку в умовах «локдауну» у зв'язку із пандемією COVID-19, що був запроваджений на початок березня 2019 року.

По-перше, готелі не були зачиненими і досить швидко змогли адаптуватися до вимог підвищеної санітарно-гігієнічної безпеки своїх мешканців та відвідувачів.

По-друге, завдяки послабленню карантинних обмежень та лібералізації візових умов для іноземних туристів суттєво зросла їх кількість, переважно з країн Близького Сходу.

По-третє, запровадження додаткових безпекових послуг із тестування на COVID-19 за рахунок збільшення мережі відповідних лабораторій.

По-четверте, збільшилася кількість OF-заходів у зв'язку із поступовим послабленням карантинних обмежень.

По-п'яте, поживлення бізнес-туризму у зв'язку із вищезначеними причинами.

По-шосте, за рахунок запроваджених обмежень виїзду за кордон поживавився «внутрішній» туризм [1].

Головними локаціями для близькосхідних та «внутрішніх» туристів визначилися, насамперед, великі міста України – Київ, Одеса, Дніпро, Львів, Хаків та Карпатські готельні комплекси.

Легалізація грального бізнесу, зменшення податкового навантаження (запровадження пільгової ставки ПДВ у 7 % з надання готельних послуг) також сприяли позитивним змінам у проходженні карантинного періоду для готельного ринку.

Але, політична нестабільність в країні, досить висока ймовірність військового вторгнення з боку РФ, зростання комунальних тарифів, інфляційні коливання, нестача кваліфікованого персоналу тощо. негативно впливали на туристичну привабливість нашої країни.

Для більш ґрунтовного аналізу стану готельної нерухомості варто продемонструвати деякі його показники у цифрах. Середній рівень заповнюваності готелів у другому півріччі 2021 р. (дані компанії ЕУ в Україні) дещо збільшився у порівнянні із тим же періодом 2020 р. (з 18 до 40 %), але той же період 2019 року характеризується 46 %.

Показник середньої вартості номеру (ADR) у 2021 р. збільшився на 24 % у доларовому вимірі і, навіть, перевищив аналогічний показник 2019 року.

Таким чином, експерти відзначають, різке збільшення дохідності на один номер готелю (RevPAR) високого цінового сегменту (на 150 % у валюті) для певної кількості готелів Одеси та Львова. Ринок туризму у Києві та інших вищевказаних містах, більш залежний від бізнес та внутрішнього туризму, не зазнав значних позитивних змін і, здебільшого, так і не досяг доковідних показників [1].

---

Готелі курортного та рекреаційного призначення, розташовані переважно поза зоною великих міст, показали позитивну динаміку показників завантаження, не зважаючи на досить значне зростання ціни навіть для нижче та середнього сегменту.

Усе більшим попитом користувалися нові популярні формати, наприклад, шопінг-готелі, SPA – готелі, кемпінги, наметові містечка, етноселища, етноферми тощо.

Взагалі, останні довоєнні роки стабільно показували зростання дохідності готельної нерухомості з 11 до 17 відсотків річних для регіонів із найбільш розвиненим туристичним бізнесом [2], тому, найприбутковішою інвестицією в Україні вважався саме готельний бізнес.

Початок повномасштабних воєнних дій з боку Росії різко змінив пріоритети та вподобання населення України та потенційних користувачів туристичних послуг із за кордону – з початку війни, за оцінкою Forbes [2], впав майже на 90%. і працював до кінця 2022 р. на 2-3% від попереднього періоду. Найбільше постраждав готельний бізнес територій південної, східної та центральної України, де відсоток відмов від бронювання стрімко виріс до 80-98%, а дехто із власників готелів надавав безкоштовний притулок людям із так званої зони бойових дій та були вимушені покинути своє житло. На кінець 2022 р. ринок готелів дещо підріс у Києві та області (до 10–15% від запланованого), в інших великих містах півдня країни – до 3-5%, у східній частині – відновлення ринку не спостерігається. Оскільки потік біженців із територій найбільшої воєнної небезпеки, переважно із сходу, півдня та центру країни, здебільшого був орієнтований на західний та південний напрямки, з кінця лютого до початку червня 2022 р. сума туристичного збору у західних областях склала 89,4 млн. грн, тобто на 28,8% більше за аналогічний період 2021 р. (69,4 млн. грн). Зростання міського бюджету у м. Київ відбулося більш ніж на 20 млн. грн., м. Львів та область – на 19,7 млн. грн., Івано-Франківськ та область – майже на 9 млн. грн., Закарпатська область – на 8,7 млн. грн. На півдні та сході країни не відкрилися більш ніж 2000 готелів, за винятком м. Одеса, де і досі працюють до 90 % об'єктів розміщення (середня завантаженість становить 60 %). Вже у травні 2022 р. відновили свою діяльність більшість готелів Києва, але показник їх завантаженості складає 15-25 % [3].

Від тривалості воєнної загрози та рівня закордонної міграції населення України залежить як швидко може відновитися ринок готельного бізнесу до довоєнних показників. За статистичними даними Управління Верховного комісара ООН у справах біженців (УВКБ ООН) на 19 липня 2022 року з України виїхало 9 567 033 осіб. Маятникові переміщення, що не є достеменно підтвердженими для повернення – 3 793 403 особи [4]. За даними Держкомстату України на 1 січня 2022 року Україна мала 34,5 млн громадян, а на кінець серпня – 27,8 млн. Тобто, за перше півріччя війни кількість населення нашої країни зменшилася на 6,7 млн. громадян [3].

На початок 2023 р. біля 99% мешканців готелів складають громадяни України, біля 1% – іноземні громадяни (волонтери, журналісти, військові, представники різних міжнародних гуманітарних організацій тощо.)

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Аналіз деяких економічних показників готельних об'єктів України за 2019-2022 рр. показав, що туристична сфера економіки зазнала у своїй діяльності, щонайменше, двох потужних потрясінь – карантинних обмежень у зв'язку із пандемією на COVID-19, що були запроваджені з березня 2020 року, та ще більш жорстких викликів у вигляді прямої воєнної агресії з боку РФ, розпочатої 24.02.2022 року. У роботі визначені основні негативні фактори впливу «локдауну» і санітарно-гігієнічних, епідеміологічних заходів та застосовані закладами готельного бізнесу адаптаційні ресурси з їх мінімізації (чи запобігання) для оптимізації функціонування.

За результатами дослідження доцільно запропонувати для подальшого позитивного розвитку готельної сфери туристичного бізнесу наступні законодавчі ініціативи:

1 – скасування «туристичного збору», який нараховується у залежності від мінімальної заробітної плати, що призводить до збільшення цін за проживання кожного гостя. До того ж, кошти від нього акумулюються у місцевих бюджетах, звідки далеко не завжди спрямовуються на розвиток місцевого туризму та підвищення його привабливості.;

2 – максимальне зменшення або, навіть, скасування податку на додану вартість, що позитивно вплине на цінову політику власників об'єктів готельної нерухомості та стимулюватиме їх до зменшення цін на проживання гостя;

3 – постійне розширення кількості країн, з якими Україна мала б режим безвізового перетину кордонів (на даний час таких країн понад 100), що надасть додаткових можливостей для розвитку туристичної галузі економіки;

4 – запровадження диверсифікації туризму за рахунок розширення напрямків туристичної діяльності у відповідності до територіальних особливостей та традицій населення, особистих вподобань, інтересів, фізичних та інтелектуальних можливостей потенціальних гостей України.

5 – розширення сегменту середньої вартості для готелів рівня 2 – 3 зірок з метою залучення представників внутрішнього туризму;

6 – створення єдиної національної мережі готелів з розширеним набором пропозицій та послуг для кожного національного оператора готельного ринку;

---

7 – застосування диференційного підходу до цінової політики готелю у залежності від особливостей регіону розміщення та доходів користувачів;

8 – розширення міжнародної співпраці у сфері гостинно-ресторанного бізнесу, утворення міжнародних мереж та ланцюгів;

9 – розширення можливостей застосування інформаційних ресурсів та технологій.

#### **Список використаних джерел:**

1. Байлик С.І. Готельне господарство: організація, управління, обслуговування. Київ: Альтерпрес, 2015. 329 с.

2. Балашова Е.А. Готельний бізнес. Як досягти бездоганного сервісу. М.: Вершина, 2005. 176 с.

3. Державне агентство розвитку туризму - <https://www.tourism.gov.ua>

4. Лупашко А. На початку війни готельний бізнес України обвалився на 90%. Чи є надія на відновлення. Журнал Forbes Ukraine. URL: <https://forbes.ua/company/na-pochatku-viyuni-gotelniy-biznes-ukraini-obvalivsya-na-90-chi-e-nadiya-na-vidnovlennya-14102022-9033>

5. Нагребельна Г. Готельна нерухомість в Україні: підсумки 2021 року. URL: [https://propertytimes.com.ua/itogi\\_goda/gotelna\\_neruhomist\\_v\\_ukrayini\\_pidsumki\\_2021\\_roku](https://propertytimes.com.ua/itogi_goda/gotelna_neruhomist_v_ukrayini_pidsumki_2021_roku)

6. Управління верховного комісара ООН у справах біженців. URL: <https://www.unhcr.org/ua/>

#### **References:**

1. Bailyk S.I. (2015) Hotelne hospodarstvo: orhanizatsiia, upravlinnia, obsluhovuvannia [Hotel management: organization, management, service]. Kyiv: Alterpres, 329 p. (in Ukr.).

2. Balashova E.A. (2005) Hotelnyi biznes. Yak dosiahty bezdohannoho servisu [Hotel business. How to achieve flawless service.].M.: Vershyna, 200 p. (in Ukr.).

3. Derzhavne agentstvo rozvitku turizmu [State Tourism Development Agency] URL: <https://www.tourism.gov.ua>

4. Lupashko A. (2022) Na pochatku vijni gotelnyj biznes Ukrayini obvalivsya na 90%. Chi ye nadiya na vidnovlennya [At the beginning of the war, the hotel business of Ukraine collapsed by 90%. Is there hope for recovery]. Forbes Ukraine magazine. URL: <https://forbes.ua/company/na-pochatku-viyuni-gotelniy-biznes-ukraini-obvalivsya-na-90-chi-e-nadiya-na-vidnovlennya-14102022-9033>

5. Nagrebelna G. (2021) Gotelna neruhomist v Ukrayini: pidsumki 2021 roku [Hotel real estate in Ukraine: results of 2021]. URL: [https://propertytimes.com.ua/itogi\\_goda/gotelna\\_neruhomist\\_v\\_ukrayini\\_pidsumki\\_2021\\_roku](https://propertytimes.com.ua/itogi_goda/gotelna_neruhomist_v_ukrayini_pidsumki_2021_roku)

6. Upravlinnia verkhovnoho komisara OON u spravakh bizhentsiv [Office of the United Nations High Commissioner for Refugees]. URL: <https://www.unhcr.org/ua/>

**Карпуков Л. М.**, доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри захисту інформації  
Національного технічного університету «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0002-7098-6018

**Воскобойник В. О.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри захисту інформації  
Національного технічного університету «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0003-3786-8666

**Савченко Ю. В.**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0002-7177-6311

**Козіна Г. Л.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри захисту інформації  
Національного технічного університету «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0002-4787-6865

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОХВИЛЬОВИХ ФІЛЬТРІВ ІЗ ПОЛЮСАМИ ЗАГАСАННЯ НА ЗАДАНИХ ЧАСТОТАХ

У статті представлено огляд досліджень, присвячених розгляду сучасних методів організації передачі надважливої інформації. Завдання захисту інформації в каналах зв'язку мікрохвильового діапазону нерозривно пов'язане з проблемами електронної сумісності та радіоелектронної протидії. Мікрохвильові фільтри є невід'ємною частиною радіотехнічних і телекомунікаційних систем, здійснюючи частотну селекцію сигналів, придушення завад, розв'язку трактів приймання та передавання. Тому вдосконалення традиційних і розробка нових методів проектування мікрохвильових фільтрів з метою поліпшення їхніх функціональних і масо-габаритних характеристик є актуальним завданням. Метою даної статті є розроблення методу прямого синтезу шлейфових квазіеліптичних фільтрів, які володіють рівнохвильовою характеристикою в смузі пропускання та нулями передавання на заданих частотах у смузі загородження. Представлено метод і запропоновані співвідношення можуть слугувати основою для розроблення процедури синтезу смугово-пропускних квазіеліптичних шлейфових фільтрів, а також фільтрів нижніх частот і смугово-пропускних фільтрів, які реалізують на відрізках зв'язаних ліній. Проведено аналіз використання двосекційних шлейфів для створення нуль коефіцієнта передавання фільтра на заданих частотах і застосування для апроксимації його частотної характеристики функцій Чебишева та алгебраїчних косинус-дробів Чебишева – Маркова. Розроблено новий метод прямого синтезу квазіеліптичних шлейфових фільтрів нижніх частот, що забезпечує одержання оптимальних характеристик, які повністю відповідають потенційним можливостям фільтрувальних структур за частотною селективністю. Представлено метод і запропоновані співвідношення можуть слугувати основою для розроблення процедури синтезу смугово-пропускних квазіеліптичних шлейфових фільтрів, а також фільтрів нижніх частот і смугово-пропускних фільтрів, які реалізують на відрізках зв'язаних ліній. Для шлейфових квазіеліптичних фільтрів нижніх частот, без використання фільтрів-прототипів. Визначено функції фільтрації для структур фільтрів, складених з односекційних і двосекційних шлейфів. На основі функцій Чебишева та алгебраїчного косинус-дробу Чебишева – Маркова складено функції, що апроксимують функції фільтрації фільтрів. Запропоновано методику реалізації фільтрів та співвідношення, що визначають параметри розсіювання елементів фільтрів. Складено функції фільтрації та апроксимувальні функції для низки структур фільтрів. Визначено співвідношення, що використовуються при виділенні елементів із загальної структури фільтра на етапі реалізації. Наукова новизна роботи полягає в розробленні нового методу синтезу квазіеліптичних шлейфових фільтрів нижніх частот, що забезпечує реалізацію оптимальних амплітудно-частотних характеристик унаслідок використання в повному обсязі потенційних можливостей структур фільтрів, що синтезуються, за частотною вибірковістю.

Ключові слова: синтез, фільтр нижніх частот, шлейф, параметри розсіювання, функція фільтрації, апроксимація.



---

**Karpukov L. M., Voskoboynik V. O., Savchenko Iu. V., Kozina G. L. Method of Increasing Information Security in Communication Channels Using Microwave Filters with Attenuation Poles at Predetermined Frequencies**

*The article presents a review of studies devoted to the consideration of modern methods of organising the transmission of critical information. The task of protecting information in microwave communication channels is inextricably linked to the problems of electronic compatibility and electronic countermeasures. Microwave filters are an integral part of radio engineering and telecommunication systems, performing frequency selection of signals, suppression of interference, and decoupling of receiving and transmitting paths. Therefore, the improvement of traditional and development of new methods for designing microwave filters in order to improve their functional and mass-dimensional characteristics is an urgent task. The aim of this article is to develop a method for the direct synthesis of stub quasi-elliptical filters with an equal-wave response in the passband and transmission zeros at specified frequencies in the blocking band. The presented method and the proposed relations can serve as a basis for developing a procedure for synthesising bandpass quasi-elliptic loop filters, as well as low-pass filters and bandpass filters implemented on segments of coupled lines. An analysis of the use of two-sectional loops to create zeroes of the filter's transmission coefficient at given frequencies and the use of Chebyshev functions and algebraic Chebyshev-Markov cosine fractions to approximate its frequency response is carried out. A new method for the direct synthesis of quasi-elliptic low-pass filters has been developed, which provides optimal characteristics that fully meet the potential capabilities of filter structures in terms of frequency selectivity. The presented method and the proposed relations can serve as a basis for developing a procedure for synthesising bandpass quasi-elliptic stub filters, as well as low-pass filters and bandpass filters implemented on segments of coupled lines. For stub quasi-elliptic low-pass filters, without the use of prototype filters. The filtering functions for the filter structures composed of single-section and two-section stubs are determined. On the basis of Chebyshev functions and the algebraic Chebyshev-Markov cosine fraction, functions that approximate the filtering functions of the filters are compiled. The methodology for implementing filters and the relations that determine the scattering parameters of filter elements are proposed. The filtering functions and approximation functions for a number of filter structures are compiled. The relations used in the selection of elements from the overall filter structure at the implementation stage are determined. The scientific novelty of the work lies in the development of a new method for synthesising quasi-elliptic low-pass loop filters, which ensures the realisation of optimal amplitude-frequency characteristics due to the full use of the potential capabilities of the synthesised filter structures in terms of frequency selectivity.*

**Key words:** synthesis, low-pass filter, loop, scattering parameters, filter function, approximation.

**Вступ.** Завдання захисту інформації в каналах зв'язку мікрохвильового діапазону нерозривно пов'язане з проблемами електронної сумісності та радіоелектронної протидії. Вплив навмисних і ненавмисних електромагнітних завад на технічні засоби може погіршити якість їхнього функціонування, спричинити збої, спотворення або знищення інформації, а також створити канали витoku інформації. Забезпечення системних властивостей електромагнітної сумісності та інформаційної захищеності в умовах впливу на технічні засоби електромагнітних завад зумовлює необхідність вжиття комплексу спеціальних заходів схемотехнічного та конструкторського характеру. Серед схемотехнічних заходів важливе значення має розробка і застосування мікрохвильових фільтрів, що вирізняються високою частотною вибірковістю, а також можливістю завдання полюсів загасання на частотах роботи стаціонарних джерел електромагнітних завад. Найповніше цим умовам задовольняють квазіеліптичні фільтри. Умови компактності та можливості застосування під час виробництва фільтрів технології друкованих плат визначають вибір конструкцій фільтрів, зручних для мікросмужкової реалізації. Серед різноманітних конструкцій мікросмужкових фільтрів слід виокремити шлейфні мікросмужкові фільтри внаслідок простоти конструкції та технологічності їх масового виробництва.

Об'єктом дослідження є процедури синтезу квазіеліптичних мікрохвильових шлейфових фільтрів. За рідкісним винятком синтез квазіеліптичних фільтрів здійснюється за традиційною процедурою, що складається з двох етапів [1,2,3]. На першому етапі виконується синтез фільтра-прототипу на LC-елементах, на другому етапі виконується перетворення LC-схеми прототипу в схему на елементах з розподіленими параметрами. У своїй основі традиційна процедура є наближеною, забезпечуючи відповідність характеристик фільтра-прототипу і синтезованого мікрохвильового фільтра у вузькій смузі відносно центральної частоти робочого діапазону. Тому виникає необхідність у розробленні прямих

---

методів синтезу мікрохвильових квазіеліптичних фільтрів, що виключають застосування фільтрів-прототипів.

Предметом дослідження є процедури прямого синтезу шлейфових квазіеліптичних фільтрів. Квазіеліптичну характеристику в таких фільтрах створюють схеми, складені з двох типів шлейфів: односекційного шлейфу, утвореного з короткозамкненого або розімкненого на кінці відрізка лінії, а також із двосекційного шлейфу, складеного з двох відрізків ліній, які утворюють резонатор, що формує загасання на заданій частоті.

Метою дослідження є розробка прямого методу синтезу квазіеліптичних фільтрів нижніх частот, складених із співрозмірних відрізків чвертьхвильових ліній.

**Постановка задачі.** Розроблення прямого методу синтезу квазіеліптичних шлейфових фільтрів містить у собі розв'язання таких завдань класичної теорії синтезу електричних фільтрів:

- складання функції фільтрації досліджуваної структури фільтра;
- вибір для функції фільтрації апроксимувальної функції, що задовольняє вимогам щодо частотної вибірковості;
- побудова передавальної функції фільтра, що задовольняє заданим вимогам і умовам фізичної реалізованості;
- визначення параметрів елементів структури фільтра.

**Літературний огляд.** Більшість методів розрахунку мікрохвильових фільтрів ґрунтується на використанні LC-фільтрів-прототипів зі сходою структурою [1, 2, 3]. Для LC-фільтрів розв'язано задачі синтезу й отримано результати в замкненій формі, які дають змогу синтезувати фільтри з амплітудно-частотними характеристиками, які можна апроксимувати різними функціями, включно з еліптичними функціями. Однак класичні LC-прототипи еліптичних фільтрів за їхньої мікросмужкової реалізації призводять до складних, не технологічних конструкцій, трудомістких у налаштуванні. Тому в мікрохвильовій інженерії під час проєктування фільтрів широко використовується квазіеліптична апроксимація, яка практично не поступається за вибірковістю еліптичним характеристикам і дає змогу створювати технологічні мікросмужкові конструкції [1, 2].

Для прямого синтезу квазіеліптичних низькочастотних фільтрів-прототипів запропоновано апроксимацію їхніх коефіцієнтів передавання чебишевською функцією спеціального вигляду, яка забезпечує рівнохвильову характеристику в смузі пропускання і полюси на заданих частотах у смузі загородження [4–7]. За коефіцієнтом передачі складається матриця зв'язків, яка визначає структуру еквівалентної LC-схеми синтезованого прототипу. Формування полюсів загасання в таких схемах забезпечується перехресними, міжелементними зв'язками, що ускладнюють конструкцію фільтра.

Спростити структуру квазіеліптичного фільтра шляхом усунення перехресних, міжелементних зв'язків можна забезпечити застосуванням двосекційних шлейфів [3]. У [8, 9] наведено методикку розрахунку квазіеліптичних фільтрів, складених з односекційних і двосекційних шлейфів, з використанням класичного перетворення [3] низькочастотного LC-фільтра у фільтр на елементах з розподіленими параметрами.

Для перетворення елементів LC-схем фільтрів-прототипів на елементи з розподіленими параметрами зазвичай застосовується перетворення Річарда, а формування структури мікрохвильового фільтра здійснюють за допомогою тотожностей Куроди [1, 2, 3]. Тотожності Куроди ґрунтуються на введенні в структуру фільтра одиничних елементів, що реалізуються на чвертьхвильових відрізках лінії. Слід зазначити, що перетворення Річарда і тотожності Куроди виконуються тільки на робочій частоті фільтра, що позначається на якості характеристик синтезованих фільтрів.

У [10, 11] як фільтри-прототипи використовують цифрові фільтри чебишевського або квазіеліптичного типу, передавальні функції яких складено у вигляді дробово-раціональної функції за параметром  $z = \exp(j\omega x)$  [12]. В аналогічній формі складається передавальна функція синтезованого мікрохвильового фільтра із заданою структурою. Параметри елементів структури визначаються шляхом розв'язування оптимізаційної задачі, метою якої є найкращий збіг коефіцієнтів дробово-раціональних функцій фільтра-прототипу та синтезованого фільтра.

У низці робіт, наприклад у [13], методи оптимізації застосовуються безпосередньо для розрахунку топології фільтра відповідно до вимог на його АЧХ. Однак процес оптимізації в цьому випадку пов'язаний зі значними витратами часу, а в разі невдалого початкового наближення може бути отримано рішення, далеке від оптимального.

Використання фільтрів-прототипів або оптимізаційних методів під час синтезу мікрохвильових фільтрів у загальному випадку не призводить до оптимальних рішень. Тому виникає необхідність у розробленні для мікрохвильових фільтрів прямих методів синтезу, аналогічних класичним процедурам синтезу, що включають етапи апроксимації, формалізації та реалізації.

У [14] запропоновано метод прямого синтезу чебишевського шлейфового фільтра нижніх частот, який забезпечує знаходження безпосередньо за заданою структурою фільтра оптимальних значень його параметрів без використання фільтрів-прототипів і методів оптимізації. У зв'язку з цим представляє значний інтерес узагальнення цього методу на синтез шлейфних структур, що містять двосекційні шлейфи, які формують полюси загасання на заданих частотах.

**Матеріали та методи.** Розглянуті квазіеліптичні ФНЧ являють собою симетричну каскадну структуру, складену з комбінації елементів, зазначених на рис. 1. Набір елементів містить у собі відрізок сполучної лінії (а), розімкнутий на кінці односекційний шлейф (б), а також розімкнутий на кінці двосекційний шлейф (в), за допомогою якого реалізується нуль коефіцієнта передачі фільтра на заданій частоті.

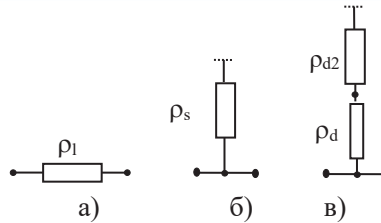


Рис. 1. Элементарная база моделирования фильтров

На рисунке  $\rho_l, \rho_s, \rho_{d1}, \rho_{d2}$  – хвильові опори відрізків ліній та шлейфів. Приклад структури фільтра з нулем коефіцієнта передачі наведено на рис. 2, де  $\rho_0$  – хвильовий опір портів на вході та виході фільтра. Фільтр складено з  $n_s$  односекційних шлейфів,  $n_l$  відрізків з'єднувальних ліній ( $n_l=n_s$ ), а також із двосекційного шлейфу, розташованого по центру структури. З'єднання і шлейфи виконуються з чвертьхвильових відрізків ліній.

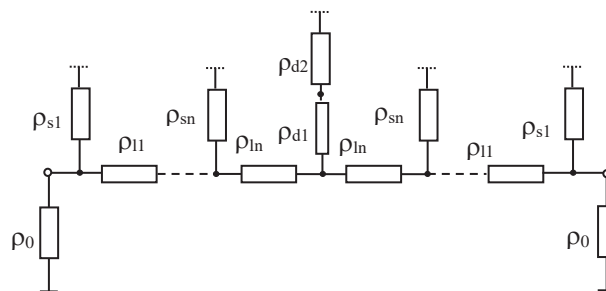


Рис. 2. Структура фильтра с нулем коэффициента передачи

Для аналізу фільтрів і моделювання його елементів скористаємося модифікованою матрицею передавання (Т-матрицею) [15], складеною відносно чисельників і знаменників параметрів розсіювання

$$\hat{S}_{ik} = \frac{\hat{A}_{ik}}{\hat{B}} \text{ фільтра і параметрів } S_{ik_n} = \frac{A_{ik_n}}{B_n} \text{ його елементів:}$$

$$\hat{T} = \left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} \hat{B} & -\hat{A}_{11} \\ \hat{A}_{11} & -\hat{A} \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} A_i & -A_{11i} \\ A_{11i} & -B_i \end{bmatrix} \\ \hat{A}_{21} = \prod_{i=1}^n A_{21i} \end{array} \right\} \quad (1)$$

де  $\hat{A} = \frac{\hat{A}_{11}^2 - \hat{A}_{21}^2}{\hat{B}}$ ,  $A_i = \frac{A_{11i}^2 - A_{21i}^2}{B_i}$ .

Характеристики базових елементів для моделювання фільтрів нижніх частот подамо так:

– для відрізка лінії

$$\left. \begin{array}{l} T_l(\theta) = \cos(\theta)E + j \frac{\sin(\theta)}{2R_l} \begin{bmatrix} R_l^2 + 1 & -(R_l^2 - 1) \\ R_l^2 - 1 & -(R_l^2 + 1) \end{bmatrix} \\ A_{21l} = 1; \end{array} \right\} \quad (2)$$

– для розімкнутого на кінці шлейфу

$$\left. \begin{array}{l} T_s(\theta) = \cos(\theta)E + j \frac{\sin(\theta)}{2R_s} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \\ A_{21s} = \cos(\theta); \end{array} \right\} \quad (3)$$

– для двосекційного розімкнутого на кінці шлейфу:

$$\left. \begin{array}{l} T_d(\theta) = (\cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_n))E + j \frac{\sin(2\theta)}{4R_{d1}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \\ A_{21d}(\theta) = \cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_n). \end{array} \right\} \quad (4)$$

Тут  $E$  – одинична матриця,  $R_i = \frac{\rho_i}{\rho_0}$  – нормовані опори ліній;  $j = \sqrt{-1}$  – уявна одиниця,  $\theta = \frac{2\pi L}{\lambda}$  – електрична довжина,  $L$  – довжина лінії,  $\lambda$  – довжина хвилі.

Нулі передавальної функції фільтра  $\hat{S}_{21} = \frac{\hat{A}_{21}}{\hat{B}}$  формуються нулем функції  $A_{21D}(\theta)$  в (4), значення якого визначається співвідношенням

$$\theta_n = \arccos(-\Gamma_{21d}), \quad (5)$$

де  $\Gamma_{21d} = \frac{(\rho_{d2} - \rho_{d1})}{(\rho_{d2} + \rho_{d1})}$  – коефіцієнт відбиття від зчленування ліній у двосекційному шлейфі.

Звідси при відомому  $R_{d1}$  значення  $R_{d2}$  визначається за формулою:

$$R_{d2} = R_{d1} \frac{1 - \cos(2\theta_n)}{1 + \cos(2\theta_n)}. \quad (6)$$

Частотні властивості фільтра будемо характеризувати функцією фільтрації

$$F(\theta) = \frac{\hat{A}_{11}(\theta)}{\hat{A}_{21}(\theta)}, \quad (7)$$

на підставі якої складається коефіцієнт передачі за потужністю фільтра:

$$|\hat{S}_{21}(\theta)|^2 = \frac{1}{1 + |F(\theta)|^2}. \quad (8)$$

Зазначимо, що для симетричних структур фільтрів функція фільтрації являє собою уявну величину.

На підставі співвідношень (1) – (4) аналіз структури на рис. 2 дає такий вираз для її функції фільтрації:

$$F(\theta) = j \frac{\sin(\theta) \cos(\theta) \sum_{k=0}^{n_s} a_k \sin^{2k}(\theta)}{\cos^{n_s}(\theta) (\cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_n))}. \quad (9)$$

Для цієї функції підібрано апроксимацію з використання функції Чебишева та алгебраїчного косинус-дробу Чебишева – Маркова:



$$F_a(n_s, \theta) = \cos \left\{ n_s \arccos(S(\theta)) + (n_s - 1) \arccos(T(\theta)) + 2 \arccos \left( \frac{h_n S(\theta)}{\sqrt{1 - \frac{S(\theta)^2}{S(\theta_n)^2}}} \right) \right\}, \quad (10)$$

де  $S(\theta) = \frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta_c)}$ ,  $T(\theta) = \frac{\operatorname{tg}(\theta)}{\operatorname{tg}(\theta_c)}$ ,  $h_n = \sqrt{1 - \frac{S(\theta_c)^2}{S(\theta_n)^2}}$ ,  $\theta_c$  – електрична довжина для частоти зрізу за рівнем пульсацій у смузі пропускання фільтра.

Функція (10) забезпечує рівнохвильову характеристику фільтра в смузі пропускання і нуль передачі в смузі загородження. Ця функція може бути записана у вигляді:

$$F_a(\theta) = \frac{0,5 \sin^2(\theta_n) (A^{(+)}(\theta) + A^{(-)}(\theta))}{c \cos(\theta)^{n_s-1} (\sin^2(\theta_n) - \sin^2(\theta))}, \quad (11)$$

де  $A^{(\pm)}(\theta) = (S(\theta) \pm Q(\theta))^{n_s} (\cos(\theta_c) S(\theta) \pm Q(\theta))^{n_s-1} \times (h_n S(\theta) \pm Q(\theta))^2$ ,  $Q(\theta) = \sqrt{S(\theta)^2 - 1}$ .

Перетворення цього виразу приводить до співвідношення, що збігається за формою з (9):

$$F_a(\theta) = \frac{\sin(\theta) \sum_{k=0}^{n_s} b_k \sin^{2k}(\theta)}{\cos(\theta)^{n_s-1} (\sin^2(\theta_n) - \sin^2(\theta))}. \quad (12)$$

На рис. 3 представлено структуру фільтра з двома однаковими двосекційними шлейфами. Її функція фільтрації має вигляд:

$$F(\theta) = j \frac{\sin(\theta) \cos^2(\theta) \sum_{k=0}^4 a_k \sin^{2k}(\theta)}{\cos^3(\theta) (\cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_n))^2} \quad (13)$$

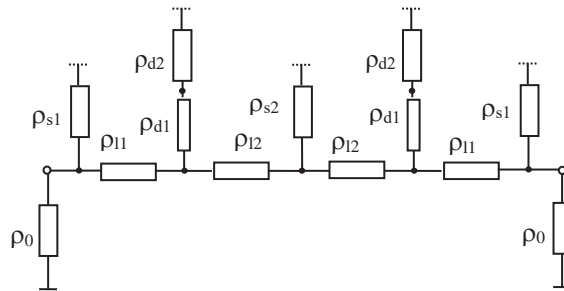


Рис. 3. Структура фільтра з двома однаковими двосекційними шлейфами

Апроксимація цієї функції за аналогією з (10) – (12) запишеться таким чином:

$$F_a(\theta) = \frac{0,5 \sin^4(\theta_n) (A^{(+)}(\theta) + A^{(-)}(\theta))}{c \cos(\theta) (\sin^2(\theta_n) - \sin^2(\theta))^2}, \quad (14)$$

где  $A^{(\pm)}(\theta) = (S(\theta) \pm Q(\theta))^4 (\cos(\theta_c) S(\theta) \pm Q(\theta)) \times (h_n S(\theta) \pm Q(\theta))^4$ .

Розкриття функцій  $A^{(\pm)}(\theta)$  приводить до формули, що збігається за формою з (13):

$$F_a(\theta) = \frac{\sin(\theta) \sum_{k=0}^{n_s} b_k \sin^{2k}(\theta)}{\cos(\theta) (\sin^2(\theta_n) - \sin^2(\theta))^2}. \quad (15)$$

Для отримання фільтра з двома нулями передачі може бути використана структура, зазначена на рис. 4.

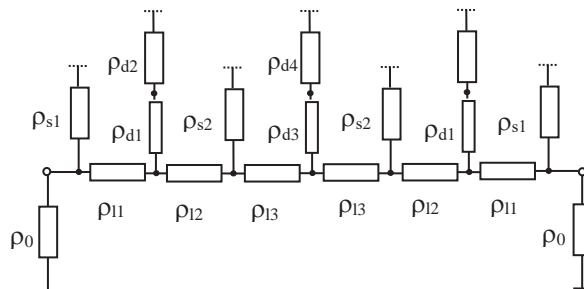


Рис. 4. Структура фільтра з двома нулями коефіцієнта передачі

Функція фільтрації цієї структури записується як

$$F(\theta) = j \frac{\sin(\theta) \cos^3(\theta) \sum_{k=0}^6 a_k \sin^{2k}(\theta)}{\cos^4(\theta) P_1(\theta) P_2(\theta)}, \quad (16)$$

де  $P_{1,2}(\theta) = \cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_{n_{1,2}})$ .

Відповідна апроксимувальна функція має аналогічний (13) вигляд, коефіцієнти  $b_k$  її полінома в чисельнику визначаються зі співвідношення:

$$F_a(\theta) = \frac{0,5 \sin^4(\theta_{n_1}) \sin^2(\theta_{n_2}) (A^{(+)}(\theta) + A^{(-)}(\theta))}{c \cos(\theta) P_1(\theta) P_2(\theta)}, \quad (17)$$

де  $A^{(\pm)}(\theta) = (S(\theta) \pm Q(\theta))^6 (\cos(\theta_c) S(\theta) \pm Q(\theta)) \times$   
 $\times (h_{n_1} S(\theta) \pm Q(\theta))^4 (h_{n_2} S(\theta) \pm Q(\theta))^2$ .

Після вибору апроксимувальної функції для функції фільтрації наступним етапом у загальному процесі синтезу є операція формалізації, мета якої полягає у виділенні полінома Гурвіца  $\hat{B}(z)$ , где  $z = \exp(-j2\theta)$ , зі знаменника параметрів розсіювання фільтра. Ця операція здійснюється на підставі умови унітарності

$$|\hat{B}(z)|^2 = |\hat{A}_{11}(z)|^2 + |\hat{A}_{21}(z)|^2 \quad (18)$$

матриці розсіювання фільтра.

За результатом формалізації складаються параметри розсіювання  $\hat{S}_{ik}(z) = \frac{\hat{A}_{ik}(z)}{\hat{B}(z)}$  і матриця передачі  $\hat{T}(z)$  фільтра.

Заключним етапом синтезу фільтра є реалізація його структурної схеми, що полягає у визначенні хвильових опорів з'єднувальних ліній і шлейфів. Процес реалізації полягає в послідовному виділенні з матриці  $\hat{T}(z)$  фільтра матриць  $T_k(z)$  елементів її структури.

Для визначення хвильових опорів елементів структури, що відокремлюються, використовуються такі співвідношення:

- Під час від'єднання односекційного шлейфу і відрізка лінії від двосекційного шлейфу використовуються дві умови:

$$\begin{cases} R_s^{-1} + R_l^{-1} = Y_0, \\ R_s^{-1} t g(\theta_n) - R_l^{-1} c t g(\theta_n) = -j Y_n, \end{cases}$$

звідки

$$\begin{cases} R_s^{-1} = \frac{(1 + t g(\theta_n))}{(Y_0 - j t g(\theta_n))}, \\ R_l^{-1} = \frac{(1 + c t g(\theta_n))}{(Y_0 + j c t g(\theta_n))}, \end{cases} \quad (19)$$

де

$$Y_0 = \frac{1 - \hat{S}_{11}(0)}{1 + \hat{S}_{11}(0)},$$

$$Y_n = \frac{1 - \hat{S}_{11}(z)}{1 + \hat{S}_{11}(z)}, \quad z = z_n = e^{-j2\theta_n}$$

- Під час від'єднання двосекційного шлейфу від лінії використовується співвідношення

$$R_{d1} = \frac{(1 - z_n^2) (d\hat{A}_{11}(z)/dz + d\hat{B}(z)/dz)}{2(z_n - z_n^{-1}) \hat{B}(z)} \Bigg|_{z=z_n}, \quad (20)$$

яке впливає з умови подільності матриці  $N_d(z) \hat{T}(z)$  на  $\det(T_d(z)) = (z - z_n)^2 (z - z_n^{-1})^2$ , де  $N_d(z)$  матриця, приєднана до матриці  $T_d(z)$  двосекційного шлейфу.

Можна спростити процес реалізації шляхом розв'язання спільної системи нелінійних рівнянь, складеної за коефіцієнтами поліномів  $F(\theta)$  и  $F_a(\theta)$ :

$$a_k(X) - \delta b_k = 0, \quad k = 1, \dots, n, \quad (21)$$

де  $X = x_1, \dots, x_n$  – вектор, утворений зі шуканих хвильових опорів,  $\delta$  – величина пульсацій у смузі пропускання фільтра'.

**Експерименти.** Для апробації запропонованого методу виконаємо синтез фільтра нижніх частот за вихідними даними з [11]: центральна частота  $f_0 = 4$  ГГц ( $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$ ); характеристика в смузі пропускання рівнохвильова з частотою зрізу за рівнем пульсацій  $f_c = 1,2$  ГГц ( $\theta_c = 0,471$ ) та загасанням  $\alpha_c = 1,0$ ДБ; загасання  $\alpha_b$  у смузі загородження не менше 40 дБ на частоті  $f_b = 2,0$  ГГц ( $\theta_b = \frac{\pi}{4}$ ).

Для синтезу фільтра вибираємо структуру на рис. 1 і функцію апроксимації (10). З умови

$$|F_a(n_s, \theta_b)| \geq \frac{\sqrt{\frac{\alpha_b}{10^{\frac{\alpha_b}{10}} - 1}}}{\sqrt{\frac{\alpha_c}{10^{\frac{\alpha_c}{10}} - 1}}} \quad (22)$$

визначаємо мінімальне число односекційних шлейфів і відрізків ліній. Для зазначених значень  $\alpha_c$ ,  $\alpha_b$ ,  $\theta_c$ ,  $\theta_b$  умова (22) буде виконано при  $n_s = n_l = 2$ ,  $\theta_n = 0,656$  ( $f_n = 1,67$  ГГц). У результаті апроксимувальна функція набуде вигляду:

$$F_a(\theta) = \frac{\sin(\theta) \sum_{k=0}^2 b_k \cos^{2k}(\theta)}{\cos(\theta)(\sin^2(\theta_n) - \sin^2(\theta))}$$

де коефіцієнти обчислюються за формулами:

$$b_0 = \sin(\theta_n)^2 \frac{2+2h_n+\cos(\theta_c)}{\sin(\theta_c)},$$

$$b_1 = -\sin^2(\theta_n) \frac{4 + 6h_n + 2h_n^2 + (3 + 4h_n + h_n^2) \cos(\theta_c)}{\sin^3(\theta_c)},$$

$$b_2 = \sin^2(\theta_n) \frac{(2+4h_n+2h_n^2)(1+\cos(\theta_c))}{\sin^5(\theta_c)}.$$

Для фільтра, що синтезується:  $b_0 = 3,80121$ ;  $b_1 = -63,499975$ ;  $b_2 = 227,681271$ .

За цими коефіцієнтами і співвідношеннями (18), (19) у результаті процедур формалізації та реалізації отримано такі значення опорів елементів фільтра для хвильового опору портів  $\rho_0 = 50$  Ом:  $\rho_s = 12,072$ ,  $\rho_l = 99,141$ ,  $\rho_{d_1} = 32,395$ ,  $\rho_{d_2} = 19,192$  Ом.

Для цих самих вихідних даних у [11] подано результати розрахунку фільтра з використанням цифрового фільтра-прототипу, складеного для z-області. Фільтр було реалізовано у вигляді восьми секцій, перша й остання секції представлені двосекційними шлейфами з опорами  $\rho_{d_1} = 80,3$ ;  $\rho_{d_2} = 259,0$  и  $\rho_{d_1} = 103,2$ ;  $\rho_{d_2} = 69,4$  (Ом), що забезпечують нулі передачі на частотах  $f_{n_1} = 1,72$  ГГц ( $\theta_{n_1} = 0,675$ ) и  $f_{n_2} = 2,7$  ГГц ( $\theta_{n_2} = 1,06$ ). По центру розташовувалася ступінчаста структура, складена з шести чвертьхвильових відрізків ліній з опорами: 143,8; 11,6; 160; 148,1; 99,4 (Ом).

На рис. 5 наведено результати розрахунку частотних залежностей коефіцієнта передавання фільтра, що розглядається, розраховані за пропонованим методом синтезу (крива 1) і за методикою з [11] (крива 2). Як випливає з малюнка, синтезований фільтр, за меншої кількості елементів порівняно з фільтром з [11], має суворо рівнохвильову залежність у смузі пропускання та вищу крутизну спаду.

Для фільтра зі структурою, зазначеною на рис. 3, розглянутим методом синтезу отримано при  $f_c = 1,2$  ГГц,  $\alpha_c = 0,2$ ДБ,  $f_b = 2,0$  ГГц,  $\alpha_b \geq 70$  дБ такі коефіцієнти апроксимуючої функції (15):  $b = 1.1366 \cdot 10^4$ ;  $-5.2358 \cdot 10^4$ ;  $9,0282 \cdot 10^4$ ;  $-6.9066 \cdot 10^4$ ;  $1.9777 \cdot 10^4$ .

За цими коефіцієнтами шляхом розв'язання системи рівнянь (21) обчислені при  $\rho_0 = 50$  Ом хвильові опори елементів фільтра:  $\rho = 18,73$ ; 125,71; 41,62; 24,66; 141,15; 10,85 (Ом) Тут і далі опори перелічено відповідно до послідовності опорів, зазначеної на малюнках зі структурою фільтра. Для цих даних результат розрахунку амплітудно-частотної характеристики синтезованого фільтра наведено на рис. 6.

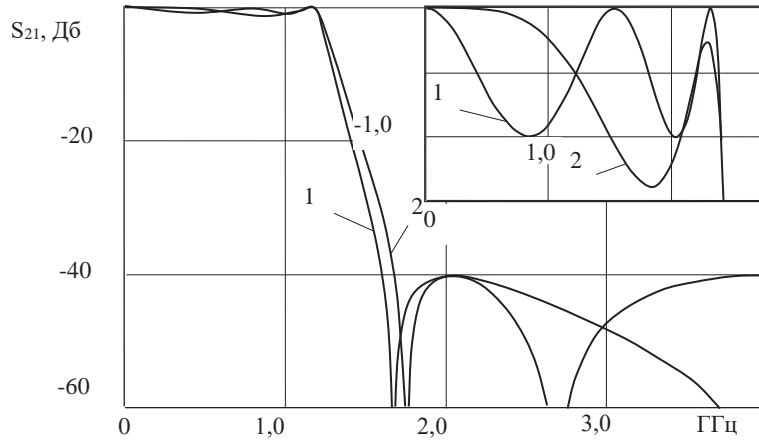


Рис. 5. Частотні характеристики фільтрів при  $f_c = 1,2\text{ГГц}$ ,  $\alpha_c = 1,0\text{дБ}$ ,  $f_b = 2,0\text{ГГц}$ ,  $\alpha_b = 40\text{дБ}$

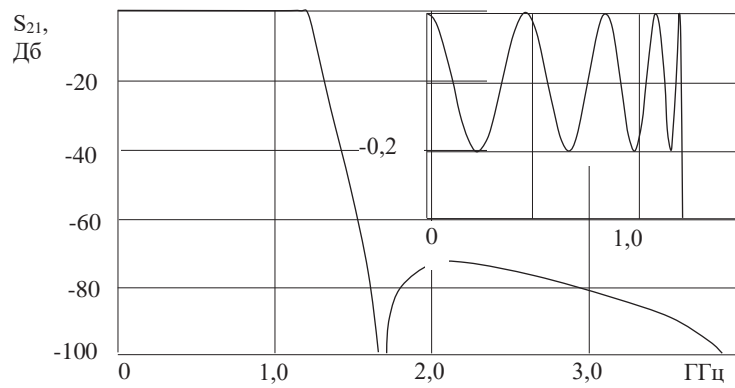


Рис. 6. Частотна характеристика коефіцієнта передачі фільтра зі структурою на рис. 3 при  $f_c = 1,2\text{ГГц}$ ,  $\alpha_c=0,2\text{ дБ}$ ,  $f_b = 2,0\text{ГГц}$ ,  $\alpha_b=74\text{ дБ}$

Для фільтра на рис. 4 із двома нулями передачі при  $f_c = 1,2\text{ГГц}$ ,  $\alpha_c = 0,1\text{дБ}$ ,  $f_b = 2,0\text{ ГГц}$ ,  $\alpha_b \geq 100\text{ дБ}$ ,  $f_{n_1} = 1,67\text{ГГц}$ ,  $f_{n_2} = 2,16\text{ГГц}$  знайдено такі коефіцієнти апроксимувальної функції (17):  $b=1,5384 \cdot 10^6$ ;  $-1,0562 \cdot 10^7$ ;  $3,018 \cdot 10^7$ ;  $-4,5938 \cdot 10^7$ ;  $3,9287 \cdot 10^7$ ;  $-1,7898 \cdot 10^7$ ;  $3,3933 \cdot 10^6$ . Для цих коефіцієнтів при  $\rho_0 = 50\text{ Ом}$  з розв'язання системи рівнянь (21) отримано:  $\rho=21,59$ ;  $130,9$ ;  $44,73$ ;  $26,49$ ;  $150,9$ ;  $11,39$ ;  $165,9$ ;  $22,3$ ;  $28,9\text{ (Ом)}$ . Результат розрахунку частотної характеристики синтезованого фільтра наведено на рис. 7

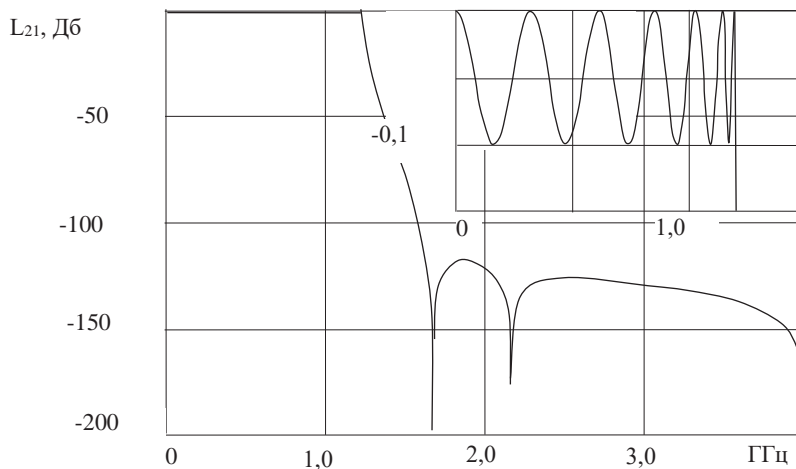


Рис. 7. Частотна характеристика коефіцієнта передачі фільтра зі структурою на рис. 4 при  $f_c = 1,2\text{ГГц}$ ,  $\alpha_c = 0,1\text{дБ}$ ,  $f_b = 2,0\text{ГГц}$ ,  $\alpha_b = 117\text{дБ}$



---

**Висновки.** Завдання захисту інформації в каналах зв'язку мікрохвильового діапазону нерозривно пов'язане з проблемами електронної сумісності та радіоелектронної протидії. Вплив навмисних і ненавмисних електромагнітних завад на технічні засоби може погіршити якість їхнього функціонування, спричинити збої, спотворення або знищення інформації, а також створити канали витоку інформації.

Мікрохвильові фільтри є невід'ємною частиною радіотехнічних і телекомунікаційних систем, здійснюючи частотну селекцію сигналів, придушення завад, розв'язку трактів приймання та передавання. Тому вдосконалення традиційних і розробка нових методів проектування мікрохвильових фільтрів з метою поліпшення їхніх функціональних і масо-габаритних характеристик є актуальним завданням.

Представлено метод і запропоновані співвідношення можуть слугувати основою для розроблення процедури синтезу смугово-пропускних квазіеліптичних шлейфових фільтрів, а також фільтрів нижніх частот і смугово-пропускних фільтрів, які реалізують на відрізках зв'язаних ліній. Для шлейфних квазіеліптичних фільтрів нижніх частот, без використання фільтрів-прототипів.

Проведено аналіз використання двосекційних шлейфів для створення нулів коефіцієнта передавання фільтра на заданих частотах і застосування для апроксимації його частотної характеристики функції Чебишева та алгебраїчних косинус-дробів Чебишева – Маркова

Розроблено новий метод прямого синтезу квазіеліптичних шлейфових фільтрів нижніх частот, що забезпечує одержання оптимальних характеристик унаслідок використання в повному обсязі потенційних можливостей структур фільтрів, що синтезуються, за частотною вибірковістю.

Визначено функції фільтрації для структур фільтрів, складених з односекційних і двосекційних шлейфів. На основі функцій Чебишева та алгебраїчного косинус-дробі Чебишева – Маркова складено функції, що апроксимують функції фільтрації фільтрів. Запропоновано методику реалізації фільтрів та співвідношення, що визначають параметри розсіювання елементів фільтрів. Складено функції фільтрації та апроксимувальні функції для низки структур фільтрів.

Визначено співвідношення, що використовуються при виділенні елементів із загальної структури фільтра на етапі реалізації.

### Аббревіатури

ФНЧ – фільтр нижніх частот;  
ФФ – функція фільтрації;  
ПП – смуга пропускання;  
ПЗ – смуга загородження;  
АЧХ – амплітудно-частотна характеристика.

### Номенклатура

$\theta$  – електрична довжина, рад;  
 $\rho_0$  – хвильовий опір вхідного і вихідного портів фільтра, Ом;  
 $\rho_i$  – хвильовий опір лінії, Ом;  
 $R_i$  – нормований хвильовий опір лінії;  
 $S_{ik}$  – параметр розсіювання;  
 $j$  – уявна одиниця;  
 $\alpha$  – загасання, дБ;  
 $f_0$  – центральна частота, Гц;  
 $f_c$  – частота зрізу за рівнем пульсацій, Гц;  
 $T$  – модифікована матриця передачі;  
 $E$  – одинична матриця.

### Список використаних джерел:

1. Hong. Microstrip filters for RF/microwave applications. Hoboken/ Jia-Sheng Hong – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 635 p.
2. Cameron R.J. Microwave filters for communication systems: fundamentals, design, and applications. Hoboken:/ R.J. Cameron, C.M. Kudsia, R.R. Mansour – New York: Wiley & Sons, Inc., 2007. 771 p.

3. G. Mattaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, Norwood, MA, 1980. 1096 p.
4. R. J. Cameron. "Fast generation of Chebychev filter prototypes with asymmetrically-prescribed transmission zeros". *ESA J.*, vol. 6, pp. 83–95, 1982.
5. R. J. Cameron. "General Coupling Matrix Synthesis Methods for Chebyshev Filtering Functions". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, No.4, pp. 433-442, April 1999.
6. S. Amari. "Direct Synthesis of a New Class of Bandstop Filters". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, No.2, pp. 607-616, February 2004.
7. G. Macchiarella. "Accurate Synthesis of Inline Prototype Filters Using Cascaded Triplet and Quadruplet Sections". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, No.7, pp. 1779-1783, July 2002.
8. C. Quendo, E. Rius, and C. Person. "Narrow Bandpass Filters Using Dual-Behavior Resonators". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, No.3, pp. 734-743, March 2003.
9. C. Quendo, E. Rius, and C. Person. "Narrow Bandpass Filters Using Dual-Behavior Resonators Based on Stepped-Impedance Stubs and Different-Length Stubs". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, No.3, pp. 1034-1043, March 2004.
10. Da-Chiang Chang "Design and Implementation of Filters Using Transfer Functions in the Z Domain". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, No.5, pp. 979-985, May 2001.
11. Da-Chiang Chang and Ching-Wen Hsue "Wide-Band Equal-Ripple Filters in Nonuniform Transmission". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, No. 4, pp. 1114-1117, April 2002.
12. A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall., 1989.-893 p.
13. Ming-Iu Lai, Shyh-Kang Jeng "Compact Microstrip Dual-Band Bandpass Filters Design Using Genetic-Algorithm Techniques" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, No. 1, pp.160-167, January 2006.
14. Карпуков Л.М. Прямой синтез шлейфных фильтров нижних частот с чебышевской характеристикой / Л.М. Карпуков, Р.Ю. Корольков // *Радиоелектроніка. Інформатика. Управління*. – 2014. – №1. – С.35-39.

#### References:

1. Hong. *Microstrip filters for RF/microwave applications*. Hoboken/ Jia-Sheng Hong – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 635 p.
2. Cameron R.J. *Microwave filters for communication systems: fundamentals, design, and applications*. Hoboken:/ R.J. Cameron, C.M. Kudsia, R.R. Mansour – New York: Wiley & Sons, Inc., 2007. 771 p.
3. G. Mattaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, Norwood, MA, 1980. 1096 p.
4. R. J. Cameron. "Fast generation of Chebychev filter prototypes with asymmetrically-prescribed transmission zeros". *ESA J.*, vol. 6, pp. 83–95, 1982.
5. R. J. Cameron. "General Coupling Matrix Synthesis Methods for Chebyshev Filtering Functions". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, No.4, pp. 433-442, April 1999.
6. S. Amari. "Direct Synthesis of a New Class of Bandstop Filters". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, No.2, pp. 607-616, February 2004.
7. G. Macchiarella. "Accurate Synthesis of Inline Prototype Filters Using Cascaded Triplet and Quadruplet Sections". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, No.7, pp. 1779-1783, July 2002.
8. C. Quendo, E. Rius, and C. Person. "Narrow Bandpass Filters Using Dual-Behavior Resonators". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, No.3, pp. 734-743, March 2003.
9. C. Quendo, E. Rius, and C. Person. "Narrow Bandpass Filters Using Dual-Behavior Resonators Based on Stepped-Impedance Stubs and Different-Length Stubs". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, No.3, pp. 1034-1043, March 2004.
10. Da-Chiang Chang "Design and Implementation of Filters Using Transfer Functions in the Z Domain". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, No.5, pp. 979-985, May 2001.
11. Da-Chiang Chang and Ching-Wen Hsue "Wide-Band Equal-Ripple Filters in Nonuniform Transmission". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, No. 4, pp. 1114-1117, April 2002.
12. A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall., 1989.-893 p.
13. Ming-Iu Lai, Shyh-Kang Jeng "Compact Microstrip Dual-Band Bandpass Filters Design Using Genetic-Algorithm Techniques" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, No. 1, pp.160-167, January 2006.
14. Karpukov L.M., Korol'kov R.Yu. Pryamoy sintez shleyfnykh fil'trov nizhnikh chastot s chebyshevskoy kharakteristikoy. *Radıoyelektronıka. Informatika. Upravlinnya*. 2014. №1. Pp.35-39.

**Козіна Г. Л.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри захисту інформації  
Національного технічного університету «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0002-4787-6865

**Савченко Ю. В.**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій  
Університету митної справи та фінансів  
ORCID: 0000-0002-7177-6311

**Воскобойник В. О.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри захисту інформації  
Національного технічного університету «Запорізька політехніка»  
ORCID: 0000-0003-3786-8666

**Карпуков Л. М.**, доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри захисту інформації  
Національного технічного університету «Запорізька політехніка»  
ORCID 0000-0002-7098-6018

## СИСТЕМА СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ФОТОГРАФІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КРИХКИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ

У статті представлено огляд досліджень, присвячених розгляду сучасної стеганології, завданням яких є не тільки розробка, аналіз або протидія засобам стеганографії, а й кваліфікований вибір існуючих засобів та їхнє уміле використання для вирішення конкретних прикладних завдань захисту інформації. Наявні в даний час публікації, присвячені стеганографії, або є науково-популярними, що не зачіпають математичних аспектів зазначеної науки, або зачіпають лише вузькі аспекти цієї науки. І тому, вони не в змозі повною мірою забезпечити зазначені потреби. Проведено аналіз стеганографічних методів захисту цифрових зображень, виокремлено можливі види атак на них. Наведено опис типів цифрових водяних знаків та їхнє призначення. Детально розглядаються крихкі цифрові водяні знаки, їхнє призначення, властивості та методи вбудовування в зображення. Виконано аналіз методу американського вченого P.W.Wong-а вбудовування цифрових водяних знаків у зображення. Показано, що для вирішення цілої низки практичних завдань інформаційної безпеки сьогодні недостатньо зробити інформацію недоступною для порушника (як відомо, вирішенням цього завдання займається криптографія). Найчастіше потрібно приховати сам факт її передавання – таким є класичне завдання стеганографії. Стеганографічний захист фотографій з використанням тендітних водяних знаків можна застосувати в тих випадках, коли перевірити справжність і цілісність цифрової фотографії може тільки її власник, оскільки секретний ключ і ЦВЗ зберігаються тільки у нього. Перевагою цього підходу є те, що під час перевірки не потрібне оригінальне зображення. Обґрунтовано вбудовування цифрових водяних знаків призначених для захисту авторських і майнових прав на цифрову інформацію різного роду, і впровадження в цифрові дані ідентифікаційних міток, призначених для маркування об'єктів у цифрових сховищах даних. На прикладі аналізу методу вбудовування цифрових водяних знаків у зображення розроблено модифікований алгоритм, у якому використовуються конкретні функції, параметри яких узгоджені одна з одною. Цей алгоритм реалізовано мовою програмування C++. При цьому показано, що використання цифрових водяних знаків не регламентується спеціальними законами, сам цифровий водяний знак, секретний ключ шифрування, а також увесь алгоритм вбудовування і перевірки автентичності рекомундується засвідчити в нотаріуса. Після чого бажано записати на знімний носій, призначений тільки для читання і помістити до банківського сейфу або залишити на відповідальне зберігання в нотаріуса. Крихкі цифрові водяні знаки можуть застосовуватися в поєднанні з електронним цифровим підписом для забезпечення більшої надійності.

Ключові слова: стеганографія, водяні знаки, крихкі водяні знаки, хешування, шифрування, цифрові зображення.

**Kozina G. L., Savchenko Yu.V., Voskoboynik V.O., Karpukov L.M. Steganographic photo protection system using fragile watermarks**

The article presents a review of research on modern steganology, the task of which is not only to develop, analyse or counteract steganography tools, but also to select the existing tools and use them skilfully to solve specific applied information security problems. The currently available publications on steganography are either popular science publications that do not address

© Г. Л. Козіна, Ю. В. Савченко, В. О. Воскобойник, Л. М. Карпуков, 2022

---

*the mathematical aspects of this science, or they address only narrow aspects of this science. Therefore, they are not able to fully meet these needs. The article analyses steganographic methods of digital image protection and identifies possible types of attacks on them. The types of digital watermarks and their purpose are described. Fragile digital watermarks, their purpose, properties and methods of embedding in images are considered in detail. The method of embedding digital watermarks in images by the American scientist P.W.Wong is analysed. It is shown that to solve a number of practical problems of information security today, it is not enough to make information inaccessible to an offender (as is known, cryptography is engaged in solving this problem). Most often, it is necessary to hide the very fact of its transmission – this is the classic task of steganography. Steganographic protection of photos using fragile watermarks can be applied in cases where only the owner of the digital photo can verify the authenticity and integrity of the photo, since the secret key and the digital signature are stored only by him. The advantage of this approach is that the original image is not required for verification. The article substantiates the embedding of digital watermarks intended to protect copyright and property rights to digital information of various kinds, and the introduction of identification labels into digital data intended to mark objects in digital data warehouses. The article analyses the method of embedding digital watermarks into images by means of an example. A modified algorithm has been developed which uses specific functions whose parameters are coordinated with each other. This algorithm is implemented in the C++ programming language. It is shown that the use of digital watermarks is not regulated by special laws, and it is recommended to notarise the digital watermark itself, the secret encryption key, and the entire algorithm for embedding and authentication. After that, it is advisable to record it on a removable read-only medium and place it in a bank safe or leave it for safe keeping with a notary. Fragile digital watermarks can be used in combination with an electronic digital signature to ensure greater reliability.*

**Key words:** *steganography, watermarking, fragile watermarks, hashing, encryption, digital images.*

**Вступ.** До теперішнього часу для цілого кола фахівців з'явилася необхідність ознайомлення з основами сучасної стеганології, завданням яких є не тільки розробка, аналіз або протидія засобам стеганографії, а й кваліфікований вибір існуючих засобів та їх уміле використання для розв'язання конкретних прикладних завдань захисту інформації. Наявні в даний час публікації, присвячені стеганографії, або є науково-популярними, що не зачіпають математичних аспектів зазначеної науки, або зачіпають лише вузькі аспекти цієї науки. І тому, вони не в змозі повною мірою забезпечити зазначені потреби.

Легкість копіювання та редагування веде до несанкціонованого використання, незаконного привласнення та спотворення зображень. Для захисту цифрових фотографій від фальсифікацій застосовуються стеганографічні методи [1].

Одним із напрямів стеганографії та найбільш ефективних технічних засобів захисту мультимедійної інформації є вбудовування в об'єкт, що захищається, невидимих міток – цифрових водяних знаків (ЦВЗ) [2]. Вони можуть застосовуватися, в основному, для захисту від копіювання та несанкціонованого використання. На відміну від звичайних водяних знаків ЦВЗ можуть бути не тільки видимими, а й (як правило) невидимими. Невидимі ЦВЗ аналізуються спеціальним декодером, який виносить рішення про їхню коректність.

ЦВЗ можуть бути трьох типів: робастні, тендітні та напівтендітні.

Робастні стійкі до багатьох видів спотворень, тендітні руйнуються за невеликої модифікації контейнера, а напівкрихкі стійкі до одних спотворень і нестійкі до інших.

Крихкі ЦВЗ [3-6] руйнуються за незначної модифікації заповненого контейнера. Вони застосовуються для автентифікації сигналів. Відмінність від засобів електронного цифрового підпису (ЕЦП) полягає в тому, що тендітні ЦВЗ все ж таки допускають деяку модифікацію контенту. Це важливо для захисту мультимедійної інформації, оскільки законний користувач може, наприклад, побажати стиснути зображення. Інша відмінність полягає в тому, що тендітні ЦВЗ повинні не тільки відобразити факт модифікації контейнера, а й вид і місце розташування цієї зміни.

Напівкрихкі ЦВЗ стійкі щодо одних впливів і нестійкі щодо інших. Взагалі кажучи, всі ЦВЗ можуть бути віднесені до цього типу. Однак напівкрихкі ЦВЗ спеціально проєктуються так, щоб бути нестійкими щодо певного роду операцій. Наприклад, вони можуть дозволяти виконувати стиснення зображення, але забороняти вирізку з нього або вставлення в нього фрагмента.

У цій роботі детально розглянуто крихкі ЦВЗ. Тендітні ЦВЗ спроектовані так, щоб з високою точністю можна було виявити невеликі зміни в зображенні, в яке впроваджено водяний знак. Головне призначення крихких водяних знаків полягає в автентифікації зображення та захисті від модифікацій.

**Постановка проблеми.** Серед методів вбудовування тендітних ЦВЗ розрізняють вбудовування в просторову і частотну область зображення. Вони відрізняються ступенем стійкості до таких спотворень, як стиснення з втратами. Вбудовування в частотну область дає змогу стиснути зображення, наприклад, JPEG-компресією зі збереженням водяного знака в зображенні, а другий тип вбудовування передбачає руйнування знака за будь-якого виду модифікацій.

Одну з методик вбудовування крихких ЦВЗ у просторову область запропонував американський професор Ping Wah Wong [6].

У даній роботі ця ідея була доопрацьована включенням до методу конкретних функцій і алгоритмів таким чином, щоб їхні параметри узгоджувалися один з одним. На основі цього було розроблено алгоритми вбудовування тендітних ЦВЗ у цифрове зображення та перевірки його на факт модифікацій. Ці алгоритми було реалізовано мовою програмування C++.



---

**Призначення і властивості крихких цифрових водяних знаків.** Крихкий цифровий водяний знак одразу ж змінюється або руйнується при зміні зображення лінійним або нелінійним перетворенням. Тендітні мітки не підходять для захисту авторського права на цифрові зображення, оскільки зловмисник може зруйнувати впроваджений ЦВЗ, а тендітні ЦВЗ, за визначенням, легко зруйнувати. Завдяки чутливості крихких ЦВЗ до модифікації вони можуть бути використані під час ідентифікації зображення. Таким чином, це може становити інтерес для учасників обміну зображеннями, щоб перевірити, що воно не було відредаговано, пошкоджено або змінено після впровадження в нього знака.

Системи автентифікації зображень застосовуються в судовій системі, торгівлі, безпеці та журналістиці. Оскільки цифрові зображення легко змінити, безпечна система автентифікації корисна для вказівки на те, що ніяке втручання не відбулося в тій ситуації, коли довіра до зображення може бути піддана сумніву. Прості приклади – впровадження ЦВЗ у зображення в базі даних для виявлення втручання, використання в журналістській фотокамері, щоб агентства преси могли гарантувати, що на зображенні не сфальсифіковано події, і впровадження ЦВЗ у зображення в торгівлі, щоб покупець був упевнений, що куплені зображення справжні. Також тендітні ЦВЗ використовуються на зображеннях, що є речовим доказом у суді, журналістських фотографіях, або зображеннях, які використовуються в електронному шпигунстві.

Інший спосіб перевірки автентичності цифрової роботи є використання системи електронного цифрового підпису. У цій системі підпис, яким будуть засвідчені дані, формується за допомогою криптографічних хеш-функцій [6]. Використовуючи отриманий хеш, дані криптографічно підписуються, таким чином, цей підпис пов'язаний з оригінальними даними. Потім одержувач перевіряє підпис, досліджуючи хеш (можливо змінений) даних і, використовуючи алгоритм перевірки, визначає, чи справжні дані. У той час як цілі створення тендітних водяних знаків і систем ЕЦП подібні, тендітні ЦВЗ мають невелику перевагу, оскільки вони все-таки припускають деяку модифікацію даних зображення (вставка водяного знака). Оскільки водяний знак впроваджено безпосередньо в зображення, ніяка додаткова інформація не потрібна для перевірки справжності (це не схоже на цифрові підписи, оскільки сам підпис має бути пов'язаний з переданими даними). Тому достатня інформація, необхідна в процесі перевірки автентичності, прихована, і її складніше видалити, ніж цифровий підпис. Крім того, системи ЕЦП розглядають зображення як довільний потік двійкових сигналів і не використовують його унікальну структуру. Тому система підпису може виявити, що зображення було змінено, але не може охарактеризувати зміни. На противагу цьому, багато систем створення крихких водяних знаків можуть визначити, які ділянки зображення були змінені, а які ні, а також оцінити природу змін.

**Атаки на цифровий водяний знак.** Існують потенційні атаки з боку зловмисних осіб на системи ЦВЗ. На сьогодні практично неможливо спроекувати систему, непроникну для всіх форм атак, і винайти вчасно нові методи захисту систем ЦВЗ. Але, звісно ж, знання загальних видів атак – важлива вимога для проектування поліпшених систем.

Перший тип атаки – проста модифікація зображення з ЦВЗ (тобто, довільна зміна зображення, припускаючи, що ніякого ЦВЗ не присутній). Ця форма атаки має бути чітко розпізнана будь-яким крихким водяним знаком, вона є найпоширенішою атакою, яку має врахувати система ЦВЗ. Різновиди цієї атаки включають підрізання та локальну заміну (таку як заміна обличчя однієї людини на іншу). Останній тип модифікації – суттєва причина для виявлення пошкоджених областей у межах зміненого зображення.

Інший тип атаки – спроба змінити зображення безпосередньо з ЦВЗ, не зачіпаючи його або створюючи нове, яке детектор сприйняв би як справжнє. Деякі слабкі крихкі ЦВЗ легко виявляють випадкові зміни в зображенні, але можуть бути не в змозі виявляти ретельно створену зміну. Наприклад, крихкий ЦВЗ, впроваджений в молодші біти зображення. Спроба змінити зображення, не розуміючи, що ЦВЗ впроваджено в молодші біти, цілком імовірно порушить ЦВЗ і зміну буде виявлено. Однак, тоді атакувальник може спробувати змінити зображення, не порушуючи молодших біт, або замінити новою множиною молодших біт змінене зображення, яке детектор класифікує як справжнє.

Атаки можуть також включати використання відомого правильного ЦВЗ з одного зображення як ЦВЗ для іншого, довільного зображення. Ця атака полегшується, якщо можливо дізнатися, як впроваджено ЦВЗ. Цей тип атаки може також бути виконаний на тому ж самому зображенні: знак спочатку видаляється, потім зображення змінюється, і, нарешті, ЦВЗ повторно вставляється.

Зловмисник може зацікавитися повним видаленням водяного знака, не залишаючи жодних слідів його існування. Щоб зробити так, атакувальник може спробувати додати білий шум у зображення, використовуючи методи, розроблені для видалення міток, або використовуючи статистичний аналіз оригінального зображення.

Атакувач може також спробувати обчислити ключ, за допомогою якого згенеровано ЦВЗ. Ключ тісно пов'язаний із впровадженням ЦВЗ, тож якщо можливо виділити водяний знак, то атакувальник може вивчити його у спробі вивести ключ (або зменшити область пошуку ключа, тобто його розмір). Щойно ключ виведено, атакувальник може підробити ЦВЗ і впровадити його в будь-яке довільне зображення.

**Опис методу P.W. Wong-а захисту зображень.** Одним із прикладів систем впровадження крихких ЦВЗ у просторову область є система, яку запропонував американський учений Ping Wah Wong.

---

Для вбудовування ЦВЗ у зображення в методі Wong-а зображення ділиться на блоки пікселів, що не перетинаються, ці блоки мають бути однакового розміру для всього зображення. Цифровий водяний знак, який необхідно вбудувати, являє собою довільну послідовність нулів і одиниць. Для кожного блоку водяні знаки створюються окремо, тому перед вбудовуванням ЦВЗ також розбивається на такі ж блоки. Після того, як зображення і ЦВЗ готові до початку операції вбудовування, для кожного блоку зображення виконується певний набір операцій:

1. Для семи старших значущих біт усіх пікселів блоку обчислюється хеш-функція.
2. До отриманого хеш-образу і відповідної цьому блоку частини ЦВЗ застосовується операція XOR (виключне «або»).
3. Отримане значення захифровується симетричним криптоалгоритмом.
4. Зашифрована послідовність вбудовується в молодші біти цього блоку.

Для того щоб після закінчення деякого часу перевірити справжність цього зображення і відсутність у ньому модифікацій, застосовують алгоритм перевірки. Для цього зображення знову розбивається на блоки такі самі, як і в алгоритмі вбудовування. У наявності має бути вбудований цифровий водяний знак. Після цього для кожного блоку зображення проводиться набір операцій:

1. Як і в алгоритмі вбудовування, для семи старших значущих біт усіх пікселів блоку обчислюється хеш-функція.
2. З молодших біт витягується вбудована послідовність.
3. Ця послідовність біт розшифровується, використовуючи той самий симетричний алгоритм шифрування.
4. Для розшифрованої послідовності та хеш-образу проводиться операція XOR.
5. Результат порівнюється з двійковою послідовністю ЦВЗ для цього блоку і робиться висновок про те, чи втручався хтось у цей блок.

Вбудоване ЦВЗ, а також закритий ключ шифрування тримаються в секреті.

Після того, як цей алгоритм застосовано до всіх блоків зображення, стає зрозуміло, чи справжнє це зображення і чи була змінена якась частина зображення.

Саме розбиття на блоки зображення перед використанням алгоритму дає змогу провести локалізацію вироблених модифікацій і з'ясувати, що саме на зображення було замінено.

**Опис розробленої системи.** Для цього методу ЦВЗ являє собою довільну послідовність нулів і одиниць, однак у ролі впроваджуваного крихкого ЦВЗ може бути і двійкове зображення з графічним значенням (наприклад, логотип фірми) або безладно згенерований чорно-білий шаблон. Якщо ЦВЗ матиме візуально розпізнавану структуру, області, в які втрутився зловмисник, можуть бути виявлені візуально в порівнянні.

Розмір блоку має бути обраний так, щоб у нього міг бути впроваджений цілий хеш-образ, залежно від обраної хеш-функції. Наприклад, для хеш-функції MD5 – 128 біт і можливий розмір блоку може бути 8x16 пікселів.

Для цієї програми зображення, у яке буде вбудовуватися ЦВЗ, необхідно представити у 24-хрозрядному bmp-форматі. Це зображення програмно розбивається на однакові блоки 8x16 пікселів, де 8 пікселів – ширина блоку, а 16 – висота. У ті ділянки зображення, які не потрапили в блоки (менші за 8 пікселів завширшки і 16 заввишки), не вбудовується водяний знак. Однак, з огляду на те, що такі ділянки можуть бути тільки в правій і у верхній частині фотографії, а також те, що їхній розмір досить малий, можна зробити висновок про те, що зміни цих ділянок торкнуться і прилеглих ділянок. Ці зміни покаже вбудований крихкий ЦВЗ, а отже, областями, що відмовилися без ЦВЗ, можна знехтувати.

Сам цифровий водяний знак являє собою текст, розміром 16 байт. Це може бути прізвище, ім'я, нік власника в поєднанні з різними символами. Цей текст буде вбудований у кожен блок фотографії. При перевірці автентичності ЦВЗ можна порівняти не тільки програмно, а й візуально.

Ми використовуємо 24-хрозрядні малюнки, у яких один піксель зображення кодується трьома байтами, тобто містить три компоненти кольору – червоний, синій і зелений (RGB). Кожна компонента в пікселі займає 1 байт. Для правильної роботи програми необхідно ЦВЗ вбудувати тільки в одну з компонент, розміром 1 байт. Програма для вбудовування вибирає червону компоненту.

Усі операції над одним блоком циклічно повторюються над кожним.

Зашифровану послідовність необхідно вбудувати в молодші біти всього блоку. Для цього використано метод заміни найменш значущого біта LSB (Least Significant Bit).

Цей метод найпоширеніший серед методів у просторовій області. Молодший значущий біт зображення несе в собі найменше інформації. Відомо, що людина в більшості випадків не здатна помітити змін у цьому біті. Фактично, LSB – це шум, тому його можна

використовувати для вбудовування інформації шляхом заміни найменш значущих біт пікселів зображення бітами нашої послідовності.

Популярність цього методу зумовлена його простотою і тим, що він дає змогу впроваджувати у відносно невеликі файли досить великі обсяги інформації. Метод найчастіше працює з растровими зображеннями, представленими у форматі без компресії (наприклад, GIF і BMP).

Таким чином, після вбудовування було змінено молодші біти червоної компоненти фотографії та остаточно впроваджено цифровий водяний знак.

Друга програма test.exe здійснює перевірку зображення на факт модифікації. Принцип роботи цієї програми схожий з першою, проте дії відбуваються у зворотному порядку: хешування семи старших біт даного блоку хеш-функцією MD5, з молодших біт витягується послідовність, довжиною 128 біт, розшифровується за допомогою закритого ключа, для отриманої 128-бітної послідовності та хеш-образу застосовується операція XOR. На виході цієї операції виходить послідовність, яка програмно порівнюється з оригінальним ЦВЗ. Якщо вони збігаються, програма видає результат про те, що зображення не модифіковано, якщо ж ні і зображення змінено, то програма сповіщає про модифікацію і створює окремих файл із зображенням, в якому вказує червоним кольором ті блоки, в яких відбулися зміни.

Під час тестування цієї програми були проведені різні зміни в оригінальному зображенні – підмальовування, вирізання фрагмента, обрізання фотографії, зміна одного пікселя зображення, зміна яскравості, контрастності всього зображення й окремого фрагмента та ін., на які програма відреагувала як на зміни зображення та відмітила змінені ділянки червоним кольором (рис. 1).



Рис. 1. Приклади роботи програм mark.exe і test.exe (а – оригінал фотографії, б – фотографія з вбудованим ЦВЗ, в – змінена фотографія, г – фотографія після перевірки)

Для наочності роботи програм було проведено експерименти над однотонним цифровим зображенням. Результати показано на рисунку 2.

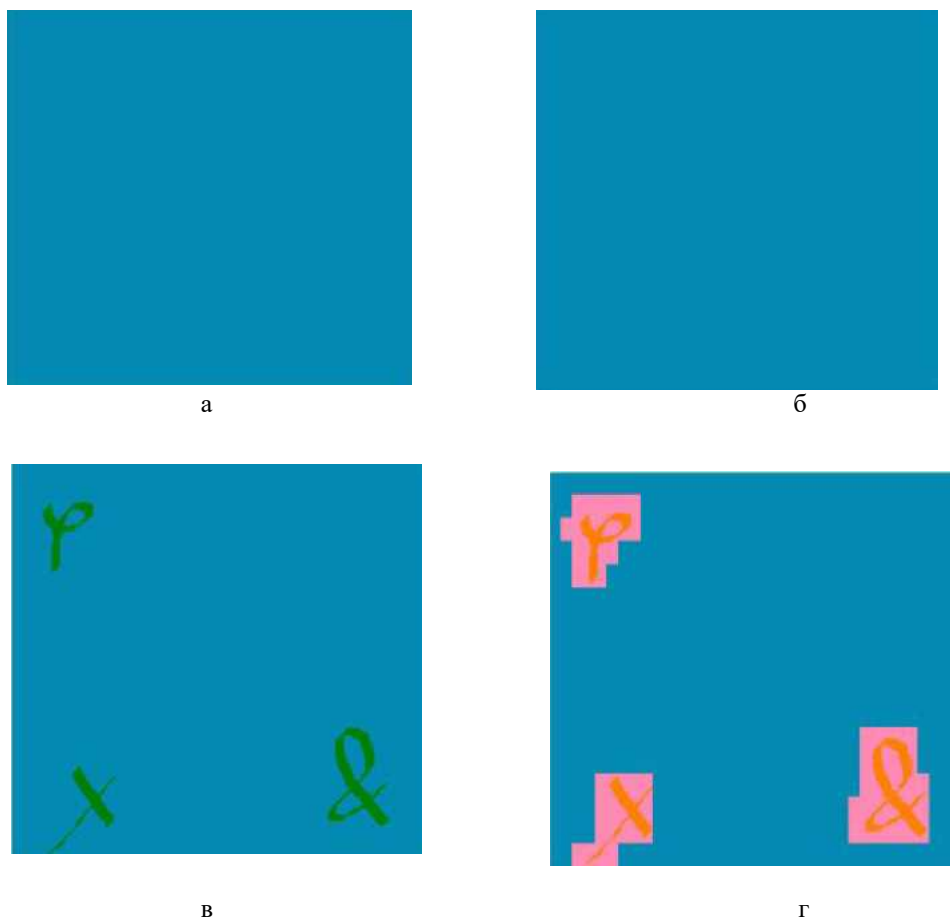


Рис. 2. Приклади роботи програм mark.exe і test.exe на однотонному зображенні (а – оригінал світлини, б – світлина з вбудованим ЦВЗ, в – змінена світлина, г – світлина після перевірки)

**Висновки.** Наявні в даній час публікації, присвячені стеганографії, або є науково-популярними, що не зачіпають математичних аспектів зазначеної науки, або зачіпають лише вузькі аспекти цієї науки. І тому, вони не в змозі повною мірою забезпечити зазначені потреби.

Проведено аналіз стеганографічних методів захисту цифрових зображень, виокремлено можливі види атак на них. Наведено опис типів цифрових водяних знаків та їхнє призначення. Детально розглядаються крихкі цифрові водяні знаки, їхнє призначення, властивості та методи вбудовування в зображення.

Виконано аналіз методу американського вченого Р.В.Вонг-а вбудовування цифрових водяних знаків у зображення. Показано, що для вирішення цілої низки практичних завдань інформаційної безпеки сьогодні недостатньо зробити інформацію недоступною для порушника (як відомо, вирішенням цього завдання займається криптографія). Найчастіше потрібно приховати сам факт її передавання – таким є класичне завдання стеганографії. Стеганографічний захист фотографій з використанням тендітних водяних знаків можна застосувати в тих випадках, коли перевірити справжність і цілісність цифрової фотографії може тільки її власник, оскільки секретний ключ і ЦВЗ зберігаються тільки у нього. Перевагою цього підходу є те, що під час перевірки не потрібне оригінальне зображення.

Обґрунтовано вбудовування цифрових водяних знаків призначених для захисту авторських і майнових прав на цифрову інформацію різного роду, і впровадження в цифрові дані ідентифікаційних міток, призначених для маркування об'єктів у цифрових сховищах даних.

На прикладі аналізу методу вбудовування цифрових водяних знаків у зображення розроблено модифікований алгоритм, у якому використовуються конкретні функції, параметри яких узгоджені одна з одною. Цей алгоритм реалізовано мовою програмування C++. При цьому показано, що використання цифрових водяних знаків не регламентується спеціальними законами, сам цифровий водяний знак, секретний ключ шифрування, а також увесь алгоритм вбудовування і перевірки автентичності рекомендується засвідчити в нотаріуса. Після чого бажано записати на знімний носій, призначений тільки для читання і помістити до банківського сейфу або залишити на відповідальне зберігання в нотаріуса. Крихкі цифрові водяні знаки можуть застосовуватися в поєднанні з електронним цифровим підписом для забезпечення більшої надійності.



---

### Список використаних джерел:

1. Хорошко В.О., Азаров О.Д., Шелест М.Є., Яремчик Ю.Є. Основи комп'ютерної стеганографії: Навчальний посібник для студентів та аспірантів. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 143 С.
2. Shivani S., Agarwal S., Suri J. S. Fragile Watermarking. – Глава в «Handbook of Image- based Security Techniques» – eBook – Published 28 May 2018 – Pub. Location: New York, Imprint: Chapman and Hall/CRC, DOI <https://doi.org/10.1201/9781315166964>
3. Нейл Ф. Джонсон, Зоран Дуріч, Сушил Джадждодія, Приховування інформації: стеганографія та водяні знаки. – Атаки та контрзаходи. Kluwer Academic Publishers. 2001. 160р.
4. He, H.; Chen, F.; Tai, H.; Kalker, T.; Zhang, J. Аналіз продуктивності схеми фрагментарного водяного знаку, що ґрунтується на самопоновленні, на основі блок- сусідства. IEEE Trans. Inf. Forensics Secur. 2012, 7, 185-196.
5. Lin C.C., He S.L., Chang C.C. Піксельне парне крихке водяне маркування крихких зображень, що ґрунтується на кодуванні блочного зрізання абсолютного моменту на основі НС. Electronics 2021, 10, 690.
6. P. W. Wong, «A public key watermark for image verification and authentication,» Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, vol. 1, pp. 455-459, Chicago, Illinois, October 1998.

### References:

1. Khoroshko V.O., Azarov O.D., Shelest M.YE., Yaremchuk YU.YE. Osnovy komp'yuternoyi stehanohrafiyi: Navchal'nyy posibnyk dlya studentiv ta aspirantiv. – Vinnytsya: VDTU, 2003. – 143 S.
2. Shivani S., Agarwal S., Suri J. S. Fragile Watermarking. – Hlava v «Handbook of Image- based Security Techniques» – eBook – Published 28 May 2018 – Pub. Location: New York, Imprint: Chapman and Hall/CRC, DOI <https://doi.org/10.1201/9781315166964>
3. Neyl F. Dzhonson, Zoran Durich, Sushyl Dzhadzhodia, Prykhovuvannya informatsiyi: stehanohrafiya ta vodyani znaky. – Ataky ta kontrzakhody. Kluwer Academic Publishers. 2001. 160p.
4. He, H.; Chen, F.; Tai, H.; Kalker, T.; Zhang, J. Analiz produktyvnosti skhemy frahmentarnoho vodyanoho znaku, shcho gruntuyet'sya na samoponovlenni, na osnovi blok- susidstva. IEEE Trans. Inf. Forensics Secur. 2012, 7, 185-196.
5. Lin C.C., He S.L., Chang C.C. Pikel'ne parne krykhke vodyane markuvannya krykhkykh zobrazhen', shcho gruntuyet'sya na koduvanni blochnoho zrizannya absolyutnoho momentu na osnovi НС. Electronics 2021, 10, 690.
6. P. W. Wong, «A public key watermark for image verification and authentication,» Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, vol. 1, pp. 455-459, Chicago, Illinois, October 1998.

## Шановні автори!

До наукового журналу «Системи та технології» приймаються рукописи наукових праць, які ніколи раніше не публікувалися і не призначені для одночасної публікації в інших виданнях.

Просимо враховувати вимоги до статей і порядку їх подання до публікації. Матеріали, оформлені з відхиленням від зазначених нижче вимог щодо порядку подання та оформлення наукової статті, редколегія не розглядає.

**Приймаються статті**, написані українською, англійською мовами.

**Рукопис статті повинен мати такі елементи:**

1 – УДК (вирівнювання по лівому краю). Визначити код – див. <http://www.udcsummary.info/php/index.php?lang=uk>;

2 – ініціали та прізвище автора (шрифт – напівжирний), науковий ступінь і вчене звання, посада та місце роботи (повна назва структурного підрозділу), ORCID (шрифт – прямий);

Кожен наступний співавтор з нового рядка.

3 – назва наукової статті (вирівнювання по центру, шрифт – напівжирний);

4 – анотація та ключові слова українською (середній обсяг анотації – не менше 1800 друкованих знаків);

5 – ініціали, прізвище автора, назву статті та анотацію англійською мовою (2000–2500 друкованих знаків), ключові слова англійською;

6 – текст наукової статті із зазначенням наступних елементів:

**Постановка проблеми.**

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

**Мета статті.**

**Виклад основного матеріалу.**

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

7 – Список використаних джерел у порядку згадування або у алфавітному порядку (подається мовою оригіналу та оформлюється за міждержавним стандартом ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання»).

Посилання на літературні джерела в тексті наукової статті слід надавати в квадратних дужках [1, с. 56; 7, с. 45–51].

8 – References (транслітерація) (оформлюється у романському алфавіті в стилі APA Style Reference Citations відповідно до **Міжнародного стандарту APA**).

Зазначені елементи виділяються в рукописі напівжирним шрифтом.

**Постановка проблеми** виконується у загальному вигляді та наголошується на її зв'язку із важливими науковими чи практичними завданнями. Під час виконання аналізу останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор та в яких розглядається досліджувана проблема і підходи до її розв'язання, необхідно виділити невирішені частини загальної проблеми, яку досліджують у статті. Виклад основного матеріалу дослідження виконується з повним обґрунтуванням здобутих наукових результатів.

**Текст статті має бути набраний** в текстовому редакторі Microsoft Word. Тип файлу – текст у форматі RTF або DOC(X).

Обсяг статті – 12–20 сторінок (Основна частина). Шрифт – Times New Roman, кегель – 14, міжрядковий інтервал – 1,5, поля – усі 2 см, абзац – 1 см. Форматування абзаців за допомогою інтервалів (пробілів) чи табуляції неприпустимо. У тексті необхідно використовувати лапки лише такого зразка: « ». У тексті заборонені переноси. Нумерація сторінок не ведеться.

Рисунки, схеми, таблиці, формули слід наводити у вигляді, що дозволяє їх коригування. Кількість таблиць, формул та ілюстрацій має бути мінімальною та доречною. Рисунки і таблиці на альбомних сторінках не приймаються.

Розміри таблиць та ілюстрацій не повинні перевищувати розміри друкованої сторінки збірника. Рисунки, графіки й таблиці повинні бути пронумеровані та мати назву (допускається шрифт тексту – Times New Roman, розмір – 12 пт). Найбільш складні рисунки пропонуються набирати, застосовуючи графічний редактор Microsoft Visio.

Під кожною табл. та рис. має бути зазначено джерело (Джерело: ...). Таблиці, графіки та рисунки потрібно подавати у чорно-білому кольорі. Ілюстративні матеріали потрібно розміщувати після посилання на них у тексті. Рисунки додатково подають окремим файлом Microsoft Excel. Одночасне використання таблиць і графіків для пояснення одних і тих самих положень не рекомендується.

Математичні формули мають бути ретельно перевірені та чітко надруковані. Формули пропонуються набирати, застосовуючи влаштований у MS Word редактор формул MathType 4.0 (6.0) Equation, або Microsoft Equation 3.0 з наступними розмірами символів: звичайний – 14 пт, крупний індекс – 10 пт, мілкий індекс – 7 пт, крупний символ – 18 пт, мілкий символ – 12 пт. Формули необхідно виділяти одним рядком від решти тексту, центрувати, нумерувати в круглих дужках, вирівняти до правої межі тексту.

Спеціальності, за якими можуть бути подані статті

113 – Прикладна математика

122 – Комп'ютерні науки

123 – Комп'ютерна інженерія

275 – Транспортні технології (за видами)

172 – Телекомунікації та радіотехніка

255 – озброєння та військова техніка

Передрук матеріалів дозволяється лише за письмової згоди редакції.

Матеріали, що публікуються, відображають позицію автора, яка може не збігатися з поглядом редакції.

За достовірність фактів, статистичних даних та іншої інформації відповідальність несе автор.