

Системи та технології

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

№ 2 (66)

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), 125 – Кібербезпека та захист інформації (наказ МОН України від 25.10.2023 р. № 1309, додаток 4)



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

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 № 6 від 18.12.2023 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);
Прокопович-Ткаченко Д. І. – 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.;
Брежнев Є. В. – д.т.н., с.н.с.;
Вишнікіна О. В. – к.х.н., доц.;
Власов А. В. – к.т.н., ст. доц.;
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. – д.т.н., проф.;
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/10.32836/2521-6643-2023-2-66>
ISSN 2521-6643

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

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 21857-11757ПП 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 19.12.2023. Формат 60×84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 18,60. Обл.-вид. арк. 13,04.
Наклад 100 прим. Замовлення № 0124/058.

ЗМІСТ

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

Пасічник А. М., Худа Ж. В., Циба В. В. Метод оптимізації роботизованої транспортної системи портової переробки вантажопотоку.....	5
--	---

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

Безверхий О. І., Александренко Д. О., Луц В. Є. Проектування інформаційної системи з можливістю голосового управління.....	13
Бойко Н. І., Курило В. Алгоритм класифікації медичних даних для прогнозування онкології.....	21
Бойко Н. І., Чорнобай Д. С. Оцінювання щільності розподілу: три основні підходи.....	32
Зацерковний Р. Г., Бабич В. І., Плеша М. І., Хмілярчук Л. І., Швець О. М. Система тестування продуктивності API при високих навантаженнях.....	43

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Поперешняк С. В., Вечерковська А. С. Цифровізація комп'ютерних систем на основі штучного інтелекту.....	50
--	----

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

Тарасенко Ю. С., Савченко Ю. В. Георадіолокаційні аспекти безпеки приповерхневих об'єктів критичної інфраструктури.....	57
--	----

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

Бех Я. П. Аналіз резервних систем електроживлення пристроїв залізничної автоматики.....	66
Докієнко Л. М., Лямзін А. О. Особливості та ключові складові сервісної діяльності в авіаційній галузі.....	74
Леснікова І. Ю., Халіпова Н. В., Кузьменко А. І., Разгонов С. А., Лесніков П. В. Розробка математичної моделі оптимізації техніко-експлуатаційних параметрів міського електротранспорту.....	83
Nesterenko H. I., Muzykin M. I., Strelko O. H., Bibik S. I., Aleksieieva A. O. Analysis of possibilities for integrating the transport system of Ukraine into the European transport network.....	97
Семченко Н. О., Український Є. О. Якість обслуговування пасажирів авіапідприємствами в аеропортових комплексах.....	108

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

Semenov A. O., Stalchenko O. V., Khloba A. A., Pinaiev B. O., Krystoforov A. V. Multi-band graphic equaliser based on gyrators.....	117
Тягунова М. Ю., Лаврик В. Р. Віртуальна лабораторія як ефективне рішення під час дистанційної освіти.....	125

ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННА СПРАВА

Nebaba N. O., Kucher M. M., Yazina V. A., Saihak Ye. L., Golovko N. O. Theoretical aspects of information provision of restaurant enterprise management processes.....	132
Юдіна О. І., Корнєєв М. В., Стеблюк Н. Ф., Разінькова М. Ю., Мішина Є. С. Ринок готельних послуг в Україні: оцінювання сучасного стану та динаміки розвитку.....	140
Yazina V. A., Vyshnikina O. V., Sabirov O. V., Haronenko S. O., Hurbych N. O. Theoretical foundations of food safety management research.....	151

CONTENTS

APPLIED MATHEMATICS

- Pasichnyk A. M., Khuda Zh. V., Tsyba V. V.** The method of optimizing the robotic transport system of port cargo processing.....5

COMPUTER SCIENCES

- Bezverkhyi O. I., Aleksandrenko D. O., Luts V. Ye.** Designing an information system with the possibility of voice control.....13
- Boyko N. I., Kurylo V.** Medical data classification algorithm for oncology prediction.....21
- Boyko N. I., Chornobay D. S.** Evaluation of distribution density: three main approaches.....32
- Zatserkovnyi R. G., Babych V. I., Plesha M. I., Khmilyarchuk L. I., Shvets O. M.** A system to evaluate the robustness of an API under high loads.....43

COMPUTER ENGINEERING

- Popereshnyak S. V., Vecherkovskaya A. S.** Digitization of computer systems based on artificial intelligence.....50

CYBER SECURITY AND INFORMATION PROTECTION

- Tarasenko Yu. S., Savchenko Iu. V.** Georadar aspects of security of near-surface critical infrastructure facilities.....57

TRANSPORT TECHNOLOGIES (BY TYPES)

- Bekh Ya. P.** Analysis of reserve power supply systems of railway automation devices.....66
- Dokiienko L. M., Lyamzin A. O.** Features and key elements of service activities in the aviation industry.....74
- Lesnikova I. Yu., Khalipova N. V., Kuzmenko A. I., Razghonov S. A., Lesnikov P. V.** Development of a mathematical model for optimization of technical and operational parameters of urban electric transport83
- Nesterenko H. I., Muzykin M. I., Strelko O. H., Bibik S. I., Aleksieieva A. O.** Analysis of possibilities for integrating the transport system of Ukraine into the European transport network.....97
- Semchenko N. O., Ukrainskyi Ye. O.** Passengers service quality by airlines in airport complexes.....108

TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING

- Semenov A. O., Stalchenko O. V., Khloba A. A., Pinaiev B. O., Krystoforov A. V.** Multi-band graphic equaliser based on gyrators.....117
- Tiahunova M. Yu., Lavryk V. R.** Virtual laboratory as an effective solution during distance education.....125

HOTEL AND CATERING BUSINESS

- Nebaba N. O., Kucher M. M., Yazina V. A., Saihak Ye. L., Golovko N. O.** Theoretical aspects of information provision of restaurant enterprise management processes.....132
- Yudina O. I., Korneyev M. V., Stebliuk N. F., Razinkova M. Yu., Mishina Ye. S.** Market of hotel services in Ukraine: assessment of the current state and development dynamics.....140
- Yazina V. A., Vyshnikina O. V., Sabirov O. V., Haponenko S. O., Hurbych N. O.** Theoretical foundations of food safety management research.....151

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 519.1:656.012.34

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.1>

Пасічник А. М., доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри прикладної та вищої математики
Дніпровського державного технічного університету
ORCID: 0000-0002-8561-1374

Худа Ж. В., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної та вищої математики
Дніпровського державного технічного університету
ORCID: 0000-0002-3451-5825

Циба В. В., аспірант кафедри прикладної та вищої математики
Дніпровського державного технічного університету
ORCID: 0009-0003-8042-6748

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ПОРТОВОЇ ПЕРЕРОБКИ ВАНТАЖОПОТОКУ

Стаття присвячена розробці методу структурної оптимізації функціонування транспортної системи роботизованих транспортних засобів переробки контейнерів та вантажів в порту на основі модифікації методу гілок і границь.

Актуальність даної статті обумовлена тим, що близько половини обсягів всіх міжнародних перевезень здійснюються морським транспортом, а продуктивність їх переробки в портах з урахуванням митного оформлення і контролю напряму залежить від ефективності функціонування портів транспортних систем. Однією із найбільш ефективних технологій побудови таких транспортних систем є застосування роботизованих транспортних засобів, які забезпечують перевезення контейнерів і вантажів за технологічними маршрутами в неперервному режимі з можливістю динамічного сканування та виявлення товарів заборонених до перевезення. Тому розробка і удосконалення методів оптимізації роботизованих транспортних систем портової переробки вантажів є достатньо актуальною прикладною проблемою.

Метою даної статті є розробка алгоритму структурної оптимізації роботизованої транспортної системи забезпечення перевезень вантажів і контейнерів технологічними маршрутами при їх портової переробці на основі модифікації методу гілок та границь.

У відповідності із запропонованим підходом в якості критерія оптимізації використовується функція мінімізації витрат на формування структури та функціонування елементів транспортної системи. В процесі пошуку оптимального варіанту структури транспортної системи застосовується метод гілок і границь в якому для розбиття поточної множини розв'язків задачі на підмножини розгалуження використовується принцип можливих варіантів. Для підмножин розгалуження обчислюються нижні оцінки значень цільової функції вибору оптимальної моделі. В якості умови виключення неефективних варіантів і припинення розгалуження для задачі структурної оптимізації визначено умову забезпечення максимально можливої продуктивності перевезень обраними робокарами, що мають меншу вартість.

За результатами проведених досліджень встановлено, що розроблений алгоритм дозволяє визначити оптимальну структуру роботизованої транспортної системи, яка за умови її мінімальної вартості забезпечує максимально можливу продуктивність переробки вантажів і контейнерів в порту. При цьому запропонований підхід допускає узагальнення для випадку побудови оптимальної структури транспортної системи з максимальною продуктивністю та мінімально можливою вартістю.

Ключові слова: мінімізація вартості транспортної системи, метод гілок і границь.

Pasichnyk A. M., Khuda Zh. V., Tsyba V. V. The method of optimizing the robotic transport system of port cargo processing

The article is devoted to the development of a method of structural optimization of the functioning of the transport system of robotic vehicles for the processing of containers and cargo in the port based on the modification of the method of branches and boundaries.

The relevance of this article is explained by the fact that about half of the volume of all international transportation is carried out by sea transport, and the efficiency of the operation of port transport systems depends on the productivity of their processing in ports, considering. and customs clearance and direct control. One of the most effective technologies for building such transport systems is the use of robotic vehicles, which ensure the transportation of containers and cargo along technological routes in a continuous mode with the possibility of dynamic scanning and detection of prohibited cargo. Therefore, the development and improvement of optimization methods of robotic transport systems for port cargo handling is an urgent applied problem.

The purpose of this article is to develop an algorithm for the structural optimization of the robotic transport system for ensuring the transportation of goods and containers along the technological routes of their port processing based on the modification of the method of branches and boundaries.

In accordance with the proposed approach, the cost minimization function for the formation of the structure and functioning of the elements of the transport system is used as an optimization criterion. In the process of searching for the optimal version of the structure of the transport system, the method of branches and boundaries is used, in which the principle of possible options is used to divide the current set of solutions of the problem into branching subsets. For subsets of branching, lower estimates of the values of the objective function of choosing the optimal model are calculated. As a condition for the exclusion of inefficient options and termination of branching for the structural optimization problem, the condition for ensuring the maximum possible productivity of transportation by selected robocars with a lower cost is defined.

According to the results of the conducted research, it was found that the developed algorithm allows to determine the optimal structure of the robotic transport system, which, under the condition of its minimum cost, ensures the maximum possible productivity of cargo and container processing in the port. At the same time, the proposed approach allows generalization for the case of building the optimal structure of the transport system with maximum productivity and minimum possible cost.

Key words: branches and borders method, the problem of choosing optimal regressive model.

Постановка проблеми. В сучасних реаліях однією із умов ефективного відновлення економіки є модернізація та подальший розвиток транспортної системи і підвищення рівня використання транзитного потенціалу України [1]. При цьому важливе значення для підвищення ефективності функціонування української транспортної системи має її інтеграція в європейську мережу міжнародних транспортних коридорів [2] та оптимізація транспортно-логістичної інфраструктури забезпечення міжнародних вантажних перевезень [3, 4]. За експертними оцінками підвищення ефективності використання транзитного потенціалу дозволить Україні отримувати щорічно близько \$ 2,5 млрд. надходжень [5]. Особливе значення для успішного вирішення вказаної проблеми відіграє підвищення транзитних товаропотоків через сухі та морські порти [6]. Зазначимо, що близько половини обсягів всіх міжнародних перевезень переробляються в портах і здійснюються морським транспортом [7, 8]. Тому важливе значення має удосконалення та оптимізація функціонування мультимодальних транспортних систем, що забезпечують перевезення контейнерів та вантажів [9], а також технологій їх переробки та митного оформлення і контролю у відповідних пунктах пропуску [10]. Однією із найбільш ефективних технологій побудови таких транспортних систем є застосування роботизованих транспортних засобів, які забезпечують перевезення контейнерів і вантажів за технологічними маршрутами в програмованому автоматичному режимі з можливістю динамічного сканування товарів заборонених до перевезення. У зв'язку з цим розробка методів структурної оптимізації транспортних систем із використанням роботизованих транспортних засобів (робокарів) є достатньо актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час для побудови розв'язку задач дискретного математичного програмування досить широкого застосування набув оптимізаційний алгоритм на основі методу гілок і границь. Вперше алгоритм застосування даного методу був запропонований в роботі [11] для загальної задачі цілочислового лінійного програмування.

Застосування методу гілок і границь для розв'язання задачі вибору оптимальної регресійної моделі як задачі дискретної оптимізації наведено в роботі [12]. Особливості застосування методу гілок і границь для розв'язання задачі вибору оптимальної регресійної моделі розглянуті в роботі [13].

Можливості застосування методу гілок і границь при розв'язанні задач лінійного цілочислового програмування наведені в роботі [14]. На основі методу гілок і границь розроблено ефективні оптимізаційні алгоритми побудови розв'язків прикладних задач. Результати побудови розв'язків задачі формування команди та пошуку інвесторів для стартап-проектів із застосуванням оптимізаційного алгоритму гілок та границь наведено в публікації [15].

Мета статті: розробка алгоритму структурної оптимізації транспортної системи роботизованих транспортних засобів переробки контейнерів і вантажів в порту на основі методу гілок та границь. В якості критерія оптимізації обирається мінімізація витрат на формування структури та функціонування елементів транспортної системи за умови їх максимально можливої продуктивності.

Виклад основного матеріалу. При побудові транспортної системи переробки потоку контейнерів і вантажів в порту необхідно визначити оптимальну кількість роботизованих транспортних засобів, їх тип та розподілити чисельну кількість завдань транспортування контейнерів заданими маршрутами. Як критерій оптимізації обираємо мінімізацію витрат на закупівлю та експлуатацію транспортних засобів та їх максимально можливу продуктивність. Під час вирішення завдання необхідно врахувати, що кожен робочар повинен забезпечувати транспортування контейнерів у певному часовому інтервалі.

На першому етапі дослідження проводиться системний аналіз портової транспортної системи переробки потоку вантажів і контейнерів та визначаються її характеристики, необхідні для формулювання математичної моделі задачі оптимізації. В даному випадку транспортна система переробки потоку контейнерів в порту визначається такими параметрами:

1. Множина технологічних маршрутів переміщення вантажів або контейнерів у транспортній системі – $I = \{i, i=1, \dots, I\}$;
2. Верхній гранично допустимий час переміщення вантажу або контейнера технологічним маршрутом $\langle x_i \rangle, i=1, \dots, I$;
3. Кількість перевезень контейнерів або вантажів технологічним маршрутом у транспортній системі – $J = \{j, j=1, \dots, J\}$;
4. Кількість видів робочарів, які можуть використовуватися в транспортній системі для перевезення контейнерів або вантажів технологічними маршрутами. – $R = \{r, r=1, \dots, R\}$;
5. Продуктивність різних видів роботизованих транспортних засобів під час перевезення контейнерів технологічними маршрутами – $P_r = \{p_r, r=1, \dots, R\}$;
6. Максимально допустима кількість робочарів, які можуть використовуватися в транспортній системі при перевезенні вантажів або контейнерів технологічними маршрутами – S ;
7. Матриця середньої кількості транспортних перевезень контейнерів $\|l_{ij}\|, (i=1, \dots, I, j=1, \dots, J)$ за кожним технологічним маршрутом, що визначається параметрами $I = \{i, i=1, \dots, I\}, J = \{j, j=1, \dots, J\}$.
8. Матриця середньої інтенсивності транспортних перевезень $\|\lambda_{ij}\|, (i=1, \dots, I, j=1, \dots, J)$ за кожним технологічним маршрутом, що визначається параметрами $I = \{i, i=1, \dots, I\}, J = \{j, j=1, \dots, J\}$.

Для формалізації алгоритму побудови цільової функції приймаються такі припущення:

1. Для підвищення надійності системи та уніфікації процесу експлуатації та технічного обслуговування всі робочари, що використовуються у транспортній системі, мають бути однотипними незалежно від їх кількості.
2. Всі функції перевезення вантажу або контейнера виконуються одним і тим же робочаром незалежно від способу їх розподілу.

На підставі вихідних даних та з урахуванням прийнятих припущень цільова функція задачі структурної оптимізації функціонування портової транспортної системи робочарів з переробки потоку вантажів і контейнерів, що моделює мінімізацію витрат на закупівлю та експлуатацію транспортних засобів із забезпечення перевезень на всіх технологічних маршрутах, запишеться так:

$$W = \min \sum_{n_s \in N_s} \left[\sum_{r=1}^R \left(\sum_{s=1}^S W_{n_{sr}} \right) e_{n_s} \right] e_{n_s}, \quad (1)$$

де $W_{n_{sr}}$ – приведені річні витрати на транспортний засіб s ($s = 1, \dots, S$) r -го типу, що забезпечує підмножину перевезень ($J_{n_{sr}} \in J$);

n_s – варіант розподілу технологічних маршрутів між робочарами, $n_s \in N_s$, N_s – множина варіантів розподілу технологічних маршрутів між робочарами;

$I_{n_{sr}}$ – підмножина технологічних маршрутів, що обслуговуються s -им робочаром при n_s розподілі технологічних маршрутів, $I_{n_{sr}} \in I$.

e_{n_s} – коефіцієнт розподілу варіанту обслуговування технологічних маршрутів робочарами, $e_{n_s} = 1$, у випадку вибору варіанту розподілу маршрутів n_s , у протилежному випадку $e_{n_s} = 0$;

$e_{n_{sr}}$ – коефіцієнт розподілу робочарів за технологічними маршрутами, $e_{n_{sr}} = 1$, у випадку вибору транспортного засобу r -ого виду при n_s варіанті розподілу технологічних маршрутів, у протилежному випадку $e_{n_{sr}} = 0$;

$t_{n_{sr}i}$ – час обслуговування i -го технологічного маршруту s -им транспортним засобом при варіанті розподілу технологічних маршрутів між робочарами n_s .

Додаткові умови для задачі структурної оптимізації (1) формулюються так:

1. Може бути вибраний тільки один варіант розподілу технологічних маршрутів для всіх робочарів транспортної системи:

$$\sum_{n_s \in N_s} e_{n_s} = 1, S=1, \dots, I. \quad (2)$$

2. Може бути вибраний тільки один вид транспортних засобів для кожного варіанту розподілу технологічних маршрутів:

$$\sum_{r=1}^R e_{n_s} = 1, n_s \in N_s. \quad (3)$$

3. Час обслуговування кожного технологічного маршруту не може перевищувати допустимого значення для всіх варіантів розподілу технологічних маршрутів між робочими:

$$\sum_{n_s \in N_s} \sum_{r=1}^R t_{n_s r} e_{n_s} e_r \leq x_i, i \in I_{n_s}, s=1, \dots, S. \quad (4)$$

В результаті розв'язання задачі (1) – (4) необхідно визначити оптимальну структуру роботизованої транспортної системи, тобто знайти такі значення змінних $S, e_{n_s}, e_{n_s r}$ підмножини технологічних маршрутів $I_{n_s}, (s=1, \dots, S)$, при яких цільова функція (1) досягала б свого мінімального значення та були виконані умови обмеження (2) – (4).

Алгоритм побудови розв'язку задачі структурної оптимізації транспортної системи. Оптимізаційна задача (1) – (4) належить до класу нелінійних комбінаторних задач дискретного математичного програмування і для побудови її розв'язку запропоновано застосувати оптимізаційний алгоритм на основі методу гілок і границь. Вперше алгоритм застосування методу гілок і границь був запропонований в роботі [10] для загальної задачі цілочислового лінійного програмування. Відповідно до алгоритму цього методу здійснюється розгалуження та системний аналіз варіантів з виключенням неефективних гілок, які не задовольняють заданим обмеженням. При цьому цей процес продовжується до моменту визначення оптимального розв'язку у відповідності зі сформульованим алгоритмом розгалуження варіантів і критерієм їх оцінки, а також умовами припинення подальшого розгалуження.

Розглянемо спочатку загальну схему розгалуження варіантів при оптимізації структури транспортної системи, представлену на рис. 1.

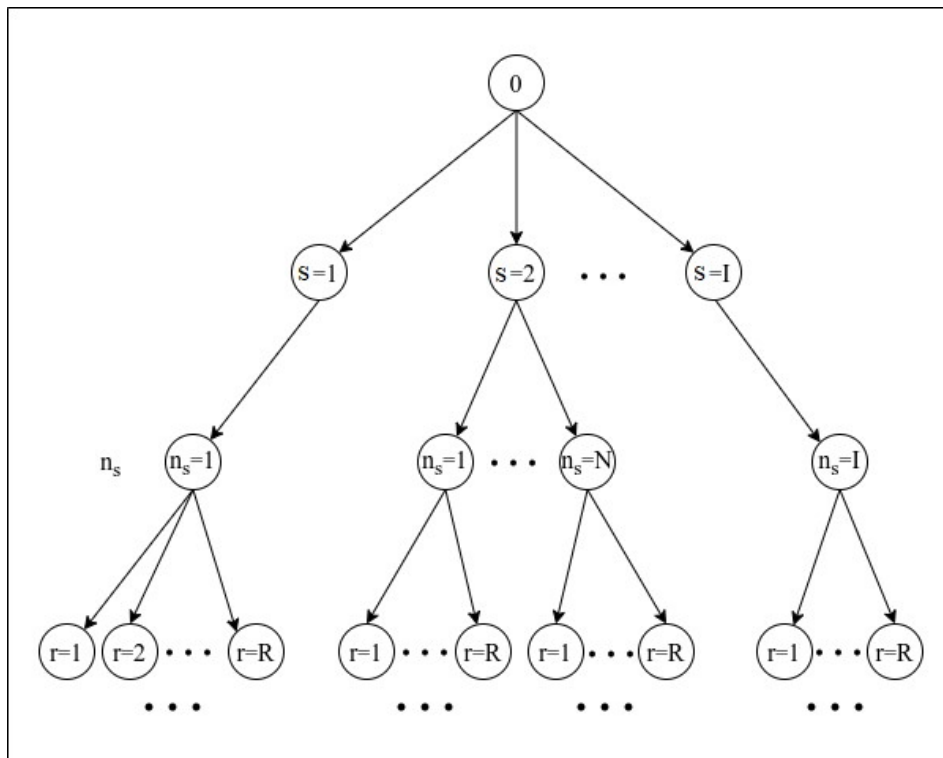


Рис. 1. Загальна схема алгоритму розгалуження варіантів при оптимізації структури транспортної системи
Джерело: розроблено авторами

Для реалізації алгоритмічної схеми методу, на першому етапі, представленому першим рівнем графа, вся множина можливих варіантів розбивається на підмножини розгалуження S . Потім на другому етапі розгалуження кожна з отриманих підмножин розбивається на N_s підмножин. Для $S=1$ і $S=I$ кількість підмножин

дорівнює 1, оскільки при $S=1$ всі технологічні маршрути обслуговуються одним робочим, а при $S=I$ кожний роботизований транспортний засіб обслуговує тільки один технологічний маршрут.

На третьому етапі розгалуження кожна з підмножин варіантів попереднього етапу знову розбивається на R підмножин. Тепер за кількості робочих більше 1 і менше I у відповідності з алгоритмом подальшого розгалуження необхідно із множини можливих варіантів розподілу технологічних маршрутів – $N_s = \{n_s; n_s = I, \dots, N_s\}$ визначити найбільш оптимальні за критеріями (1) – (4). Схема застосування такого алгоритму розгалуження для випадку трьох робочих та п'яти технологічних маршрутів, що включає всю множини можливих варіантів наведена у вигляді графа, рис. 2.

Для підвищення ефективності алгоритму і визначення умови припинення розгалуження необхідно відсортувати всі типи робочих в порядку зменшення продуктивності та вартості. Потім виключити з переліку робочі, які мають меншу продуктивність за більшої або рівної вартості. Після проведеного виключення робимо порівняння загальної вартості системи для варіантів r і $r-1$ і обираємо варіант з меншою вартістю. При цьому подальший перебір інших видів робочих припиняється і переходимо до зміни варіанта розподілу технологічних маршрутів n_s .

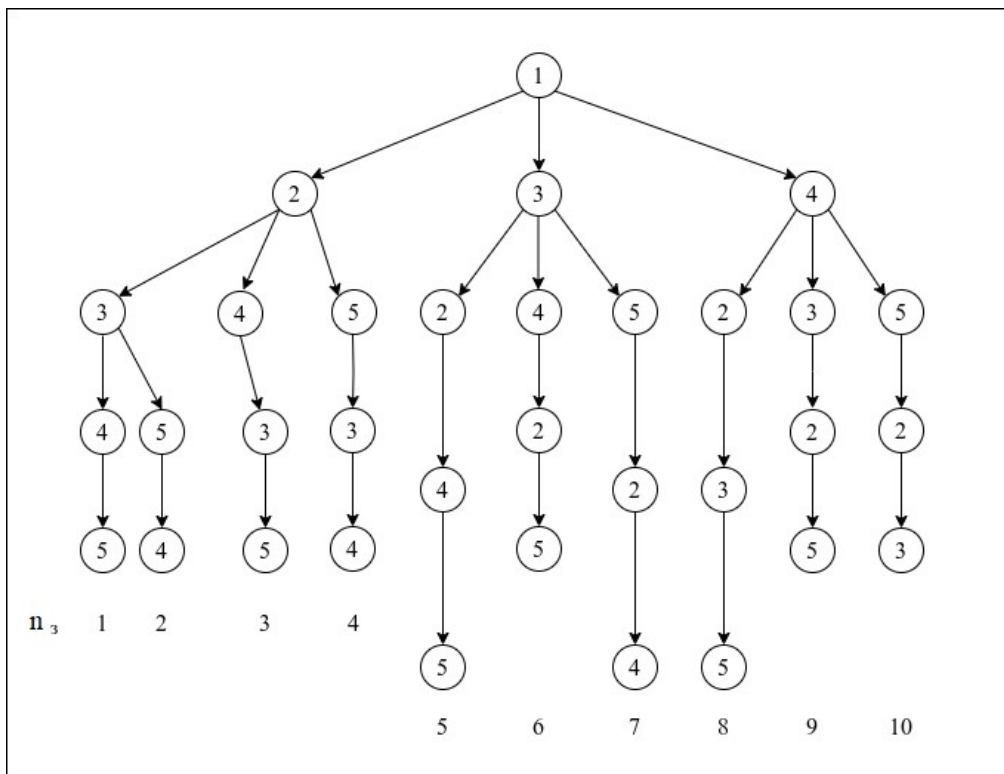


Рис. 2. Граф алгоритмічної схеми розгалуження з урахуванням можливих варіантів розподілу технологічних маршрутів

Джерело: розроблено авторами

Критерієм виключення неефективних варіантів і припинення розгалуження для задачі структурної оптимізації є умова забезпечення обраними робочими меншої вартості максимально можливої продуктивності перевезення вантажів або контейнерів у технологічному процесі їх переробки в порту. За базовий варіант побудови оптимального розв'язку задачі приймається варіант, що забезпечує достатньо рівномірне завантаження наявних робочих та дозволяє використовувати мінімальну кількість додаткових регулюючих пристроїв. У цьому випадку для всіх робочих r -го виду рівномірність розподілу навантаження між ними можна визначити відповідним коефіцієнтом рівня розподілу навантаження:

$$g_r = \lambda t_r / m_r \quad (5)$$

У співвідношенні (5) позначено: m_r – мінімальна чисельність робочих r -го виду, t_r – середній час перевезення за технологічним маршрутом робочим r -ого виду, λ – сумарна інтенсивність перевезень:

$$\lambda = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \lambda_{ij} \quad (6)$$

λ_{ij} – інтенсивність транспортувань i -м технологічним маршрутом.

Середній час перевезення за технологічним маршрутом робокаром r -ого виду буде визначатися так:

$$t_r = \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \lambda_{ij} l_{ij} q_j \right) / (\lambda p_r). \quad (7)$$

Тут l_{ij} – обсяги перевезень, q_j – витрати на перевезення одного контейнера, p_r – продуктивність робокара r -ого виду;

Задаючи значення коефіцієнту рівномірності розподілу завантаження між робокарами близькі до одиниці, наприклад $g_r = 0,85$, із співвідношення (5) визначаються нижні значення кількості робокарів кожного виду m_r , які потім приймаються в якості початкового значення чисельності робокарів. При цьому розгалуження варіантів із меншою кількістю робокарів розглядати не потрібно. Також умовою виключення неефективних варіантів є перевищення часу виконання функціональних завдань кожним робокаром певного виду, тобто не відповідність його продуктивності і не виконання умови обмеження визначеної співвідношенням (4) та відповідно припинення подальшого розгалуження варіантів цієї гілки для робокарів даного r -го виду. Після цього вибирається черговий варіант розподілу технологічних маршрутів n_s , що забезпечуються даним видом робокарів, або вибирається робокар іншого виду.

Пошук нових варіантів припиняється повністю, коли для всіх початкових значень чисельності робокарів кожного виду при всіх можливих варіантах розподілу технологічних маршрутів визначається такий вид роботизованого транспортного засобу, для якого виконується умова припинення розгалуження, тобто цільова функція отримує мінімальне значення і вартість транспортної системи буде мінімальною, а продуктивність системи з перевезення контейнерів буде максимально можливою. Для побудови розв'язку в якості початкового оптимального варіанту системи приймається вартість і продуктивність першого знайденого варіанту, що задовольняє умовам (4), які в процесі подальших обчислень замінюються на значення варіанта з меншою вартістю. В результаті отримуємо оптимальний варіант структури транспортної системи з мінімальною вартістю та максимально можливою продуктивністю.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Результати проведеного дослідження показують, що запропонований підхід дозволяє визначити оптимальну структуру роботизованої транспортної системи яка забезпечує максимально можливу продуктивність переробки контейнерів в порту за умови її мінімальної вартості. Процес пошуку оптимального варіанту структури транспортної системи реалізується на основі методу гілок і границь. Для розбиття поточної множини розв'язків задачі на підмножини розгалуження використовується принцип можливих варіантів. Для підмножин розгалуження обчислюються нижні оцінки значень цільової функції вибору оптимальної моделі. Зазначимо, що запропонований підхід допускає узагальнення для випадку побудови оптимальної структури транспортної системи з максимальною продуктивністю та мінімально можливою вартістю.

В подальших дослідженнях доцільно розглянути узагальнення запропонованого підходу для оптимізації структури транспортних систем інших видів транспорту.

Список використаних джерел:

1. Прейгер Д. К., Собкевич О. В., Смельянова О. Ю. Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку: аналітична доповідь. Київ: НІСД, 2011. 37 с. URL: http://www.niss.gov.ua/public/File/2011_nauk_an_rozrobku/transport.pdf.
2. Кузьменко К. М. Основні аспекти розвитку транспортного комплексу України за критеріями інтеграції. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2021. № 1 (74). С. 52-64.
3. Репіч Т. А., Великий Д. Ю. Оптимізація логістичної інфраструктури міжнародних вантажних перевезень. *Ефективна економіка*. ДДАЕУ. 2017. № 1. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5377>.
4. Пасічник А. М. Методологія формування логістичної транспортно-митної інфраструктури в Україні: монографія / за ред. А. М. Пасічника. Дніпропетровськ, УМСФ. 2016. 168 с.
5. Кузьменко А. В. Досвід та закономірності формування світової транспортно-логістичної інфраструктури. *Науковий огляд*, 2015. № 7(17). С. 5-18.
6. Рудь І. Транзитний морський потенціал України: сучасні реалії та перспективи. *Україна: події, факти, коментарі*. 2016. № 5. С. 65-71. URL: <http://nbuviar.gov.ua/images/ukraine/2016/ukr5.pdf>.
7. MacNeil A. and Ghosh S. Gender imbalance in the maritime industry: Impediments, initiatives, and recommendations. *Australian Journal of Maritime and Ocean Affairs*. 2016. 9(1). P. 42-55.
8. Review of Maritime Transport. Report by the UNCTAD. New York and Geneva: UN. 2019. 116 p.
9. Самановская К. А. Перспективы развития транзитных мультимодальных контейнерных перевозок вантажів. URL: <http://tsi.lv/sites/editor/science/art1.pdf>.
10. Pasichnyk A. Analysis of the condition of transport-customs infrastructure and efficiency of the transit potential of Ukraine. Promoting the European integration processes in the Eastern Partnership countries: national

and regional policy instruments: monograph / NAS of Ukraine. SI "Institute of Regional Research"/ ed. by Kh. Prytula and I. Horga. Lviv, 2022. P. 191-214.

11. Land A.H., Doig A.G. An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrics*. 1960. V. 28. P. 497-520.

12. Мельник І.М., Піднебесна Г.А. Особливості застосування методу гілок і границь для розв'язання задачі вибору оптимальної регресійної моделі. *Індуктивне моделювання складних систем*. МННЦ ІТС НАН України. Київ, 2012. В. 4. С. 128-135.

13. Мельник І.М. Метод гілок і границь для розв'язання задачі вибору оптимальної регресійної моделі як задачі дискретної оптимізації. *Індуктивне моделювання складних систем*. МННЦ ІТС НАН України. Київ, 2009. С. 131-139.

14. Крижанівський Б. Використання методу гілок і меж при розв'язанні задач лінійного цілочислового програмування: матеріали науково-технічної конференції «Наука. Освіта. Молодь». УДПУ, 2016. URL: https://library.udpu.edu.ua/library_files/stud_konferenzia/2016_1/85.pdf

15. Кравченко Є. І. Алгоритм гілок та меж для задачі формування команди та пошуку інвесторів для стартап-проектів. *Науковий огляд*. НТУ "КПІ ім. І. Сікорського", 2018. № 6(49). С. 64-72.

References:

1. Preyger D. K., Sobkevich O. V., Yemel'yanova O. Yu. (2011). Realizatsiia potentsialu transportnoi infrastruktury Ukrainy v stratehii postkryzovoho ekonomichnoho rozvytku [Realization of the potential of Ukraine's transport infrastructure in the strategy of post-crisis economic development]: analitychna dopovid. Kyiv: NISI. 37 s. URL: http://www.niss.gov.ua/public/File/2011_nauk_an_rozrobku/transport.pdf. [in Ukrainian].

2. Kuz'menko K. M. (2021). Osnovny aspekty rozvitku transportnogo kompleksu Ukrainy za kriteriyamy integratsii [Ukraine transport complex development main aspects according to the integration criteria]. Rozvitok metodiv upravlinnya i hospodaryuvannya na transporti. № 1(74), P. 52-64. [in Ukrainian].

3. Repich T. A., Bol'shoy D. Yu. (2017). Optymizatsiya lohistychnoyi infrastruktury mizhnarodnykh vantazhnykh perevezen' [Optimization of the logistics infrastructure of international freight transportation.]. *Efektivna ekonomika*, DGAEU. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5377>. [in Ukrainian].

4. Pasichnyk A. M. (2016). Metodolohiia formuvannia lohistychnoi transportno-mytnoi infrastruktury v Ukraini [Methodology of formation of logistic transport and customs infrastructure in Ukraine], : monografiya / pod red. A. M. Pasechnika. Dnepropetrovsk, UMSF. 168 p. [in Ukrainian].

5. Kuz'menko A.V. (2015). Opyt i zakonomernosti formirovaniya mirovoy transportno-logisticheskoy infrastruktury. [Transit sea potential of Ukraine: modern realities and prospects.] *Naukhoviy oglyad*. № 7(17). P. 5-18. [in Ukrainian].

6. Rud' I. (2016). Tranzitnyy morskoy potentsial Ukrainy: sovremennyye realii i perspektivy. [Transit sea potential of Ukraine: modern realities and prospects.] *Ukraina: sobytiya, fakty, kommentarii*. № 5. S. 65-71. URL: <http://nbuviap.gov.ua/images/ukraine/2016/rus5.pdf>. [in Ukrainian].

7. MacNeil A. and Ghosh S. (2016). Gender imbalance in the maritime industry: Impediments, initiatives, and recommendations. *Australian Journal of Maritime and Ocean Affairs*. 9(1). P. 42-55.

8. (2019). Review of Maritime Transport. Report by the UNCTAD. New York and Geneva: UN. 116 p.

9. Samanovskaya K. A. Perspektivi rozvitku tranzitnykh multimodalnykh konteynernykh perevezen vantazhiv [Prospects for transit multimodal container goods transportation development]. Retrieved from: <http://tsi.lv/sites/editor/science/art1.pdf> [in Ukrainian].

10. Pasichnyk A. (2022). Analysis of condition of transport-customs infrastructure and efficiency of transit potential of Ukraine. Promoting European integration process in Eastern Partnership countries: natsional'nyye i regional'nyye politicheskiye instrumenty: monograph / NAS of Ukraine. SI "Institute of Regional Research"/ ed. by Kh. Prytula i I. Horga. Lviv. P. 191-214. [in Ukrainian].

11. Land A.H., and Doig A.G. (1960). An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrics*. V. 28. P. 497-520.

12. Mel'nik I.M., Podnebesnaya G.A. (2012). Osobennosti primeneniya metoda vetvey i granits dlya resheniya zadachi vybora optimal'noy regressionnoy modeli. [Peculiarities of using the method of branches and boundaries for solving the problem of choosing the optimal regression model]. *Induktivne modeluvannya skladnykh sistem*. MNNTS ITS NAN Ukrainy. Kyiv. V. 4. P. 128-135. [in Ukrainian].

13. Mel'nik I.M. (2009). Metod vetvey i granits dlya resheniya zadachi vybora optimal'noy regressionnoy modeli kak zadachi diskretnoy optimizatsii [The method of branches and bounds for solving the problem of choosing the optimal regression model as a discrete optimization problem]. *Induktivne modeluvannya skladnykh sistem*. MNNTS ITS NAN Ukrainy. Kyiv. P. 131-139. [in Ukrainian].

14. Kryzhanovskiy B. (2016). Ispol'zovaniye metoda vetvey i granits pri reshenii zadach lineynogo tselochislennogo programmirovaniya [Using the method of branches and bounds in solving problems of linear integer programming]. Materialy nauково-tekhnichnoi konferentsii «Наука. Obrazovaniye. Molodezh'» [Science.

Education. Young]. UGPU. URL: https://library.udpu.edu.ua/library_files/stud_konferenzia/2016_1/85.pdf [in Ukrainian].

15. Kravchenko, E. I. (2018). Alhoritm gilok ta mezh dlya zadachi formuvannya komandy ta poshuku investoriv dlya startap-proektiv [Algorithm of branches and boundaries for the task of forming a team and finding investors for startup projects]. *Naukoviy oglyad* [Scientific review]. NTU “KPI im. I. Sikorskogo”, no. 6 (49). P. 64-72. [in Ukrainian].

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.2>

Безверхий О. І., доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри інформаційних систем і технологій
Національного транспортного університету
ORCID: 0000-0002-0834-6335

Александренко Д. О., магістрант кафедри
інформаційних систем і технологій
Національного транспортного університету
ORCID: 0009-0009-1722-2869

Луц В. Є., аспірант кафедри інформаційних систем і технологій
Національного транспортного університету
ORCID: 0009-0001-2948-6935

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З МОЖЛИВІСТЮ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛІННЯ

Робота присвячена створенню інформаційної системи розпізнавання голосових команд на основі штучних нейронних мереж. З розвитком комп'ютерних систем стає все більш очевидним, що використання систем розпізнавання мови набагато розшириться, якщо стане можливим використання людської мови при роботі безпосередньо з комп'ютером, і зокрема стане можливим управління машиною звичайним голосом в реальному часі, а також введення і виведення інформації у вигляді звичайної людської мови. Одним з перспективних способів організації людино-машинного взаємодія є передача комп'ютерній системі інструкцій користувача в форматі мовних команд. Голосовий інтерфейс є необхідним компонентом, коли мова йде про створення комфортних умов життя для людей з обмеженими можливостями. В роботі визначено підходи до виділення інформативних ознак, що описують мовний сигнал: метод лінійного передбачення та спектральний аналіз, розглянуто структуру нейронної мережі із одним зворотнім зв'язком і встановлено, що навчання нейронної мережі здійснюється шляхом послідовного пред'явлення навчальної вибірки, з одночасним налаштуванням ваг відповідно до певної процедури, поки помилка налаштування по всій множині не досягне прийнятного низького рівня. Цінність одержаних результатів полягає в вдосконаленні нового методу розпізнавання мовлення, який краще адаптується до мовлення користувача, що потребує мінімум ресурсів і створенні інформаційної системи з можливістю голосового управління за допомогою пристроїв на базі різних операційних систем. На основі такого підходу спроектовано інформаційний кросплатформенний додаток з голосовим інтерфейсом.

Ключові слова: голосове управління, фонема, голосовий апарат, штучні нейронні мережі, генетичний алгоритм, спектральні відліки, кепстральні коефіцієнти.

Bezverkhyi O. I., Aleksandrenko D. O., Luts V. Ye. Designing an information system with the possibility of voice control

The work is devoted to the creation of an information system for recognizing voice commands based on artificial neural networks. With the development of computer systems, it is becoming more and more obvious that the use of speech recognition systems will be greatly expanded if it becomes possible to use human language when working directly with the computer, and in particular, it becomes possible to control the machine with a normal voice in real time, as well as input and output information in the form of ordinary human language. One of the promising ways of organizing human-machine interaction is the transmission of user instructions to the computer system in the form of language commands. Voice interface is a necessary component when it comes to creating comfortable living conditions for people with disabilities. In the paper, the approaches to the selection of informative features describing the speech signal are defined: the method of linear prediction and spectral analysis, the structure of a neural network with one feedback is considered, and it is established that the learning of the neural network is carried out by successive presentation of the training sample, with simultaneous adjustment weights according to a specific procedure until the tuning error across the set reaches an acceptably low level.

© О. І. Безверхий, Д. О. Александренко, В. Є. Луц, 2023

The value of the obtained results lies in the improvement of a new method of speech recognition, which is better adapted to the user's speech, which requires a minimum of resources and the creation of an information system with the possibility of voice control using devices based on various operating systems. An informative cross-platform application with a voice interface was designed based on this approach.

Key words: voice control, phoneme, vocal apparatus, artificial neural networks, genetic algorithm, spectral readings, cepstral coefficients.

Постановка проблеми. Системи голосового управління здатні полегшити та спростити взаємодію користувача не тільки з комп'ютерною системою, але і спілкування між людьми, тому голосове розпізнавання мови є на сьогодні актуальною задачею. Особливо дана ідея розвивається у напрямку концепції так званих розумних пристроїв. Більше того, іноді голосовий інтерфейс є необхідною компонентою, наприклад, коли йде мова про людей з обмеженими можливостями. Задачею таких систем є виділення та розпізнавання із потоку звукового сигналу набору мовних команд. Причому при введенні якоїсь команди система не повинна реагувати на інші частини мовного сигналу.

При створенні системи голосового розпізнавання мови розробник стикається з певними проблемами. По перше, відсутність математичної моделі семантики мовного сигналу, що виражається в тому, що для визначення семантики мовного сигналу можуть застосовуватися ймовірнісні та евристичні методи, що не дають точного результату та точність яких обернено пропорційна кількості смислових одиниць, на які вони розраховані. По друге, індивідуальні характеристики мовця: специфіка вимови, акценти, наголоси тощо. По третє, робота із спонтанною мовою та необхідність виділення наявності ключового слова. По четверте, відмінності в акустичній обстановці, шуми [1].

В даний час існує три важливі напрями розробок в розпізнаванні мови. Перше – набори різномірних параметрів, які об'єднують абсолютну спектральну інформацію з динамічною або спектральну інформацію, залежну від часу, стають загальними. Друге – схожі методи перетворення, часто використовувані при нормалізації і декореляції параметрів для зменшення обчислювальних витрат, стають популярними. Третє – завдання оцінки параметрів сигналу об'єднується з процесом розпізнавання мови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Параметризація аналогового сигналу мови є першим кроком в процесі розпізнавання мови. В даний час значні частини розробок зосереджені на завданнях розпізнавання незалежно від диктора, вся увага зосереджена на розробці описів, які не залежать від зміни диктора. Переважні параметри, які є описами спектральних енергій звуку, а не деталями голосу певного диктора [2]. Мова являє собою звукові коливання повітря в діапазоні частот від 70-100 Гц до декількох кілогерц. Для того щоб у вихідному повітряному потоці виникли коливання з такими частотами, необхідна наявність джерела звуку на шляху повітряного потоку. Справа в тому, що крім тону основної частоти, в звуці інструментів і голосі завжди присутні так звані гармоніки. Гармоніки є звуки інших частот, відмінних від основної частоти. У загальному випадку будь-який звук можна представити у вигляді деякого нескінченного набору абсолютно чистих звуків різних частот. Сукупність частот таких чистих звуків називається спектром звуку. У результаті досліджень було встановлено, що в утворенні мови активно беруть участь чотири частоти, які виникають в резонансних порожнинах мовного тракту. Ці частоти називаються формантами. З точки зору людини, найменшою смисловою одиницею є слово. Слово ділиться на склади. Що ж стосується науки, що має справу з розпізнаванням і синтезом мови, то тут вводиться інше поняття одиниці звукового ладу – фонема [3].

Варто відмітити два моменти:

1. Фонема не є фізичною реалізацією звуку, а є поданням звуку в свідомості (абстракцією).
2. Фонема втілює ідею атомарності, засновану на суб'єктивному уявленні про мови.

Фонем не ототожнюються безпосередньо зі словами або складами. Вони грають роль неподільних частинок, атомів мови і являють собою послідовності звуків. З фонем складаються всі інші конструкції мови, такі як склади і слова.

Досить важливою частиною дослідження для виконання задачі автоматичного розпізнавання мови є вивчення слухового аналізатора, оскільки неадекватна обробка сигналу може призвести до втрати частини корисних ознак та до занадто детального представлення іншої частини.

Комп'ютерні системи розпізнавання мови поступово знаходять застосування не тільки в науковій сфері, але й у побутовій. Прикладом тому можуть служити офісні пакети й інше ПЗ з убудованим розпізнаванням мови для голосового введення текстової інформації. Однією з проблем упровадження голосових технологій у портативній техніці був низький обчислювальний ресурс мікропроцесорів, і недостатній обсяг оперативної пам'яті. Крім цього алгоритми з достатньою надійністю розпізнавання мови в умовах складної шумової обстановки навколишнього середовища були занадто ресурсоємні для портативного застосування. Щоб навчити машину впізнавати мову, її потрібно заставити прослуховувати слова, сказані як однією людиною, так і різними людьми. Задача машини – прослухавши всі дані, взяти

середні значення особливостей вимови, повністю виключити індивідуальність, щоб потім, почувши слово, не зробити помилку.

Найбільші проблеми виникають в наступних умовах: довільний користувач; спонтанна мова, яка супроводжується мовним «сміттям», наявність акустичних завад і скривлень; наявність мовних завад.

Мета статті. Для спрощення процесу розпізнавання мови доцільно було б використовувати шаблони окремих звуків єдині для всіх дикторів. Тому для реалізації ефективних незалежних систем автоматизованого розпізнавання мови необхідно виділити інформативні ознаки звуків мови, розробити математичні методи їх опрацювання з метою створення єдиних для всіх дикторів шаблонів.

На сьогоднішній день розпізнавання мови зводиться до вирішення трьох типів задач:

1. Розпізнавання окремо вимовлених слів.
2. Розпізнавання зливої мови.
3. Ідентифікація по зразку мови.

Розробка технології розпізнавання мови вчені почали з освоєння методики виділення інформативних ознак, що описують мовної сигнал. Потім приступили до вирішення завдання класифікації мовних сигналів наборами інформативних ознак. Існують такі підходи до виділення інформативних ознак, що описують мовний сигнал:

- метод лінійного передбачення;
- спектральний аналіз.

Спектральний аналіз відрізняється від лінійного передбачення тим, що оцінки середнього значення усередненого шуму віднімаються з спектра, обчисленого по зашумленими даними. Найбільш часто використовуються два підходу до класифікації та розпізнавання:

- міра близькості параметрів (така функція називається метрикою);
- нейронні мережі.

Другий підхід не використовує допоміжних функцій, але моделює процес розпізнавання в біологічних системах. Цей підхід видається більш перспективним в даний час. У системах розпізнавання мови виділяються дві основні підсистеми:

- підсистема попередньої обробки мовних сигналів;
- підсистема класифікації мовних сигналів.

Виклад основного матеріалу. Нехай існує мовний сигнал як вхідні дані нейронної мережі. Після обробки звукових даних отримано масив сегментів сигналів. Кожен сегмент відповідає набору чисел, що характеризують амплітудні спектри сигналу. Для підготовки до обчислення для сигналу виходу нейронної мережі необхідно записати всі набори чисел в таблицю, рядок якої – це набір чисел кожного кадру. Кількість вхідних і вихідних нейронів відомо. Кожен з вхідних нейронів відповідає одному набору чисел. А на вихідному шарі тільки один нейрон, вихід якого відповідає бажаному значенню розпізнавання сигналу.

Нехай x_q – i -е вхідне значення q -го набору чисел;

u_i – вихід j -го нейрона шару;

w_{ij} – ваговий коефіцієнт зв'язку, що з'єднує i -й нейрон з j -м нейроном;

w_j – ваговий коефіцієнт зворотного зв'язку j -го нейрону;

β_j – зміщення j -го нейрону шару.

Для обчислення виходу нейронної мережі необхідно виконати наступні послідовні кроки.

Крок 1. Ініціювати всі контексти всіх нейронів прихованого шару $x_j=0$.

Крок 2. Подати перший набір чисел на вхід нейронної мережі $x_1=(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$. Обчислити для нього виходи прихованого шару.

$$y_j = f(\sum w_{ij} l_i = I x_i + \beta_j + w_j x_j) \quad (1)$$

де $f(x)$ – нелінійна активаційна функція $y_j = \Pi + e^{-\alpha S_j}$.

Крок 3. Якщо поточний набір чисел не є останнім, то перейти до кроку 5, інакше до кроку 4.

Крок 4. Записати виходи нейронів прихованого шару на контексти $x_j = u_j$, де $j = 1, \dots, J$. Перехід до кроку 2 для наступного набору чисел.

Крок 5. Обчислити вихід нейрону вихідного шару.

$$y_k = f(\sum w_{jk} l_i = I y_j + \beta_k) \quad (2)$$

Розглянемо задачу, яка полягає в розпізнаванні чисел від 0 до 9. Для розпізнавання одного числа потрібно побудувати власну нейронну мережу. І так повинно побудувати 10 нейронних мереж. Надиктована база з 250 слів (числа від 0 до 9) з різними варіаціями вимови. База випадковим чином поділялася на дві рівні частини – навчальну і тестувальну вибірки.

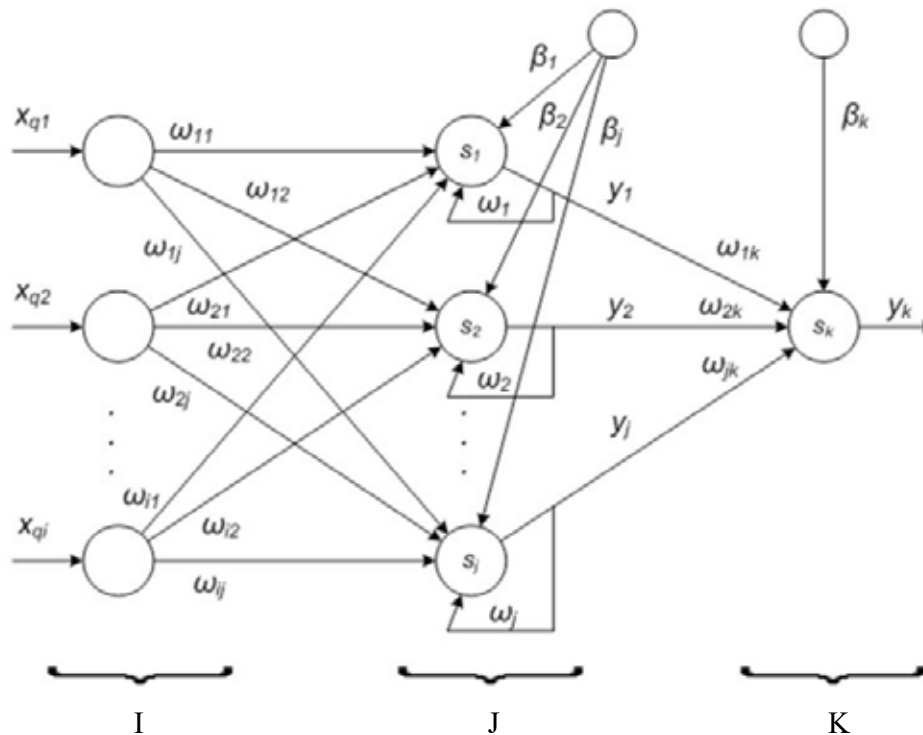


Рис. 1. Структура нейронної мережі із одним зворотнім зв'язком

Таблиця 1

Опис набору ознак мовного сигналу

Кадр	1-е значення	2-е значення	...	I-е значення
1-й кадр	x_{11}	x_{12}	...	x_{1I}
2-й кадр	x_{21}	x_{22}	...	x_{2I}
...
N-ий кадр	x_{N1}	x_{N2}	...	x_{NI}

I – кількість значень одного набору чисел, N – кількість наборів чисел (кадр сигналу після нарізки).

При навчанні нейронної мережі розпізнаванню одного числа, наприклад 5, бажаний вихід цієї нейронної мережі повинен бути одиницею для навчальної вибірки з числом 5, а інші – нулю. Навчання нейронної мережі здійснюється шляхом послідовного пред'явлення навчальної вибірки, з одночасним налаштуванням ваг відповідно до певної процедури, поки помилка налаштування по всій множині не досягне прийняттого низького рівня. Функція помилки в системі буде обчислюватися за наступною формулою:

$$E = 12N \sum (y_{ki} - d_i) N_i = 12 \quad (3)$$

де N – кількість навчальних вибірок, оброблених нейронною мережею прикладів; y_{ki} – реальний вихід нейронної мережі; d_i – бажаний (ідеальний) вихід нейронної мережі.

Для кожного слова з тестової вибірки реальні виходи обчислюються нейронними мережами розпізнавання різних чисел. Нейронна мережа, яка має максимальне вихідне значення, і є нейронною мережею розпізнавання даного слова. І слово, розпізнане нейронною мережею, є результатом розпізнавання [4].

Проектування веб-додатку розпізнавання мови. Проектування веб-додатку – це створення продуманої моделі ефективного веб-ресурсу на етапі підготовки до створення дизайну. Створення структури сайту, а саме – структури розділів і інтерфейсу, дозволяє оптимізувати процес розробки. Створений прототип дозволяє оцінити його відповідність завданням і при необхідності внести зміни в попередню модель. Таким чином, розробка дизайну і програмної частини відбуватиметься на основі прототипу, що дозволить уникнути несподіванок і виконати роботу максимально оперативно і ефективно, з мінімумом оптимізації

в процесі. Прототип створюється на основі технічного завдання, в якому відображені вимоги до сайту. Збір вимог – відповідальне завдання, від якої залежить доцільність і ефективність майбутнього проекту. Проектування інтерфейсу і структури сайту завжди починається з постановки завдань і розбору тематики [5].

Web Speech API дозволяє взаємодіяти з голосовими інтерфейсами у веб-додатках. Він складається з двох частин – SpeechSynthesis – перетворення тексту в мову та SpeechRecognition – асинхронне розпізнавання мови. Web Speech API дозволяє веб-програмам обробляти голосові дані. Доступ до мовлення здійснюється через інтерфейс SpeechRecognition, який забезпечує можливість розпізнавання контексту мовлення з аудіовходу (зазвичай за допомогою служби розпізнавання мови за умовчанням пристрою) і відповідати належним чином.

Як правило, використовується конструктор інтерфейсу для створення нового об'єкта SpeechRecognition, який має ряд оброблювачів подій для виявлення, коли мовлення здійснюється через мікрофон пристрою.

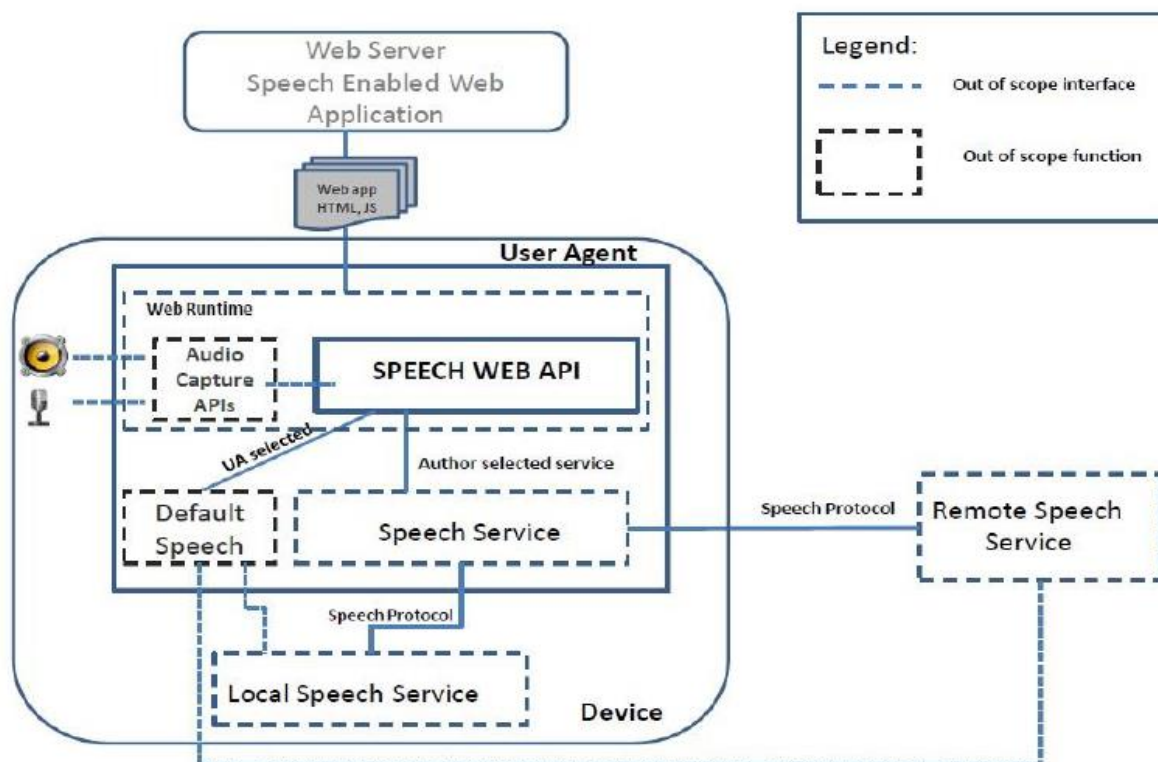


Рис. 2. Схема голосового розпізнавання Web Server

Інтерфейс SpeechGrammar представляє контейнер для певного набору граматики, який прилад повинен розпізнати. Граматика визначається за допомогою JSpeech Grammar Format (JSGF) [6].

Синтез мовлення здійснюється через інтерфейс SpeechSynthesis, компонент «текст-мовлення», який дозволяє програмам прочитати текстовий вміст (зазвичай за допомогою синтезатора рішень за замовчуванням пристрою). Різні типи голосів та текстів представлені об'єктами SpeechSynthesisVoice та SpeechSynthesisUtterance. Отримати голосове відображення можна, передаючи об'єкти методу SpeechSynthesis.speak() [7].

Голосове розпізнавання передбачає отримання мовлення через мікрофон пристрою, який потім перевіряється службою розпізнавання мов у списку граматики (в основному, словник, який окремо вказується в кожному додатку). Коли слово або фраза успішно розпізнаються, вони передаються як результат (або список результатів) у вигляді текстового рядку, з якими в результаті можуть бути ініційовані подальші дії.

Web Speech API має основний інтерфейс контролера – SpeechRecognition – плюс ряд тісно пов'язаних інтерфейсів для представлення граматики, результатів тощо. Як правило, стандартна система розпізнавання мовлення, доступна на пристрої, буде використовуватися для розпізнавання мови – більшість сучасні ОС мають систему розпізнавання мовлення для випуску голосових команд. Наприклад, Mac OS X, Siri на iOS, Cortana в Windows 10, Android Speech тощо [8].

Реалізувати голосове розпізнавання команд веб-додатком виконаємо за допомогою бібліотеки JavaScript Annyang.

Annyang – невелика бібліотека із відкритим вихідним кодом, важить 2 кілобайта та знаходиться у вільному доступі для використання у проектах відповідно до MIT ліцензії.

Розпізнавання мовлення відрізняється залежно від використовуваного протоколу:

https:// Один раз просить про дозвіл і запам'ятовує вибір.

http:// Просить багаторазового дозволу на кожну завантаження сторінки. Результати також повертаються значно повільніше в HTTP.

Фактична обробка мовлення та перетворення команд в текст виконується в хмарі, тому швидше з'єднання зумовлює оптимальнішу роботу додатку.

Коли розпізнавання мови відбувається в безперервному режимі, результати повертаються повільніше (браузер чекає, коли людина закінчить розмовляти, щоб побачити, чи є щось ще, що людина хоче додати).

Якщо вимкнути режим безперервного режиму, веб-переглядач повертає результат набагато швидше.

Щоб запустити annyang у неперервному режимі, необхідно вказати continuous: false в об'єкті параметрів, який приймає annyang.start(). Також варто ввімкнути autoRestart.

```
annyang.start({autoRestart: true, continuous: false});
```

Варто звернути увагу, що ці параметри вже є стандартними, якщо використовується HTTPS. Якщо використовується HTTP, за замовчуванням буде активовано безперервний режим (що призведе до повільного розпізнавання), щоб запобігти повторним повідомленням про безпеку [9].

Для створення голосового інтерфейсу будемо використовувати бібліотеку annyang.

Основні команди бібліотеки:

init(commands, [resetCommands=true]) – ініціалізація бібліотеки за допомогою додавання списку команд для розпізнавання.

start([options]) – команда, що вказує на початок голосового розпізнавання, тому ініціалізація команд має бути зроблена до початку розпізнавання.

Опції команди start:

autoRestart (boolean, default: true) – дозвіл перезапуску при виникненні проблем із розпізнаванням;

continuous (boolean) – дозвіл на ввімкнення постійного режиму розпізнавання;

paused (boolean, default: true) – запуск розпізнавання у режимі призупинення.

abort() – зупинити розпізнавання або вимкнути мікрофон.

pause() – призупинення розпізнавання команд (до виклику команди start() або resume()) без вимкнення движка SpeechRecognition в браузері чи мікрофону.

resume() – відновлює виконання команди зворотного виклику та розпізнавання.

debug([newState=true]) – виведення налагоджувальних повідомлень на консолі.

setLanguage(language) – встановлення мови розпізнавання.

addCommands(commands) – додавання команд, схожий на функцію init(), але не видаляє попередніх команд.

removeCommands([commandsToRemove]) – видалити існуючі команди, можна передавати одиночну фразу чи масив команд, щоб видалити всі попередні команди варто запустити функцію без параметрів.

addCallback(type, callback, [context]) – можливість отримання масиву із розпізнаних слів та близьких до них.

removeCallback(type, callback) – видалення колбеків із подій [9].

Створюємо скрипт для розпізнавання команд, наприклад для входу в систему.

```
if (annyang) {  
  var login = function(name){  
    var user = document.getElementById('user');  
    user.focus();  
    user.value = name;  
  };  
  var addPassword = function(pass){  
    var password = document.getElementById('pass');  
    password.focus();  
    password.value = pass;  
  };  
  var loginCommands = {  
    'username *name': login,  
    'password *pass': addPassword,  
    'sign in': welcome,  
  };  
  var welcome = function(){  
    signIN();  
  }  
  annyang.addCommands(loginCommands);  
}
```

```
annyang.start();
}
}
```

Перш за все, перевіряємо чи розпочалося розпізнавання і чи працює бібліотека, для цього виконуємо перевірку `if(annyang)`.

Далі створюємо функції до полів функції згідно з тим, що вимовив користувач. Створюємо перелік команд та ставимо їм у виконання функції відповідно до розпізнаної фрази. Наприклад, `*name` – означає параметр, що передається у функцію `login(name)` та буде встановлено у полі логін форми входу. Аналогічно виконується команда введення паролю. Якщо виконати команду `'sign in'`, вона запускає на виконання створену раніше функцію `signIN()`, яка перевіряє на наявність зареєстрованого користувача із введеними логіном та паролем.

Для переходу між сторінками застосовуємо `location.href`.

Створимо голосове розпізнавання для прокручування сторінки до початку, вверх та вниз. Для цього додаємо наступний скрипт:

```
var userCommands = {
  'scroll top': scrollTop,
  'scroll down': down,
  'scroll up': up,
};
var scrollTop = function() {
  console.log('scroll top');
  var top = Math.max(document.body.scrollTop, document.documentElement.scrollTop);
  if(top > 0) {
    window.scrollTo(0, -100);
    t = setTimeout('scrollTop()', 50);
  } else clearTimeout(t);
  return false;
}
var down = function() {
  $('html, body').animate({scrollTop: '+=300'}, 500);
}
var up = function() {
  $('html, body').animate({scrollTop: '-=300'}, 500);
}
```

Функції, що виконуються є звичайними у мові Javascript. Для додавання голосового інтерфейсу варто лише створити відповідну команду, якій передати або існуючу функцію, або передати активність певного елемента чи створити нову функціональну одиницю, яка вбудована в псевдоелементи CSS.

Голосові функції веб-додатку є аналогічними з функціями, що здійснюються за допомогою допоміжних пристроїв: клавіатури, миші.

Висновки. У результаті виконання роботи було:

1. Проаналізовано сучасні можливості голосового керування пристроями. Визначено підходи до виділення інформативних ознак, що описують мовний сигнал: метод лінійного передбачення та спектральний аналіз.

2. Досліджено моделі розпізнавання мови на основі штучних нейронних мереж. Розглянуто структуру нейронної мережі із одним зворотнім зв'язком. Встановлено, що навчання нейронної мережі здійснюється шляхом послідовного пред'явлення навчальної вибірки, з одночасним налаштуванням ваг відповідно до певної процедури, поки помилка налаштування по всій множині не досягне прийняттого низького рівня.

3. Спроектовано інформаційний кросплатформенний додаток з голосовим інтерфейсом. Всі можливі переходи та зміни станів системи включають в себе голосове управління.

Список використаних джерел:

1. Dong Yu, Li Deng. Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach. – L.: Springer-Verlag London, 2015. 320 p.
2. Automatic Speech recognition: short introduction. URL: https://www.esat.kuleuven.be/psi/spraak/demo/Recog/asr_intro.html
3. Автоматичне розпізнавання, розуміння та синтез мовленнєвих сигналів в Україні / Т.К. Вінцюк, М.М. Сажок, Р.А. Селюх, Д.Я. Федорин, О.А. Юхименко, В.В. Робейко. *Управляющие системы и машины*. 2018. № 6. С. 7–24.

-
4. Глибовець М. М., Олецкий О.В. Штучний інтелект. Київ : «Кисво-Могилянська академія», 2002. 364 с.
 5. Home Assistant. URL: <https://home-assistant.io/>
 6. Introducing the Web Speech API. URL: <https://www.sitepoint.com/introducing-web-speech-api/>
 7. JavaScript: Web API читання тексту та розпізнавання голосу. URL: <https://archakov.im/post/javascript-web-api-recognition-and-speech-text.html>
 8. Understand the Smart Home Skill API. URL: <https://developer.amazon.com/docs/smarthome/understand-the-smart-home-skill-api.html#how-the-smart-home-skill-api-works>
 9. annyang! Tutorial. URL: <https://github.com/TalAter/annyang>

References:

1. Dong Yu, Li Deng. Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach. – L.: Springer-Verlag London, 2015. 320 p.
2. Automatic speech recognition: short introduction. URL: https://www.esat.kuleuven.be/psi/spraak/demo/Recog/asr_intro.html
- 3 Automatic recognition, understanding and synthesis of speech signals in Ukraine / T.K. Vintsyuk, M.M. Sazhok, R.A. Selyukh, D.Ya. Fedoryn, O.A. Yukhymenko, V.V. Robeyko. *Control systems and machines*. 2018. No. 6. P. 7–24.
4. Hlybovets M. M., Oletskyi O. V. Artificial Intelligence. Kyiv: "Kyiv-Mohyla Academy", 2002. 364 p.
5. Home Assistant. URL: <https://home-assistant.io/>
6. Introducing the Web Speech API. URL: <https://www.sitepoint.com/introducing-web-speech-api/>
7. JavaScript: Web API text reading and voice recognition. URL: <https://archakov.im/post/javascript-web-api-recognition-and-speech-text.html>
8. Understand the Smart Home Skill API. URL: <https://developer.amazon.com/docs/smarthome/understand-the-smart-home-skill-api.html#how-the-smart-home-skill-api-works>
9. annyang! Tutorial. URL: <https://github.com/TalAter/annyang>

Бойко Н. І., кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри систем штучного інтелекту
Національного університету «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0002-6962-9363

Курило В., студент 4-го курсу кафедри систем штучного інтелекту
Національного університету «Львівська політехніка»

АЛГОРИТМ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕДИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОНКОЛОГІЇ

У даній роботі наведено результати досліджень застосування Логістичної регресії та Дерева рішень з використанням алгоритму РСА в задачі виявлення та прогнозуванні онкології. Було проаналізовано проблему та актуальність даного дослідження. Проаналізовано різноманітні літературні джерела та методи машинного навчання. Проведений детальний аналіз обраних методів, а також розглянути їх математичні моделі. Було проведено тренування відповідних моделей та ряд експериментів для обрання найкращих параметрів на обраних двох наборах даних, які були детально проаналізовані в даній роботі. Наведено результати точності моделей та побудовані відповідні метрики, такі як Classification report, Confusion Matrix, Roc-curve. Також були проведені експерименти для покращення точності моделей з використанням алгоритму РСА. В результаті були отримані набагато кращі результати у випадку з другим набором даних, але з першим покращити точність не вдалося. Після проведення експериментальної частини було детально проаналізовано отримані результати та наведені відповідні гістограми для кожного з наборів даних з отриманими результатами. Дане дослідження доводить, що алгоритм РСА краще використовувати, тоді коли наявний набір даних з великою кількістю ознак. В результаті дослідження були отримані хороші результати у задачі виявлення та прогнозування онкології та наведено цінність даного дослідження з описаними висновками. В роботі проводиться оцінка результатів за допомогою різних метрик, таких як точність та чутливість, і результати порівнюються з іншими методами аналізу та класифікації. Доведено, що ці методи можуть вдосконалити процес діагностики онкології, сприяти зменшенню помилкових класифікацій та сприяти ранньому виявленню хвороби.

Ключові слова: алгоритм, машинне навчання, онкологія, виявлення, прогнозування.

Boyko N. I., Kurylo V. Medical data classification algorithm for oncology prediction

The article presents the results of research on the application of Logistic Regression and Decision Tree with the use of PCA algorithm in the task of cancer detection and prediction. The problem and relevance of this research are analyzed. Various literature sources and machine learning methods are reviewed. A detailed analysis of the chosen methods is conducted, along with their mathematical models. Training of respective models and a series of experiments are carried out to select the best parameters on two selected datasets, which are thoroughly analyzed in the study. The accuracy of the models is evaluated, and corresponding metrics such as Classification report, Confusion Matrix, and Roc-curve are constructed. Additionally, experiments are conducted to enhance the accuracy of the models using the PCA algorithm. As a result, significantly improved outcomes are achieved with the second dataset, while the accuracy improvement is not achieved with the first dataset. After the experimental phase, the obtained results are analyzed in detail, and corresponding histograms with the results are provided. This research demonstrates that the PCA algorithm is better utilized when dealing with datasets with a large number of features. Overall, the study yields promising results in cancer detection and prediction, and the value of this research is highlighted with the described conclusions. The paper evaluates the results using various metrics, such as accuracy and sensitivity, and compares the results with other analysis and classification methods. It has been proven that these methods can improve the process of oncology diagnosis, contribute to the reduction of false classifications and contribute to the early detection of the disease.

Key words: algorithm, machine learning, oncology, detection, prediction.

Постановка проблеми. Машинне навчання активно розвивається та уже давно набуло неабиякої важливості у сучасному світі, в тому числі в медицині. В наші дні важко уявити лікарню без використання сучасних технологій AI. За допомогою яких встановлюють діагнози, прогнозують розвиток хвороб, аналізують стан пацієнта і багато іншого. В основі роботи МН в медицині лежить аналіз великих медичних даних, завдяки обробці яких та з використанням різноманітних методів МН ми можемо покращити роботу медицини, оскільки алгоритми МН можуть виявити ті відхилення, які не може виявити людини.

Темою роботи є прогнозування онкології з використання методів машинного навчання, оскільки цей діагноз майже не виліковний та мало хто його виявляє на ранніх стадіях, через що помирає велика кількість людей. Цей напрямок був обраний, тому що рак є основною проблемою охорони здоров'я та провідною глобальною причиною смерті, де скринінг, діагностика, прогнозування, оцінка виживаності та лікування раку та заходи контролю все ще є серйозною проблемою.

Звідси видно, що прогнозування онкології з використанням методів машинного навчання є важливим та актуальним напрямком досліджень в сучасному світі. Онкологічні захворювання становлять серйозну загрозу для здоров'я та життя людей, а раннє виявлення та прогнозування можуть значно покращити їх виживання та результати лікування. Застосування методів машинного навчання дозволяє аналізувати великі обсяги медичних даних та ідентифікувати фактори ризику та ознаки онкології, які людина може пропустити. Це відкриває нові можливості для покращення стратегій профілактики, діагностики та лікування раку. Прогнозування онкології з використанням методів машинного навчання може використовуватися як інструмент для раннього виявлення та індивідуалізації лікування, що сприяє покращенню результатів та збільшенню шансів на одужання у пацієнтів з онкологічними захворюваннями.

Для подальшого аналізу було обрано два методи, а саме логістичну регресію та дерево рішень, а також алгоритм PCA для зменшення розмірності даних та покращення точності моделі. Дані методи були обрані, оскільки вони є зрозумілі і прості у реалізації, а також вони мають свої унікальні переваги та можуть принести цінну інформацію для прогнозування онкології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність дослідження полягає в тому, що прогнозування онкології є важливою задачею в медицині, а використання логістичної регресії та дерева рішень дозволяє отримати цінну інформацію для класифікації та прогнозування онкологічних захворювань. Додатково, використання алгоритму PCA для зменшення розмірності даних може покращити точність моделі, знизити шум та покращити роботу зі збалансованими ознаками.

В роботі [5] розглядаються обрані методи разом з алгоритмом PCA мають потенціал покращити точність та надійність моделі прогнозування онкології, що робить дане дослідження актуальним та новизною у використанні цих методів для проблеми онкології.

У статті [1] автори проводять докладний огляд робіт, які використовують машинне навчання для класифікації та прогнозування результатів пацієнтів з використанням електронних медичних записів. Вони аналізують різні алгоритми глибокого навчання, набори даних, використані показники та результати досліджень. Тут показані, такі речі як: Лінійна регресія, градієнтний спуск, SVM, дерево рішень та інші. Головна перевага статті [1], що це все є пояснення, як на простих прикладах, так і у раковій діагностиці, що значно покращує розуміння цих методів в подальших дослідженнях. Стаття [1] є корисною у дослідженні, оскільки надає вичерпний огляд методів та моделей машинного навчання, які застосовуються для прогнозування результатів пацієнтів на основі електронних медичних записів. Вона допомагає зрозуміти різні підходи, що застосовуються в цій області, а також виявити потенційні переваги та виклики, пов'язані з використанням машинного навчання на основі електронних медичних записів.

У роботі [2] автори досліджують різні алгоритми та моделі машинного навчання, що застосовуються для прогнозування раку. Вони використовують набори даних, що містять клінічні та генетичні характеристики пацієнтів, для навчання та тестування моделей. У статті [2] автори розглядають різні методи машинного навчання, такі як логістична регресія, дерева рішень, метод опорних векторів (SVM) та наївний басів класифікатор. Вони порівнюють ефективність цих методів у прогнозуванні ракових захворювань та визначають найбільш точні та надійні підходи. Дослідження показує, що використання машинного навчання може допомогти вдосконалити прогнозування раку та сприяти ранній діагностиці цього захворювання. Результати цієї роботи є корисні для подальшого розвитку методів прогнозування та діагностики раку на основі машинного навчання.

Стаття [3] є оглядом використання методів машинного навчання в передбаченні раку. У статті автори розглядають різні алгоритми та моделі машинного навчання, що використовуються для аналізу клінічних та генетичних даних у ракових дослідженнях. Стаття описує різні методи машинного навчання, такі як логістична регресія, метод опорних векторів (SVM), дерева рішень, нейронні мережі та ансамблеві моделі, і вказує на їхню ефективність у прогнозуванні результатів ракових захворювань. Ця стаття є корисною для дослідження, оскільки надає зрозумілий огляд різних методів машинного навчання, що застосовуються у прогнозуванні раку. Вона надає базові знання про різні алгоритми та їхні можливості, що допоможе у виборі підходів для дослідження. Крім того, стаття також вказує на потенційні виклики та перспективи використання машинного навчання в ракових дослідженнях.

Стаття [4] фокусується на оцінці та порівнянні продуктивності алгоритмів зменшення розмірності в моделях машинного навчання для прогнозування раку. Автори проводять комплексний аналіз різних методів зменшення розмірності, які використовуються в поєднанні з алгоритмами машинного навчання для прогнозування раку. У статті [4] досліджуються різні методи зменшення розмірності, основний з них – аналіз головних компонентів (PCA). Автори оцінюють ефективність цих алгоритмів у зменшенні розмірності наборів даних, пов'язаних із раком, і покращенні продуктивності моделей машинного навчання в прогнозуванні раку. Ця

стаття є цінною для дослідження, оскільки вона дає уявлення про ефективність і придатність різних алгоритмів зменшення розмірності для прогнозування раку. Це допомагає зрозуміти вплив методів зменшення розмірності на точність і ефективність моделей машинного навчання в дослідженнях, пов'язаних із раком.

Метою цього дослідження є оцінка та порівняння методів машинного навчання на прогнозування онкології. Це дослідження ставить за мету визначити оптимальні методи для класифікації та прогнозування ракових захворювань на основі доступних клінічних та генетичних даних. Результати дослідження можуть сприяти покращенню точності та надійності моделей прогнозування онкології та клінічних стратегій у боротьбі з цими хворобами.

Виклад основного матеріалу. Математична постановка задачі полягає у побудові моделей за допомогою логістичної регресії, дерева рішень та алгоритму РСА для прогнозування онкологічних захворювань. Нехай маємо набір незалежних змінних $X = \{X_1, X_2, \dots, X_p\}$, де p – кількість ознак, і залежну змінну Y , що вказує на наявність загрози або її відсутність онкологічного захворювання. Метою є побудова моделі, яка здатна класифікувати нові спостереження в залежності від їхніх ознак та зробити прогноз наявності онкологічного захворювання. Для даної задачі прогнозування онкології за допомогою логістичної регресії, математична модель може бути описана наступним чином:

1. Припустимо, що маємо набір клінічних та генетичних ознак для N прикладів, які позначимо як x_i ($1 \leq i \leq N$). Кожен x_i є вектором ознак розмірності d .

2. Для кожного прикладу x_i , маємо відповідну мітку класу y_i , де $y_i = 1$, якщо приклад відноситься до позитивного класу (наявність загрози онкологічного захворювання), і $y_i = 0$, якщо приклад належить до негативного класу (відсутність загрози онкологічного захворювання).

3. Логістична регресія моделює ймовірність $P(y_i = 1 | x_i)$ залежно від ознак x_i за допомогою логістичної функції – сигмоїди (Формула 1):

$$P(y_i = 1 | x_i) = \frac{1}{1 + \exp(-z_i)}, \quad (1)$$

де $z_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{i1} + \beta_2 * x_{i2} + \dots + \beta_d * x_{id}$

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_d$ є параметрами моделі, які потрібно знайти.

4. Задача полягає у знаходженні оптимальних значень параметрів β , які мінімізують функцію втрат та максимізують ймовірність правильної класифікації. Часто використовується метод максимальної правдоподібності або метод градієнтного спуску для знаходження цих оптимальних значень.

5. Після знаходження оптимальних значень параметрів β , можна використовувати модель для прогнозування класів для нових прикладів. Для прикладу якщо $P(y = 1 | x) > 0.5$, класифікуємо приклад як позитивний клас в іншому випадку класифікуємо його як негативний клас.

Математично, логістична регресія використовує логістичну функцію для моделювання ймовірностей класів залежно від набору ознак. Задача полягає у знаходженні оптимальних параметрів, які дозволяють максимізувати точність класифікації та прогнозування онкологічних захворювань на основі даних ознак.

Якщо говорити про математичну модель дерева рішень, то також припустимо, що маємо набір клінічних та генетичних ознак для N прикладів, які позначимо як x_i ($1 \leq i \leq N$). Кожен x_i є вектором ознак розмірності d .

1. Дерево рішень розбиває набір даних на декілька груп (вузлів) засновану на значеннях ознак. Кожен вузол має свою умову розділення, яка базується на значенні однієї з ознак. Наприклад, якщо ознака $x_i > t$, перейти до лівого піддерева, в іншому випадку – до правого піддерева.

2. Задача полягає у побудові оптимального дерева рішень, яке мінімізує помилку класифікації та максимізує точність прогнозування. Для цього можна використовувати різні критерії, такі як ентропію (Формула 2) або критерій Джині (Формула 3), для вибору найкращої ознаки та значення розділення в кожному вузлі.

$$E(x) = \sum_{i=1}^n -p_i * \log_2(p_i), \quad (2)$$

де в даній формулі x – поточний стан, p – ймовірність події i стану x

$$Gini(t) = 1 - \sum_{i=1}^n (p(i|t))^2, \quad (3)$$

де t – вузол дерева рішень, $p(i|t)$ – ймовірність, що об'єкт належить класу i в умовах вузла t .

3. Дерево будується рекурсивно, розбиваючи набір даних на підмножини в кожному вузлі досягнення критерію зупинки, наприклад, максимальної глибини дерева або мінімальної кількості прикладів в вузлі.

4. Після побудови дерева, можна використовувати його для класифікації нових прикладів, пройшовши по шляху від кореня дерева до листя, де кожен лист представляє конкретний клас (позитивний або негативний).

Математично, дерево рішень розбиває набір даних на підмножини на основі значень ознак і рекурсивно будує гілки рішень досягнення критерію зупинки. Задача полягає у знаходженні оптимального дерева,

яке мінімізує помилку класифікації та максимізує точність прогнозування онкологічних захворювань на основі даних ознак.

Також наведемо математичну модель алгоритму PCA. Для даної задачі прогнозування онкології, математичний опис алгоритму PCA може бути наступним:

1. Припустимо, що маємо набір даних, який складається з N прикладів з d ознаками, які утворюють матрицю X розмірності $N \times d$.

2. Спочатку проводиться центрування даних шляхом віднімання середнього значення кожної ознаки від відповідних значень усіх прикладів. Це забезпечує нульове середнє значення для кожної ознаки.

3. На наступному кроці обчислюється коваріаційна матриця C розмірністю $d \times d$ шляхом множення матриці X на її транспоновану версію і поділення на $(N - 1)$. Коваріаційна матриця відображає ступінь взаємозв'язку між ознаками.

4. Виконується розклад коваріаційної матриці C за допомогою методу сингулярного розкладу (Singular Value Decomposition, SVD). Цей розклад дає нам власні значення та власні вектори коваріаційної матриці.

5. Головні компоненти обираються в порядку спадання їх власних значень, що відображає важливість кожної компоненти в поясненні дисперсії даних. Можна вибрати перші k головних компонент, які пояснюють більшу частину загальної дисперсії (наприклад, 90%).

6. Отримані головні компоненти утворюють нову матрицю зменшеної розмірності F розмірністю $N \times k$, де кожний стовпчик представляє одну головну компоненту.

Алгоритм PCA дозволяє зменшити розмірність даних, зберігаючи при цьому більшу частину їх варіації. В даній задачі прогнозування онкології, алгоритм PCA може допомогти зменшити кількість ознак та покращити точність моделі, забезпечуючи важливу інформацію про взаємозв'язки між ознаками у зменшеному просторі.

Для подальшого аналізу було обрано два набори даних, які були завантажені з сайту Kaggle. Перший набір даних містить результати діагнозів 768 людей, де за восьми медичними ознаками прогнозуватимемо чи загрожує онкологія людині чи ні (0 або 1). Продемонструємо перших п'ять полів на Рис. 1.

	Pregnancies	Glucose	BloodPressure	SkinThickness	Insulin	BMI	Cancer_Markers	Age	Outcome
0	6	148	72	35	0	33.6	0.627	50	1
1	1	85	66	29	0	26.6	0.351	31	0
2	8	183	64	0	0	23.3	0.672	32	1
3	1	89	66	23	94	28.1	0.167	21	0
4	0	137	40	35	168	43.1	2.288	33	1

Рис. 1. Демонстрація першого набору даних

Другий набір даних містить 1000 рядків та 26 медичних ознак за якими прогнозуватимемо три варіанти відповіді «Мала», «Середня», «Висока» загроза захворюваності на онкологію. На Рис. 2 продемонструємо перших п'ять полів.

Index	Patient Id	Age	Gender	air pollution	alcohol use	Dust Allergy	occupational Hazards	Genetic Risk	chronic Lung Disease	...	Fatigue	Weight Loss	Shortness of Breath	wheezing	Swallowing Difficulty	Clubbing of Finger Nails	Frequent cold	Dry cough	Snoring	Level
0	P1	33	1	2	4	5	4	3	2		2	4	2	2	3	1	2	3	4	Low
1	P10	17	1	3	1	5	3	4	2		1	3	7	8	6	2	1	7	2	Medium
2	P100	35	1	4	5	6	5	5	4		8	7	0	2	1	4	6	7	2	High
3	P1000	27	1	7	7	7	7	5	7		4	2	3	1	4	5	6	7	5	High
4	P101	46	1	6	8	7	7	7	6		3	2	4	1	4	2	4	2	2	High

Рис. 2. Демонстрація другого набору даних

Для подальшого використання обрані набори даних були перевірені на відсутні дані, викиди, аномальні значення та дублікати, а також були нормалізовані для покращення ефективності моделей та розділені на навчальні, валідаційні, тестувальні дані.

Спочатку, натренуємо моделі Логістичної регресії та Дерева рішень на першому наборі даних, який складається з 8 ознак. Для цього використаємо бібліотеку keras та її відповідні методи.

`model = LogisticRegression()`

Навчимо модель на навчальних даних та візуалізуємо наші результати на тестовій вибірці.

Accuracy: 0.8177083333333334

Точність нашої моделі досягає майже 82%, що свідчить про непогані результати, але які слід покращити. Для спочатку слід перевірити чи не відбувається перенавчання – коли на навчальних даних результати набагато вищі, ніж на тестових. Точність моделі на навчальних даних

Accuracy on train data: 0.7690972222222222

Бачимо, що точність на навчальних даних сягає 77%, що приблизно на 5% менше ніж на тестових даних і це означає те, що перенавчання не відбувається. Ще також відобразиться у звіті про класифікацію (Classification report), який містить дані про точність (precision) – відсоток правильних позитивних прогнозів відносно загальної кількості позитивних прогнозів. Відкликання (Recall) – відсоток правильних позитивних прогнозів відносно загальної кількості фактичних позитивних результатів. Оцінка F1(f1-score) – зважене гармонічне середнє значення точності прогнозів (Рис. 3).

	precision	recall	f1-score	support
0	0.82	0.93	0.87	125
1	0.82	0.61	0.70	67
accuracy			0.82	192
macro avg	0.82	0.77	0.78	192
weighted avg	0.82	0.82	0.81	192

Рис. 3. Classification report

Для кращого розуміння отриманих результатів побудуємо “Confusion Matrix”, яка показує кількість правильних та неправильних прогнозів. Зобразимо матрицю на Рис. 4.

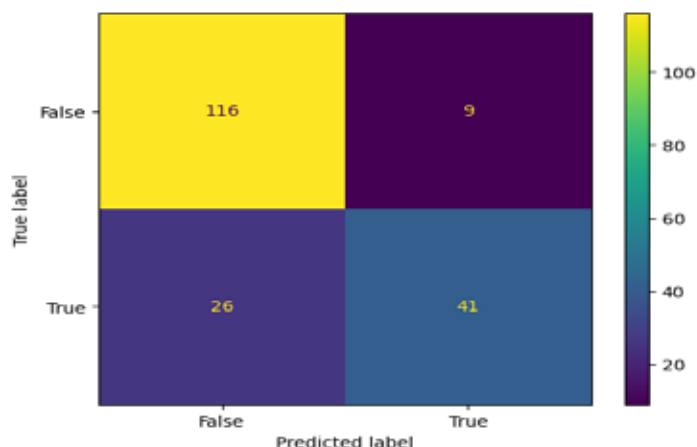


Рис. 4. Confusion matrix

З Рис. 3 можна побачити, що модель робить 9 невірних прогнозів та 116 вірних у випадку, коли мітка повинна бути False або 0 та 26 невірних, а 41 вірну, коли мітка повинна бути True або 0.

Спробуємо покращити отримані результати використовуючи алгоритм PCA. Для цього були проведені експерименти з використанням різної кількості компонент. В результаті використовуючи PCA при різній кількості компонентів, результати були рівними при 2–5 компонентах та їх точність сягала

Accuracy on test data: 0.765625
Accuracy on train data: 0.7118055555555556

Тільки з зведенням датасету до семи компонентів точність трішки збільшилася, але не перевершила оригінальний датасет. Також зобразимо точність та криву-ROC при 7 компонентах

Accuracy on test data: 0.8020833333333334
Accuracy on train data: 0.7673611111111112

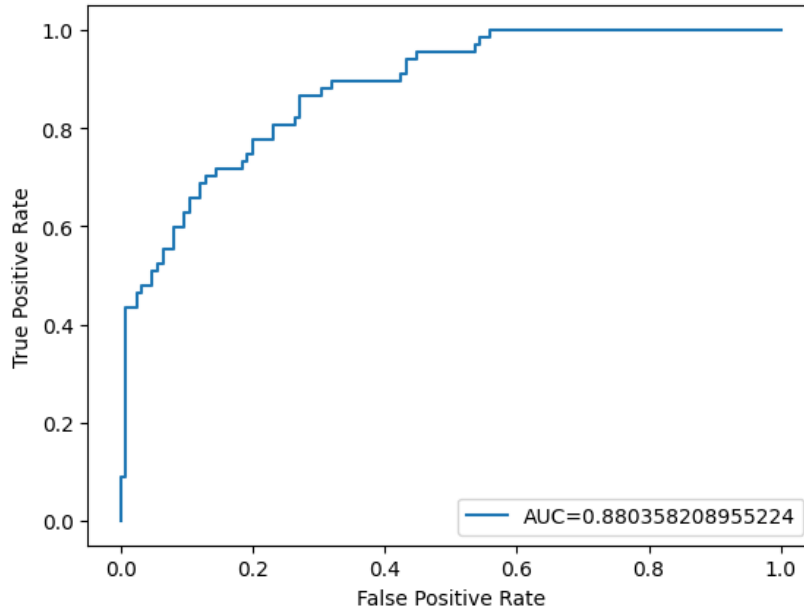


Рис. 5. ROC-Curve з даними PCA

Зробивши експерименти з використанням PCA, можна сказати, що в даному випадку він не дав очікуваних результатів, оскільки не покращив точності, а може бути корисним, тільки у візуалізації та аналізі датасету.

Наступним кроком є тренування моделі Дерева рішень. Для цього були зроблені відповідні експерименти, які показали, що модель відпрацьовує краще з критерієм Entropy та дає найкращі результати з максимальною довжиною 6.

```
model = DecisionTreeClassifier(criterion = 'entropy', max_length=6)
```

Найкраща точність 77% на тестовій вибірці досягається, коли глибина дерева рівна = 6. Також давайте подивимося на точність на тренувальній вибірці.

```
Accuracy on test data: 0.7708333333333334
Accuracy on train data: 0.8454861111111112
```

Проаналізувавши отримані результати, бачимо, що модель Логістичної регресії дає кращі результати. Але спробуємо покращити результати Дерева рішень використовуючи алгоритм PCA. Зробивши експерименти при різній кількості компонент найкраща точність була досягнута при 4 ознаках.

```
Accuracy on test data: 0.78125
Accuracy on train data: 0.8194444444444444
```

Побудуємо Classification report для даної моделі (Рис. 6).

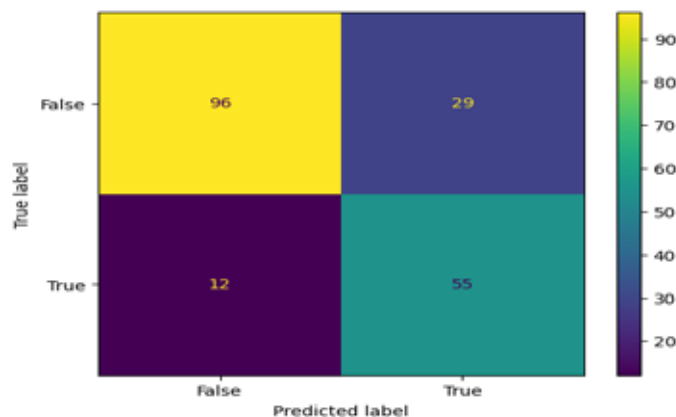


Рис. 6. Classification report

Точність на тестовій вибірці досягла 78%, що трохи покращило результати. Бачимо, що модель робить 29 помилок при класі False та 12 при класі True, що значно відрізняється від результатів логістичної регресії,

оскільки вона давала більше правильних відповідей з класом False. Але цей результат не покращив результати Логістичної регресії.

Тепер проробимо ці всі ж кроки для другого набору даних, який складається з 26 ознак. Побудуємо мультиноміальну логістичну регресію за допомогою пакета keras.

```
model = LogisticRegression(multi_class='multinomial')
```

Навчимо модель та зобразимо отриману точність на тестових та навчальних даних

```
Accuracy on test data: 0.88  
Accuracy on train data: 1.0
```

Точність на тестових даних – 88%, що є доволі непогано. А на тренувальних 100%, що свідчить про можливий процес перенавчання. Це було б можливо виправити додавши більшу кількість даних, оскільки використовується, тільки одну десяту з запропонованого датасету. Але потрібно спробувати покращити ситуацію використовуючи PCA. Але спочатку ще відобразимо Confusion Matrix.

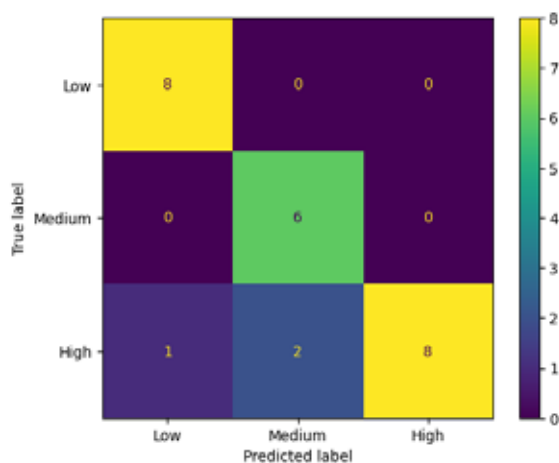


Рис. 7. Confusion Matrix

На рис. 6 показано, що модель жодного разу не помилилася на даних з вихідним значенням “Low” та “Medium”, але зробила три помилки з “High”.

Перевіримо, як модель буде себе вести з використанням PCA з різною кількістю компонент, для цього пройдемося циклом по всіх можливих варіантах та виведемо найкращий результат.

```
Accuracy on test data: 0.96  
Accuracy on train data: 0.9466666666666667
```

Як бачимо, що результати значно покращились. Дана точність була досягнута з використання 3–6 компонент. Точність на тестовій вибірці значно піросла, а на тренувальній знизився. Також зобразимо результати по кожній з вихідних ознак з Confusion Matrix.

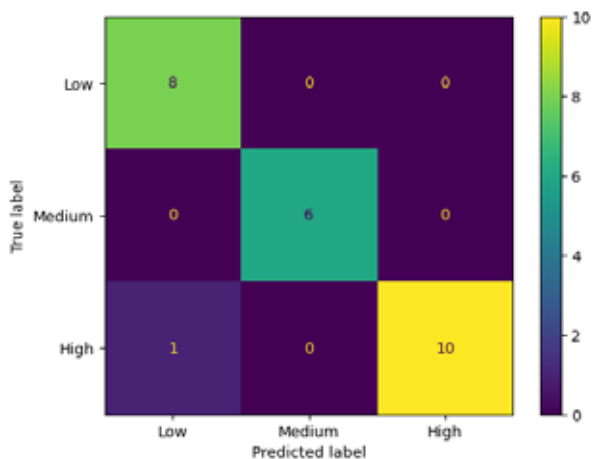


Рис. 8. Classification report

З отриманих результатів бачимо, що тепер модель працює практично ідеально і робить тільки одну помилку на тестових даних. В даному випадку PCA допоміг отримати кращі результати.

Також використаємо ще Дерево рішень і подивимося чи воно покращить нам результати для даного датасету. Для навчання та тестування використаємо цей же оброблений датасет. Як і попередній побудові дерева рішень знайдемо найоптимальнішу глибину та кількість компонент. Найкращі результати з максимальною глибиною 7. З критерієм Gini точність рівна 96%, а з Entropy точність рівна 92% без використання PCA. Використанням PCA точність значно зростає та досягає 100% в деяких випадках. Давайте побудуємо одне дерево рішень, де точність рівна 100%, а саме де кількість компонент рівна п'яти з критерієм Gini.

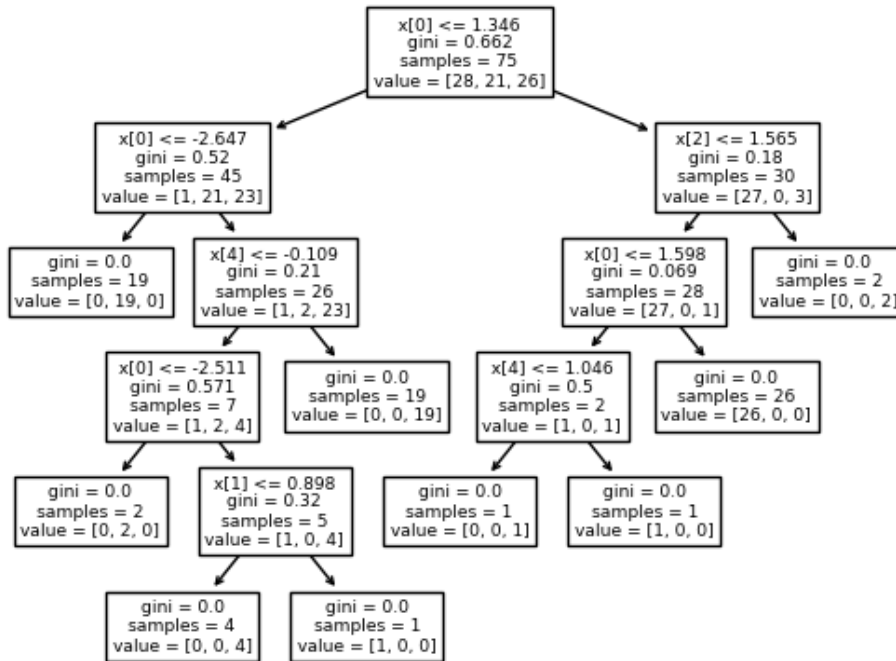


Рис. 9. Побудоване Дерево рішень

Зробивши експерименти для цього датасету, отримали хороші результати та навіть в деяких випадках дійшли точності, яка рівна 100%. В цьому нам допоміг алгоритм PCA, який став дуже корисним у випадку даного датасету.

В результаті досліджень для першого датасету вдалося досягти максимальних точностей, які зображені на Рис. 10.

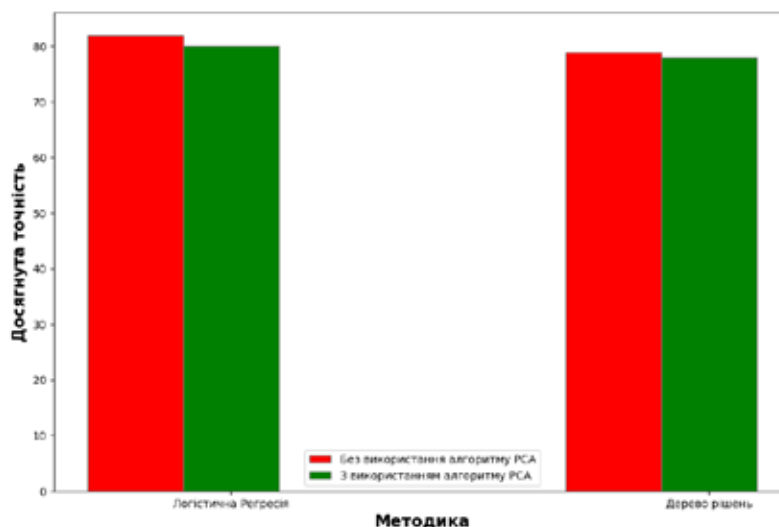


Рис. 10. Стовпчаста діаграма Досягнутої точності для першого датасету

З даної діаграми, бачимо що максимальна точність 82% з використанням біноміальної логістичної регресії. А от з використанням дерева рішень максимальна досягнута точність на тестувальних даних рівна 78%. Також покращувались результати з використання алгоритму PCA з різною кількістю компонент, але в даному випадку не вдалося покращити точність моделі. Бачимо, що для цього так званого двійкового датасету найкращі результати ми отримали використовуючи біноміальну логістичну регресію, оскільки вона безпосередньо моделює ймовірність належності до одного з класів(рак загрожує або ні), а не моделює саму змінну відповіді. Даний метод є дуже корисним у використанні з двійковими даними(коли на виході є два класи), що ми довели на практиці, а також може бути особливо корисним, коли існує нелінійний зв'язок між прогнозами та ймовірністю успіху.

У випадку з другим датасетом вдалося досягти дуже хороших результатів, які візуалізуємо на Рис. 11.

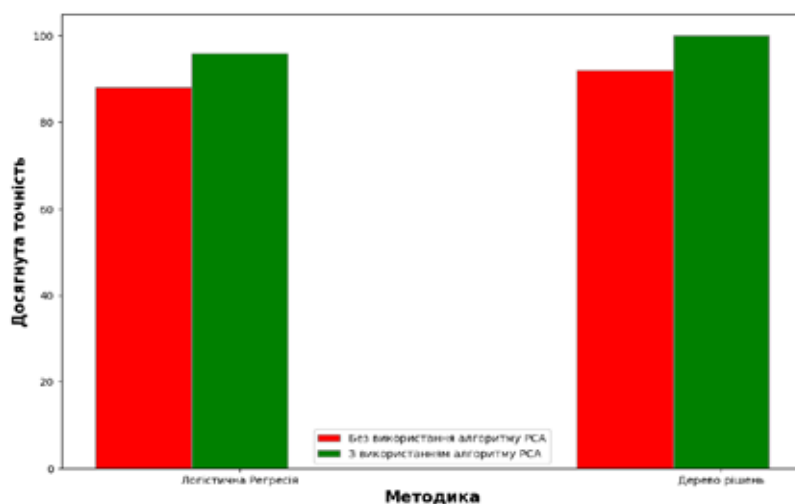


Рис. 11. Стовпчаста діаграма досягнутої точності для другого датасету

Бачимо, що у цьому випадку максимальна точність, яку вдалося досягти рівна 100% на тестовій вибірці. Такий чудовий результат ми отримали завдяки використанню методу дерева рішень з глибиною 7 та використання алгоритму PCA, а от без цього алгоритму точність моделі рівна 92%. В цьому випадку алгоритм PCA значно покращив точність моделі, так як і з використанням методу логістичної регресії, так і дерев рішень. Також була використана мультимедійна логістична регресія, точність якої сягає 88% без використання PCA та 96% з використанням. В результаті були отримані дуже хороші результати з використанням обох методів, але кращих результатів вдалося досягти з використанням методу дерев рішень, оскільки він може фіксувати нелінійні зв'язки між змінними предиктора та змінною відповіді, тоді як логістична регресія передбачає лінійний зв'язок між предикторами та логарифмом шансів змінної відповіді, а також метод дерева рішень є непараметричним методом, тобто він не вимагає припущень щодо розподілу даних або функціональної форми зв'язку між предикторами та змінною відповіді.

Якщо говорити про ефективність алгоритму PCA, то можна сказати що даний метод покращує точність, тоді коли у нас є дані великої розмірності, як це у нас є у випадку другого датасету. А от у випадку першого датасету даний алгоритм не покращує точність моделі, оскільки цей датасет не складається з великої кількості ознак. Під час роботи з даними великої розмірності кількість ознак може бути набагато більшою, ніж кількість спостережень, що може призвести до переобладнання та поганого узагальнення. Зменшуючи розмірність даних за допомогою PCA, модель може зосередитися на найважливіших функціях, що призводить до кращої продуктивності. А також даний алгоритм є корисний у випадку: 1) візуалізації даних, оскільки він може зменшити багатовимірні дані до низьковимірного простору, який можна легко візуалізувати; 2) коли у нас є корельовані функції, тобто коли функції в даних сильно корельовані одна з одною, модель може страждати від мультиколінеарності, що може призвести до нестабільних і неточних оцінок параметрів моделі. PCA може допомогти декорельювати функції та зменшити вплив мультиколінеарності, покращуючи точність моделі; 3) у зменшенні шуму – зменшуючи розмірність даних за допомогою PCA, шум можна видалити, що призводить до чистішого та точнішого представлення даних; 4) прискорення обчислень: іноді зменшення розмірності даних за допомогою PCA може призвести до пришвидшення обчислень, оскільки це зменшує кількість функцій, які потрібно обробити.

Якщо порівнювати дані методи, то важко визначитися, який працює краще, оскільки, як і логістична регресія, так і дерево рішень показали хороші результати. А от який метод вибрати треба дивитися по ситуації, так як бачимо, що у нашому випадку в одному випадку себе краще проявила логістична регресія, а в другому дерева рішень. Так само у випадку використання алгоритму PCA, який у для другого датасету

підвищив точність моделі, а от для першого наоборот трішки знизив. Тому вибір потрібно робити спираючись на обраний датасет. Якщо датасет складається тільки з двох вихідних ознак, то кращі результати може показати біноміальна логістична регресія, а якщо датасет складається з великої кількості вхідних ознак то було б правильно застосовувати алгоритм PCA та використати, як і метод дерев рішень, так і логістично регресію. В загальному обидва методи можуть дати хороші результати.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В даній роботі було проведено дослідження щодо виявлення та прогнозування раку з використанням методів машинного навчання. Проаналізувавши різноманітні літературні джерела та провівши значну кількість експериментів були отримані хороші результати. Для прогнозування онкологій були задіяні два методи машинного навчання – Логістична регресія та Дерево рішень. Завдяки яким була досягнута висока точність, яка сягає з використанням Логістичної регресії 82% та Дерева рішень 78% для першого експерименту та відповідно 96% та 100% для другого. Також був використаний алгоритм PCA, який чудово себе проявив у випадку другого експерименту, де використовувався великий датасет, оскільки він значно підвищив точності моделей приблизно на 8%, а от у випадку першого експерименту, де використовується датасет з малою кількістю ознак покращення точності не відбулося. Завдяки аналізу різних досліджень можна зробити декілька ключових висновків.

По-перше, як алгоритми логістичної регресії, так і алгоритми дерева рішень показали багатообіцяючі результати в прогнозуванні раку. Ці методи машинного навчання використовують потужність аналізу даних і розпізнавання шаблонів, щоб ідентифікувати шаблони та робити точні прогнози.

По-друге, продуктивність моделей логістичної регресії та дерева рішень може відрізнятися залежно від конкретного набору даних і характеру прогнозованого раку. У той час як логістична регресія є широко використовуваним алгоритмом, який можна інтерпретувати, який припускає лінійний зв'язок між предикторами та результатом, дерева рішень є нелінійними та можуть фіксувати більш складні взаємодії між змінними. Тому вибір алгоритму повинен базуватися на конкретних вимогах і особливостях завдання прогнозування раку.

Крім того, методи вибору ознак і попередньої обробки відіграють вирішальну роль у покращенні точності та надійності моделей прогнозування раку. Визначення відповідних функцій і зменшення розмірності може допомогти підвищити продуктивність моделі.

Загалом, застосування методів машинного навчання, зокрема алгоритмів логістичної регресії та дерева рішень, має великі перспективи для прогнозування раку. Ці методи є цінним інструментом для медичних працівників у виявленні осіб із групи ризику та уможливленні раннього втручання та персоналізованих стратегій лікування. Однак необхідні подальші дослідження та перевірка, щоб оптимізувати ці моделі, включити додаткові джерела даних і підвищити їх ефективність у реальних клінічних умовах.

Список використаних джерел:

1. Karthikeyan K., Vengatesan V., Venkatesh V., Prasanna G., Kumar S.S. Machine learning applications in cancer prognosis and prediction: A comprehensive review. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2021. Vol. 19. 1533-1547. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.625>
2. Jenni A.M., Sidey-Gibbons C.J. Machine learning in medicine: a practical introduction. *BMC Medical Research Methodology*. 2019. Vol. 19. No. 64. <https://doi.org/10.1186/s12874-019-0681-4>
3. Kourou K., Exarchos T.P., Exarchos K.P. Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2015. Vol. 13. 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2014.11.005>
4. Li Y., Hu G., Liu L., Xie Y., Xu Z. A performance analysis of dimensionality reduction algorithms in machine learning models for cancer prediction. *Data in Brief*. 2021. Vol. 37. 100125. <https://doi.org/10.1016/j.health.2022.100125>
5. Sayed S. Machine Learning Is The Future Of Cancer Prediction. *Towards Data Science*. 2018. URL: <https://towardsdatascience.com/machine-learning-is-the-future-of-cancer-prediction-e4d28e7e6dfa>.
6. Azar A.S., Rikan S.B., Naemi A. Application of machine learning techniques for predicting survival in ovarian cancer. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2022. Vol. 22. No. 68. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-02087-y>
7. Jaber N. Can Artificial Intelligence Help See Cancer in New, and Better, Ways? *National Cancer Institute*. 2022. URL: <https://www.cancer.gov/news-events/cancer-currents-blog/2022/artificial-intelligence-cancer-imaging>.
8. Mudawi N.A., Alazeb A. A Model for Predicting Cervical Cancer Using Machine Learning Algorithms. *Sensors (Basel)*. 2022. Vol. 22(11). 4132. <https://doi.org/10.3390/s22114132>
9. Kourou K., Exarchos T.P., Exarchos K.P. Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2015. Vol. 13. 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2014.11.005>
10. Yan-yan Y., Lu Y. Decision tree methods: applications for classification and prediction. *Shanghai Archives of Psychiatry*. 2015. Vol. 27. No. 2. 130-135. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.215027>

References:

1. Karthikeyan, K., Vengatesan, V., Venkatesh, V., Prasanna, G., Kumar, S.S. (2021) Machine learning applications in cancer prognosis and prediction: A comprehensive review. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, (19), 1533-1547. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.625>
2. Jenni, A.M., Sidey-Gibbons, C.J. (2019) Machine learning in medicine: a practical introduction. *BMC Medical Research Methodology*, (19(64)). <https://doi.org/10.1186/s12874-019-0681-4>
3. Kourou, K., Exarchos, T.P., Exarchos, K.P. (2015) Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, (13), 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2014.11.005>
4. Li Y., Hu G., Liu L., Xie Y., Xu Z. A performance analysis of dimensionality reduction algorithms in machine learning models for cancer prediction. *Data in Brief*. 2021. Vol. 37. 100125. <https://doi.org/10.1016/j.health.2022.100125>
5. Sayed S. Machine Learning Is The Future Of Cancer Prediction. *Towards Data Science*. 2018. URL: <https://towardsdatascience.com/machine-learning-is-the-future-of-cancer-prediction-e4d28e7e6dfa>.
6. Azar A.S., Rikan S.B., Naemi A. Application of machine learning techniques for predicting survival in ovarian cancer. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2022. Vol. 22. No. 68. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-02087-y>
7. Jaber N. Can Artificial Intelligence Help See Cancer in New, and Better, Ways? *National Cancer Institute*. 2022. URL: <https://www.cancer.gov/news-events/cancer-currents-blog/2022/artificial-intelligence-cancer-imaging>.
8. Mudawi N.A., Alazeb A. A Model for Predicting Cervical Cancer Using Machine Learning Algorithms. *Sensors (Basel)*. 2022. Vol. 22(11). 4132. <https://doi.org/10.3390/s22114132>
9. Kourou K., Exarchos T.P., Exarchos K.P. Machine learning applications in cancer prognosis and prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2015. Vol. 13. 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2014.11.005>
10. Yan-yan Y., Lu Y. Decision tree methods: applications for classification and prediction. *Shanghai Archives of Psychiatry*. 2015. Vol. 27. No. 2. 130-135. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.215027>.

Бойко Н. І., кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри систем штучного інтелекту
Національного університету «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0002-6962-9363

Чорнобай Д. С., студент кафедри систем штучного інтелекту
Національного університету «Львівська політехніка»
ORCID: 0009-0001-8325-5038

ОЦІНЮВАННЯ ЩІЛЬНОСТІ РОЗПОДІЛУ: ТРИ ОСНОВНІ ПІДХОДИ

У роботі було проведено детальний аналіз трьох основних підходів до оцінювання щільності розподілу даних: непараметричного, параметричного та напівпараметричного. Результати цього порівняння вказують на те, що ефективність кожного методу залежить від конкретного контексту та особливостей вхідних даних. Дослідження включало аналіз методів та середовища, що використовуються для оцінювання щільності розподілу. Важливим етапом було визначення набору вхідних даних, який використовується для порівняння методів. Це може включати в себе вибір конкретного датасету та встановлення параметрів, які впливають на результати дослідження. Для проведення порівняльного аналізу було реалізовано тренування та побудовано моделі для оцінювання щільності розподілу з використанням кожного з обраних підходів. Використані бібліотеки, такі як *seaborn*, *numpy*, *pandas*, *matplotlib.pyplot*, *sklearn.datasets*, *sklearn.model_selection*, *scipy.stats*, надали необхідні інструменти для ефективного реалізації та візуалізації результатів. Аналіз включав обчислення середньої щільності та квадратичної помилки для кожного виду ірисів на обраних даних. Це дозволило визначити ефективність кожного методу для конкретного класу даних та вибрати оптимальний підхід. В дослідженні було враховано важливі аспекти, такі як статистична значущість отриманих результатів та стійкість методів до випадкових аномалій чи викидів у даних. Розглядані підходи до оцінювання щільності розподілу також піддавалися перевірці на різних сценаріях, включаючи випадки з нерівномірним розподілом даних, асиметричні розподіли та наявність великої кількості аномалій. Дослідження також зосереджувалося на порівнянні різних метрик якості моделі, таких як середня квадратична помилка. Це дозволяє визначити, наскільки точно кожен метод відтворює реальний розподіл даних та визначає його адекватність для конкретного застосування. Основним висновком дослідження є те, що щільність розподілу даних суттєво залежить від набору даних, особливостей текстів, підходу оцінювання та використаних методів обробки даних. Отже, рекомендації щодо вибору методів та підходів до оцінювання щільності повинні бути адаптовані до конкретної задачі та контексту застосування.

Ключові слова: оцінювання щільності розподілу, непараметричний підхід, параметричний підхід, напівпараметричний підхід, статистика, машинне навчання.

Boyko N. I., Chornobay D. S. Evaluation of distribution density: three main approaches

The study conducted a detailed analysis of three main approaches to density estimation: non-parametric, parametric, and semi-parametric. The results of this comparison indicate that the effectiveness of each method depends on the specific context and characteristics of the input data. The research included an analysis of the methods and the environment used for density estimation. An important step was defining the set of input data used for comparing the methods, which could involve selecting a specific dataset and setting parameters influencing the research outcomes. For the comparative analysis, training was implemented, and models were built for density estimation using each of the chosen approaches. Libraries such as *seaborn*, *numpy*, *pandas*, *matplotlib.pyplot*, *sklearn.datasets*, *sklearn.model_selection*, and *scipy.stats* were employed to provide necessary tools for efficient implementation and visualization of results. The analysis involved calculating the average density and quadratic error for each type of iris on the selected data, allowing the determination of the effectiveness of each method for a specific class of data and the selection of the optimal approach. The study also considered important aspects such as the statistical significance of the obtained results and the robustness of methods to random anomalies or outliers in the data. The considered approaches to density estimation underwent testing in various scenarios, including cases with non-uniform data distribution, asymmetric distributions, and a significant number of anomalies. We note that taking into account the context and purpose of the research is important when choosing the optimal method. For example, if accurate reproduction of distribution characteristics is required for further application in complex analytical tasks, parametric methods may be preferred. On the other hand, nonparametric methods can be useful in cases where the data distribution is difficult to approximate by known functions. The research focused on comparing different metrics of model quality, such as mean squared error, to determine how accurately each method reproduces the real data distribution and assess its adequacy for a specific application. The main conclusion of the study is that the density of data distribution significantly depends on the dataset, text characteristics, the estimation approach, and data process-

ing methods used. Therefore, recommendations for choosing methods and approaches to density estimation should be adapted to the specific task and application context.

Key words: *distribution density estimation, non-parametric approach, parametric approach, semi-parametric approach, statistics, machine learning.*

Вступ. Оцінювання щільності розподілу є важливою задачею в статистиці та машинному навчанні. Вона використовується для аналізу та інтерпретації даних, моделювання складних систем та прогнозування майбутніх подій. У цій роботі ми зосередимось на порівнянні трьох основних підходів до оцінювання щільності розподілу: непараметричного, параметричного та напівпараметричного [1, 3].

Порівняння трьох основних підходів до оцінювання щільності розподілу може допомогти вирішити різні завдання в статистиці та машинному навчанні. Результати цієї курсової роботи можуть бути корисними для студентів та професіоналів [2].

Вивчення різних методів валідації та порівняння оцінок щільності розподілу дозволить зробити об'єктивний висновок про те, який підхід до оцінювання щільності розподілу є найбільш ефективним та точним для конкретних типів даних [5, 10]. Воно може бути корисним для подальшого розвитку статистики та машинного навчання, а також може знайти застосування в різних галузях, де використовуються методи оцінювання щільності розподілу [4].

В рамках цієї роботи розглядалися методи машинного навчання для оцінювання щільності розподілу. Для дослідження цієї теми обиралися різноманітні рішення:

- Непараметричний підхід базується на використанні статистичних методів, які не вимагають апріорного знання про розподіл даних. Цей підхід дозволяє отримувати більш гнучкі та точні оцінки щільності розподілу, але може бути менш ефективним для даних зі складними розподілами.

- Параметричний підхід передбачає використання конкретної моделі розподілу даних та оцінювання її параметрів. Цей підхід може бути більш ефективним для даних зі зрозумілими розподілами, але може бути менш точним, якщо модель недостатньо точно описує даний розподіл.

- Напівпараметричний підхід комбінує властивості непараметричного та параметричного підходів, використовуючи модель з обмеженим числом параметрів, яка може бути дещо більш гнучкою, ніж повна параметрична модель. Цей підхід може бути більш ефективним та точним, ніж непараметричний підхід, але менш точним, ніж повна параметрична модель.

Аналіз останніх джерел. Необхідною умовою був аналіз, якомога більшої кількості джерел, щоб охопити всі створені алгоритми для оцінювання методу щільності розподілу. Нижче буде зазначено декілька найбільш важливих джерел:

Стаття Карлуша та Шінга, одне з перших досліджень оцінки щільності розподілу, порівнює методи згладжування та не згладжування для оцінки щільності розподілу. Вони використовують методи ядерної оцінки та логістичну регресію для оцінки щільності розподілу. У результаті вони дійшли висновку, що методи ядерної оцінки є більш точними для плавних розподілів, тоді як логістична регресія працює краще для негладких розподілів [7].

Ще одним важливим дослідженням є стаття Сільвермана, де автор розглядає метод ядерної оцінки щільності розподілу. Він встановив, що метод ядерної оцінки є оптимальним у тому випадку, коли розподіл є гладким, тоді як у випадку негладкого розподілу цей метод може призвести до значної похибки [9].

Також важливими дослідженнями є статті Холта та Ла Рошель та Джонсона та Котце, де вони порівнюють метод ядерної оцінки з методом парзенівського вікна та методом k-найближчих сусідів відповідно. Обидва дослідження показали, що метод ядерної оцінки є більш точним для гладких розподілів, тоді як метод парзенівського вікна та метод k-найближчих сусідів є більш ефективними для негладких розподілів [10].

В статті "Comparison of Kernel Density Estimation Methods for Bivariate Data" автори порівнюють три основних підходи до оцінювання щільності розподілу: ядерну оцінку, розкладання на суму гаусівських функцій та метод функції гистограми. Згідно з результатами дослідження, метод ядерної оцінки є найточнішим, а метод розкладання на суму гаусівських функцій є найшвидшим. Метод функції гистограми дає менш точні результати, але він простіший у використанні та не вимагає великої обчислювальної потужності [10].

Автори статті "A Comparative Study of Kernel Density Estimation Algorithms" проводять порівняння шести різних методів ядерної оцінки щільності розподілу. Згідно з результатами дослідження, методи з гаусівським ядром є найточнішими, але вони мають високу обчислювальну складність. Метод парзенівського вікна має меншу обчислювальну складність, але його точність зменшується при збільшенні кількості вимірів даних [11].

Отже, **метою дослідження** є порівняння трьох основних підходів до оцінювання щільності розподілу та визначення найбільш ефективного та точного підходу для конкретних типів даних. Для цього ми розглянемо переваги та недоліки кожного з підходів та проаналізуємо їх вплив на результати оцінювання щільності розподілу.

Об'єктом нашого дослідження є оцінювання щільності розподілу.

Виклад основного матеріалу. Математична постановка завдання полягає в порівнянні та оцінці ефективності трьох основних підходів до оцінювання щільності розподілу даних: непараметричного, параметричного та напівпараметричного, а також вивченні різних методів валідації та їх впливу на результати оцінювання щільності розподілу [6, 8].

Для досягнення цієї мети, у роботі будуть реалізовані алгоритми непараметричного, параметричного та напівпараметричного підходів до оцінювання щільності розподілу даних. Для оцінювання ефективності та точності кожного з цих підходів будуть використані відповідні метрики оцінювання [11, 13].

Для непараметричного оцінювання я буду використовувати ядерну оцінку щільності. Ядерна оцінка щільності (англ. kernel density estimation, KDE) – це непараметричний метод оцінювання щільності ймовірності розподілу випадкової величини. Вона дозволяє оцінити щільність розподілу випадкової величини без використання певної параметричної форми щільності розподілу основи набору спостережень [14, 17].

Ідея полягає в тому, що кожне спостереження вносить свій внесок до щільності розподілу, і цей внесок представлений ядром – симетричною функцією відносно нуля. Ядро може бути обраним різними способами, зазвичай використовують гаусівське ядро, але можуть бути використані і інші ядра [12, 19].

Ширина ядра називається параметром згладжування і впливає на гладкість оцінки щільності. Велике значення згладжування призводить до великої гладкості оцінки, але може згладжувати деталі розподілу, тоді як мале значення може призвести до перенавантаження оцінки. Зазвичай, для визначення оптимального значення згладжування використовують методи хрестової перевірки [15, 16].

Математичний опис методу: Ядерною оцінкою для щільності розподілу f за кратною вибіркою $X = (\xi_1, \dots, \xi_n)$ називають функцію (Формула 1):

$$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{j=1}^n K\left(\frac{x - \xi_j}{h}\right) \quad (1)$$

де $K : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ – функція, яку називають ядром (kernel) оцінки, $h > 0$ – число, яке називають параметром згладжування (bandwidth).

Для параметричного оцінювання я використовую гаусівську модель. Гаусівська модель (також відома як нормальна модель) є прикладом параметричного підходу до оцінювання розподілу даних. Вона базується на припущенні, що дані розподілені за нормальним законом. Це означає, що розподіл може бути повністю описаний двома параметрами: середнім значенням та стандартним відхиленням [18].

Для застосування гаусівської моделі до даних потрібно спочатку оцінити значення параметрів розподілу, тобто середнє значення та стандартне відхилення. Це може бути зроблено за допомогою методу максимальної правдоподібності або методом найменших квадратів [2, 14].

Математичний опис методу: Гаусівська модель описується нормальним розподілом, який визначається двома параметрами: середнім значенням (μ) та стандартним відхиленням (σ). Нормальний розподіл має щільність розподілу, яка може бути використана для опису ймовірності певного значення змінної [1, 13].

Щільність гаусівської моделі визначається формулою 2:

$$f(x) = \frac{1}{(\sqrt{2 * \pi * \sigma^2})} * e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2 * \sigma^2}} \quad (2)$$

де x – значення змінної, μ – середнє значення розподілу, σ – стандартне відхилення розподілу, π – число Пі.

Для напівпараметричного оцінювання я використовую локальну логістичну регресію. Локальна лінійна регресія – це метод напівпараметричного оцінювання, який використовується для моделювання залежності між двома змінними. Цей метод є покращенням звичайної лінійної регресії, основаною на мінімізації квадратичної відстані між оціненими значеннями та спостережуваними даними [5, 12].

У локальній лінійній регресії, на відміну від звичайної лінійної регресії, коефіцієнти моделі залежать від кожного окремого спостереження. Кожне спостереження має свій власний набір коефіцієнтів, що дозволяє розглядати нелінійні залежності та динаміку даних.

Основна ідея локальної лінійної регресії полягає в тому, щоб оцінити лінійну функцію регресії в околі кожної точки вхідного датасету. Для цього використовується локальне взважування спостережень. Тобто, в залежності від того, наскільки далеко від точки розглядається спостереження, ці спостереження можуть мати різну вагу в оцінці коефіцієнтів регресії [10, 15].

Математичний опис методу: В локальній лінійній регресії використовуються два параметри: ширина ядра та степінь локальної апроксимації. Ширина ядра контролює розмір локального околу, в якому робиться оцінка регресії, тоді як степінь локальної апроксимації впливає на гладкість функції регресії.

Щоб оцінити щільність розподілу в точці x , спочатку визначається вікно W , яке містить цю точку, і розглядається підвбірка навчальних даних, які належать до цього вікна. Нехай $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ – ці точки, де x_i – вектор ознак, а y_i – цільова змінна.

Тоді модель локальної логістичної регресії полягає в тому, що відносно маленькій локальний вибірковий набір використовується для наближення щільності розподілу. Кожній точці x присвоюється ймовірність належати до класу 1 за допомогою логістичної функції (Формула 3):

$$p(x) = 1 / (1 + \exp(-f(x))), \quad (3)$$

де $f(x)$ – лінійна комбінація відомих функцій x та їх параметрів.

Для аналізу було обрано набір даних з кількістю забитих голів у різних чемпіонатах.

Ці дані можуть бути використані для аналізу ефективності атаки та точності команди в організації атак, а також можуть бути використані для порівняння різних команд та чемпіонатів. Наприклад, порівняння кількості забитих голів та відношення голів до ударів дозволяє оцінити ефективність атакуючої лінії команди, а середня кількість ударів та їх точність може свідчити про якість ударів команди [3, 7].

Крім того, аналізуючи ці дані відносно різних чемпіонатів, можна порівняти ефективність атак різних команд та чемпіонатів та визначити, який з чемпіонатів має найбільш ефективні атаки та найвищу точність в організації атак.

Стовпці містять інформацію про такі показники, як:

- Squad: назва команди
- Comp: чемпіонат, в якому грає команда
- Gls: кількість забитих голів командою в поточному сезоні чемпіонату
- Sh: кількість ударів команди в поточному сезоні чемпіонату
- SoT: кількість ударів команди в ствір воріт в поточному сезоні чемпіонату
- SoT%: відношення кількості ударів в ствір воріт до загальної кількості ударів команди в поточному сезоні чемпіонату, виражене у відсотках
- Sh/90: середня кількість ударів команди за 90 хвилин гри в поточному сезоні чемпіонату
- SoT/90: середня кількість ударів в ствір воріт за 90 хвилин гри в поточному сезоні чемпіонату
- G/Sh: співвідношення кількості забитих голів до кількості ударів команди в поточному сезоні чемпіонату.

Загалом, ця таблиця може бути корисною для футбольних тренерів, аналітиків та фанатів для аналізу ефективності команд та порівняння їх з іншими командами та чемпіонатами.

В якості мови програмування буде використано мову Python.

Для маніпуляції з даними я використовую бібліотеки numpy, pandas, matplotlib:

За допомогою функціоналу бібліотеки seaborn та pandas зчитуємо датасет та виведемо його.

І отримаємо даний результат виконання:

	Squad	Comp	Gls	Sh	SoT	SoT%	Sh/90	SoT/90	G/Sh
0	Ajaccio	Ligue 1	21	289	76	26.3	8.76	2.30	0.05
1	Almer?a	La Liga	42	384	137	35.7	11.64	4.15	0.11
2	Angers	Ligue 1	25	323	108	33.4	9.79	3.27	0.07
3	Arsenal	Premier League	78	540	175	32.4	15.88	5.15	0.14
4	Aston Villa	Premier League	44	386	130	33.7	11.35	3.82	0.11
...
93	Villarreal	La Liga	46	430	156	36.3	13.03	4.73	0.10
94	Werder Bremen	Bundesliga	47	323	123	38.1	10.77	4.10	0.13
95	West Ham	Premier League	36	412	113	27.4	12.12	3.32	0.07
96	Wolfsburg	Bundesliga	52	353	123	34.8	11.77	4.10	0.14
97	Wolves	Premier League	26	379	112	29.6	11.15	3.29	0.06

98 rows x 9 columns

Рис. 1. Приклад набору даних

Для оцінки точності оцінювання щільності розподілу я буду використовувати MSE (середня квадратична помилка).

Математично, MSE обраховується за наступною формулою 4:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

де:

- n – кількість прикладів у наборі даних
- y_i – фактичне значення для i -го прикладу
- \hat{y}_i – прогнозоване значення для i -го прикладу
- Σ – сума по всіх прикладах в наборі даних

В якості непараметричного підходу до оцінювання щільності розподілу буде використано ядерне оцінювання щільності.



Рис. 2. Загальний процес ядерного оцінювання щільності

Після розбиття датасету на тренувальні та навчальні дані та вибору тренувальних даних для кожного чемпіонату окремо можна перейти до ядерного оцінювання щільності розподілу для кожного чемпіонату.

Для того, щоб оцінити середню щільність розподілу для кожного чемпіонату потрібно провести оцінювання щільності розподілу на тестових даних.

Таблиця 1

Середнє значення щільності та значення квадратичної помилки після непараметричного оцінювання для кожного з чемпіонатів

Чемпіонат	Середня щільність	MSE
Premier League	0.01561471517828143	0.9690358935043641
La Liga	0.02561471517828143	0.9500648160376134
Bundesliga	0.02339282465267133	0.9537660902404608
Serie A	0.01950314745805246	0.9614651165339614
Ligue 1	0.01249948401393461	0.9751907450489135

Значення MSE для всіх чемпіонатів знаходяться в діапазоні від 0.9501 до 0.9752. Це свідчить про те, що моделі прогнозування, ймовірно, мають подібну точність і ефективність в усіх чемпіонатах.

Хоч і малі, але відмінності у значеннях MSE можуть вказувати на можливі відмінності в точності прогнозів для різних чемпіонатів. Наприклад, Premier League має найвище значення MSE, що може свідчити про менш точні прогнози для цього чемпіонату порівняно з іншими.

Різні чемпіонати мають різну середню щільність голів. Середня щільність голів для кожного чемпіонату вказує на те, як часто забиваються голи в середньому за матч. Наприклад, Ligue 1 має найнижчу середню щільність голів, що може означати, що команди в цьому чемпіонаті забивають менше голів за матч порівняно з іншими чемпіонатами.

Судячи із зображеного на графіку, можна зробити висновок, що розподіл щільності голів відрізняється для різних чемпіонатів. Графік демонструє щільність розподілу голів для кожного чемпіонату окремо. Як можна побачити, форма розподілу може відрізнитися між чемпіонатами, що свідчить про різну кількість забитих голів командами в цих чемпіонатах.

Premier League та La Liga мають ширший розподіл: Графіки для Premier League та La Liga демонструють ширший розподіл щільності голів порівняно з іншими чемпіонатами. Це може означати, що в цих чемпіонатах команди забивають різну кількість голів, включаючи як високі, так і низькі результати.

Bundesliga та Serie A мають більш стислий розподіл: Графіки для Bundesliga та Serie A показують більш стислий розподіл щільності голів. Це може свідчити про більш однорідний рівень забивання голів командами в цих чемпіонатах.

Графік для Ligue 1 показує найбільш концентрований розподіл щільності голів порівняно з іншими чемпіонатами. Це може означати, що команди в Ligue 1 забивають приблизно однакову кількість голів в середньому.

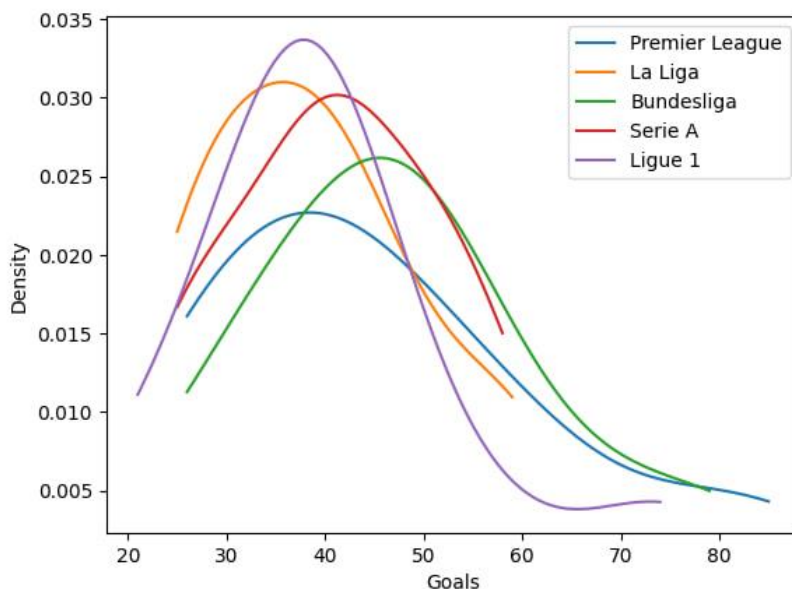


Рис. 3. Графік щільності розподілу для чемпіонатів після непараметричного оцінювання

В якості **параметричного підходу** до оцінювання щільності розподілу буде використана гаусівська модель.

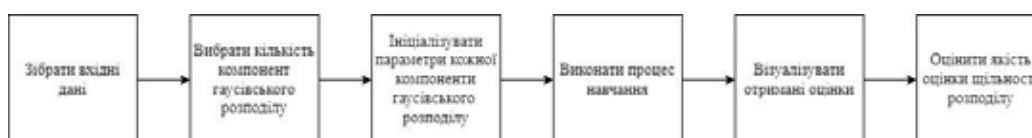


Рис. 4. Загальний процес оцінювання з допомогою гаусівської моделі

Для параметричного підходу ми отримаємо наступний результат, що представлений в Таблиці 2.

Таблиця 2

Середнє значення щільності та значення квадратичної помилки після параметричного оцінювання для кожного з чемпіонатів

Чемпіонат	Середня щільність	MSE
Premier League	0.02273525789271167	2.7989827707412
La Liga	0.02969282465267133	1.3163337269991
Bundesliga	0.02811471517828143	1.7898104858905
Serie A	0.02189948401393461	1.3835093807136
Ligue 1	0.01950314745805246	2.0158633584665

Середні значення щільності для всіх чемпіонатів розташовані у діапазоні від 0.0195 до 0.0297. Це означає, що команди в цих лігах в середньому мають різні рівні концентрації голів, які вони забивають. Найвища середня щільність спостерігається в La Liga, а найнижча – в Ligue 1.

Чим менше значення MSE, тим краще модель підходить для опису даних. Зауважу, що MSE для всіх чемпіонатів є доволі великими значеннями, що свідчить про те, що гаусівська модель не дуже точно апроксимує розподіл даних щодо забитих голів командами.

Проте, можна порівняти значення MSE між різними чемпіонатами для оцінки відносної точності моделі. З цієї точки зору, найкраща апроксимація спостерігається для La Liga, а найгірша – для Premier League.

В якості напівпараметричного підходу до оцінювання щільності розподілу буде використано локальну лінійну регресію.



Рис. 5. Загальний процес оцінювання з допомогою лінійної регресії

Після розбиття набору даних на тренувальні та навчальні дані та вибору тренувальних даних для кожного чемпіонату окремо. Можна перейти до ядерного оцінювання щільності розподілу для кожного чемпіонату.

Для того, щоб оцінити середню щільність розподілу для кожного чемпіонату використовується функція `np.mean()`, яка обчислює середнє арифметичне значення масивів `density_EPL`, `density_LaLiga`, `density_Bundes`, `density_SerieA`, `density_Ligue1`, де зберігається значення щільностей для кожного чемпіонату.

Після виконання коду отримаємо наступний результат, що наведений в Таблиці 3.

Таблиця 3

Середнє значення щільності та значення квадратичної помилки після напівпараметричного оцінювання для кожного з чемпіонатів

Чемпіонат	Середня щільність	MSE
Premier League	0.016898851400602735	1.0000648160376134
La Liga	0.017050323471320117	0.9490358935043641
Bundesliga	0.023228439174188672	0.9637634702404255
Serie A	0.018841238846155775	0.9651907450489135
Ligue 1	0.012864284886784837	0.9914651165339614

Середні значення щільності для різних чемпіонатів розташовані у діапазоні від 0.0129 до 0.0232. Це вказує на різні рівні концентрації голів, які команди забивають у різних лігах. Наприклад, Premier League та La Liga мають подібні середні значення щільності, тоді як Ligue 1 має найнижчу середню щільність серед усіх чемпіонатів.

Значення MSE (середня квадратична помилка) використовується для вимірювання точності моделі локальної лінійної регресії. Чим менше значення MSE, тим краще модель підходить для опису даних. У даному випадку, MSE для різних чемпіонатів мають значення від 0.949 до 1.000. Зрозуміло, що дані моделі локальної лінійної регресії не є дуже точними в описі розподілу щільності голів для команд. Проте, порівнюючи значення MSE між чемпіонатами, можна зробити висновок, що La Liga має найнижче значення MSE, тобто модель краще підходить для цього чемпіонату, а Premier League має найвище значення MSE, що свідчить про меншу точність моделі для цього чемпіонату.

Судячи із зображеного на Рис. 6, можна зробити висновок, що Premier League та Serie A мають схожі розподіли з високим піком в районі 60–70 голів. La Liga та Ligue 1 мають більш розподілені піки навколо 40–50 голів. Bundesliga спостерігається менший пік навколо 30–40 голів.

Premier League та Serie A мають більшу кількість команд, які забивають відносно багато голів у порівнянні з іншими чемпіонатами. La Liga та Ligue 1 мають більш розподілений розподіл голів, що може свідчити про меншу концентрацію команд з високими показниками голів. Premier League та Serie A мають більш концентрований розподіл голів, що може свідчити про більш атакуючу гру та високу результативність.

Отже, давайте підсумуємо усі результати, отримані при виконанні попереднього розділу у Таблиці 4.

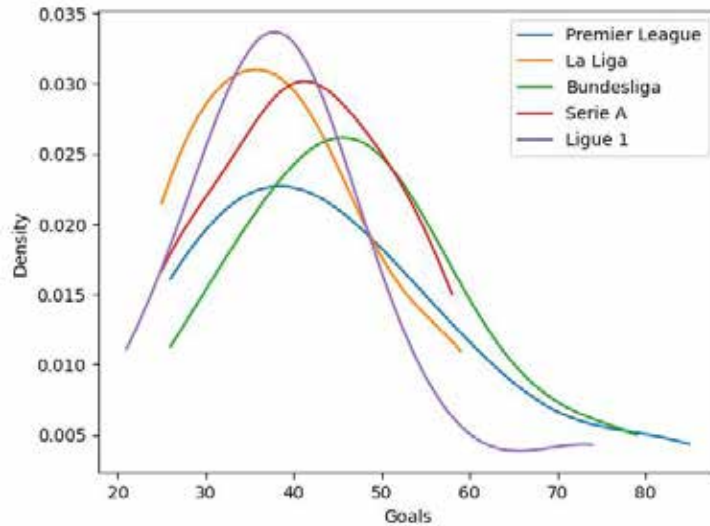


Рис. 6. Графік щільності розподілу для чемпіонатів після напівпараметричного оцінювання

Таблиця 4

Таблиця порівняння квадратичної помилки для різних підходів оцінювання щільності

Метод	MSE для Premier League	MSE для La Liga	MSE для Bundesliga	MSE для Serie A	MSE для Ligue 1
Ядерне оцінювання щільності	0,950064	0,9690358	0,953766	0,9614651	0,9751907
Гаусівська модель	2,7989827	1,3163337	1,7898104	1,3835093	2,0158633
Локальна лінійна регресія	1,0000647	0,9490358	0,9637634	0,9651907	0,99146511

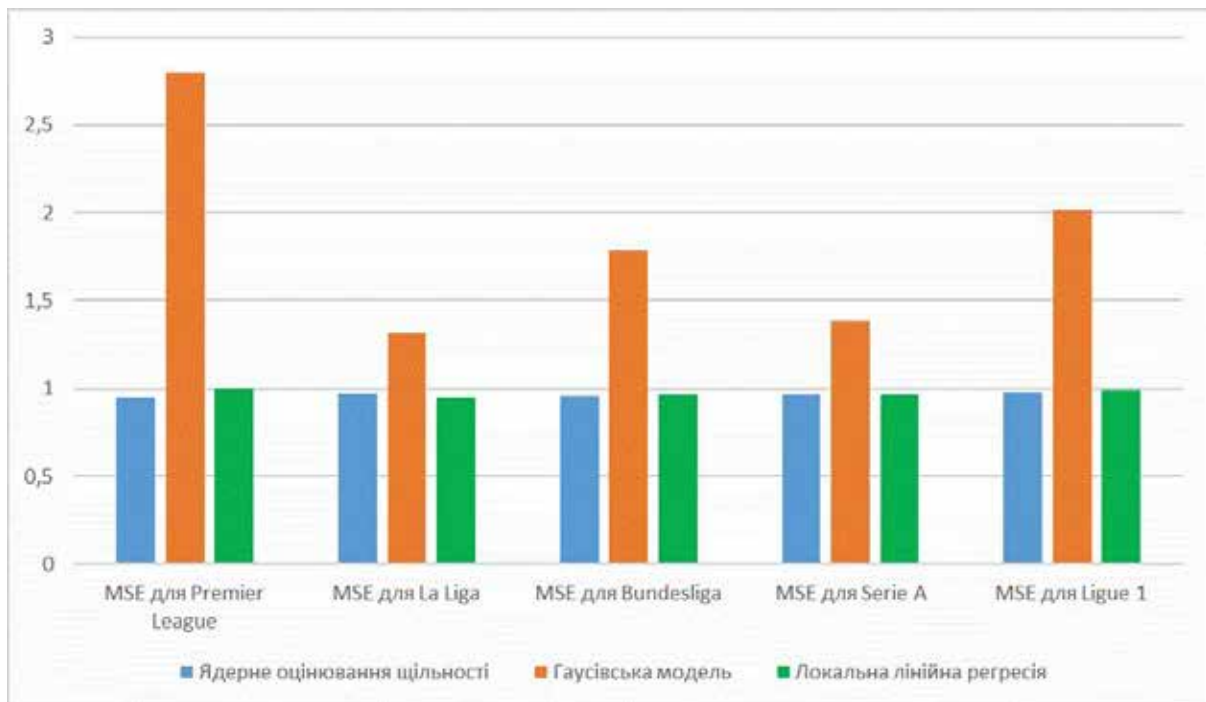


Рис. 7. Графік порівняння квадратичної помилки для різних підходів оцінювання щільності

В Табл. 4 та на Рис. 7 можемо переглянути точність результатів для кожного з підходів в нашому дослідженні. Давайте перейдемо до аналізу отриманих результатів.

Ядерне оцінювання щільності показує найкращі результати з точки зору точності передбачення розподілу даних для всіх п'яти футбольних ліг (Premier League, La Liga, Bundesliga, Serie A, Ligue 1). Його перевагою є його гнучкість і здатність адаптуватися до складних розподілів даних. Значення MSE для ядерного оцінювання щільності є найнижчими, що свідчить про його високу ефективність у моделюванні розподілу даних.

Ядерне оцінювання щільності дозволяє більш гнучко моделювати розподіл даних. Графік щільності, отриманий з використанням цього методу, може бути більш реалістичним та точним відображенням розподілу забитих голів. Цей підхід дозволяє враховувати нелінійні залежності та особливості в даних, а також дозволяє більш гнучко моделювати розподіл та враховувати нелінійні залежності.

Гаусівська модель має значно вищі значення MSE порівняно з ядерним оцінюванням щільності для всіх футбольних ліг. Це може свідчити про обмежену гнучкість гаусівської моделі при моделюванні складних розподілів даних. Також цей підхід передбачає, що дані мають мати гаусівський розподіл. Проте, у датасетах можуть бути складніші та нелінійні залежності, які не можуть бути адекватно відтворені гаусівською моделлю. Це може пояснити вищі значення MSE для гаусівської моделі у порівнянні з ядерним оцінюванням щільності.

Локальна лінійна регресія показує прийнятні результати з точки зору точності передбачення розподілу даних. Вона здатна враховувати локальні варіації та нелінійні залежності у розподілі даних, але її результати не настільки точні, як у випадку з ядерним оцінюванням щільності. Це може бути пов'язано з обмеженнями лінійної моделі при моделюванні складних та нелінійних залежностей у датасетах.

Локальна лінійна регресія враховує нелінійні залежності та може допомогти виявити особливості розподілу забитих голів. Цей метод дає можливість зосередитися на локальних особливостях даних та виявити нелінійні закономірності. Однак, результати локальної лінійної регресії можуть залежати від вибору параметрів, таких як ширина вікна, і невірний вибір може призвести до недооцінки або переоцінки залежностей в даних. Крім того, локальна лінійна регресія може бути більш чутлива до шуму та випадкових відхилень в даних, що може призвести до менш точних результатів.

У порівнянні всіх трьох методів, ядерне оцінювання щільності видається найефективнішим для моделювання розподілу даних. Воно дозволяє отримати більш точні результати та краще апроксимує реальний розподіл даних.

Висновки. В даній роботі було проведено дослідження та оцінку трьох основних підходів до оцінювання щільності розподілу. Загальна мета роботи полягала у встановленні переваг та обмежень кожного підходу з метою визначення найбільш ефективного методу для оцінювання щільності розподілу.

Перший підхід, що був розглянутий, – непараметричний, а саме ядерне оцінювання щільності. Непараметричні методи ґрунтуються на прямому оцінюванні щільності розподілу без явного використання параметрів. Під час дослідження було встановлено, що ці методи добре справляються з моделюванням складних та нелінійних розподілів, але вони мають певні обмеження, такі як велика обчислювальна складність та проблема вибору оптимальної гладкості ядра.

Другий підхід, що був розглянутий, – параметричний метод, а саме гаусівська модель. Ці методи передбачають припущення щодо функціональної форми розподілу та оцінюють його параметри. Під час дослідження було встановлено, що ці методи ефективні та мають низьку обчислювальну складність, але вони можуть неправильно працювати, якщо припущення про розподіл неправильні або якщо розподіл має складну структуру.

Третій підхід, що був розглянутий, – напівпараметричний, а саме локальна лінійна регресія. Напівпараметричні методи поєднують переваги непараметричних та параметричних методів, дозволяючи моделювати складні розподіли з використанням обмеженої кількості параметрів. Під час дослідження було встановлено, що ці методи є гнучкими та ефективними, але вони можуть бути чутливі до вибору параметрів та складності моделі.

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що вибір підходу до оцінювання щільності розподілу залежить від конкретної задачі та вимог дослідника. Для моделювання складних розподілів рекомендується використовувати непараметричні методи, для простих розподілів з відомою функціональною формою – параметричні методи, а для досягнення балансу між гнучкістю та обчислювальною ефективністю – напівпараметричні методи.

Для подальших досліджень можна розглянути нові методи оцінювання щільності розподілу, які комбінують переваги різних підходів. Також, можливо, розширити область застосування оцінювання щільності розподілу на реальні дані та провести порівняльний аналіз різних методів з використанням метрик ефективності.

Список використаних джерел:

1. Al-Saaidy H.J.E., Alobaydi D. Studying street centrality and human density in different urban forms in Baghdad. *Iraq. Ain Shams Eng J.* 2021. Vol. 12(1). P. 1111–1121.
2. Anderson W., Guikema S., Zaitchik B., Pan W. Methods for estimating population density in data-limited areas: evaluating regression and tree-based models in Peru. *PLOS.* 2014. Vol. 9(7). P. 1–15.

3. Angel S., Arango Franco S., Liu Y., Blei A.M. The shape compactness of urban footprints. *Prog Plann.* 2020. Vol. 139. P.100429.
4. Angel S., Lamson-Hall P., Blanco Z.G. Anatomy of density: measurable factors that together constitute urban density. *Buildings and Cities.* 2021. Vol. 2(1). P. 264–282.
5. Boyko C.T., Cooper R. Clarifying and re-conceptualising density. *Prog Plann.* 2011. Vol. 76(1). P. 1–61.
6. Brunsdon C., Fotheringham A.S., Charlton M.E. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geogr. Anal.* 2010. Vol. 28(4). P. 281–298. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>
7. Credit K. Spatial models or random forest? Evaluating the use of spatially explicit machine learning methods to predict employment density around new transit stations in Los Angeles. *Geog Anal.* 2022. Vol. 54(1). P. 58–83.
8. Dovey K., Pafka E. The urban density assemblage: modelling multiple measures. *Urban Des Int.* 2014. Vol. 19(1). P. 66–76.
9. Ehrlich D., Kemper T., Pesaresi M., Corbane C. Built-up area and population density: two essential societal variables to address climate hazard impact. *Environ Sci Policy.* 2018. Vol. 90. P. 73–82.
10. Faour G. Evaluating urban expansion using remotely-sensed data in Lebanon. *Leban. Sci. J.* 2015. Vol. 16(1). P. 23–32.
11. Georganos S., Grippa T., Niang Gadiaga A., Linard C., Lennert M., Vanhuyse S., Mboga N., Wolff E., Kalogirou S. Geographical random forests: a spatial extension of the random forest algorithm to address spatial heterogeneity in remote sensing and population modelling. *Geocarto International.* 2021. Vol. 36(2). P. 121–136.
12. Guastella G., Oueslati W., Pareglio S. Patterns of urban spatial expansion in European cities. *Sustainability (Switzerland).* 2019. Vol. 11(8). P. 2247.
13. Güneralp B., Zhou Y., Ürge-Vorsatz D., Gupta M., Yu S., Patel P.L., Fragkias M., Li X., Seto K.C. Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2017. Vol. 114(34). P. 8945–8950.
14. Jongman B., Ward P.J., Aerts J.C.J.H. Global exposure to river and coastal flooding: long term trends and changes. *Global Environ Change.* 2012. Vol. 22(4). P. 823–835.
15. McFarlane C. The geographies of urban density: topology, politics and the city. *Prog Human Geogr.* 2016. Vol. 40(5). P. 629–648.
16. Rodriguez-Galiano V., Sanchez-Castillo M., Chica-Olmo M., Chica-Rivas M. Machine learning predictive models for mineral prospectivity: an evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geol Rev.* 2015. Vol. 71. P. 804–818.
17. Shang S., Du S., Zhu S. Estimating building-scale population using multi-source spatial data. *Cities.* 2021. Vol. 111. P. 103002.
18. Sharifi A. Resilient urban forms: a review of literature on streets and street networks. *Build Environ.* 2019. Vol. 147. P. 171–187.
19. Talebi H., Peeters L.J.M., Otto A., Tolosana-Delgado R. A truly spatial random forests algorithm for geoscience data analysis and modelling. *Math Geosci.* 2022. Vol. 54(1). P. 1–22.

References:

1. Al-Saaidy, H.J.E., Alobaydi, D. (2021). Studying street centrality and human density in different urban forms in Baghdad. *Iraq. Ain Shams Eng J*, 12(1), 1111–1121.
2. Anderson, W., Guikema, S., Zaitchik, B., Pan, W. (2014). Methods for estimating population density in data-limited areas: evaluating regression and tree-based models in Peru. *PLOS*, 9(7), 1–15.
3. Angel, S., Arango Franco, S., Liu, Y., Blei, A.M. (2020). The shape compactness of urban footprints. *Prog Plann*, 139, 100429.
4. Angel, S., Lamson-Hall, P., Blanco, Z.G. (2021). Anatomy of density: measurable factors that together constitute urban density. *Buildings and Cities*, 2(1), 264–282.
5. Boyko, C.T., Cooper, R. (2011). Clarifying and re-conceptualising density. *Prog Plann*, 76(1), 1–61.
6. Brunsdon, C., Fotheringham, A.S., Charlton, M.E. (2010). Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geogr. Anal.*, 28(4), 281–298. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>
7. Credit, K. (2022). Spatial models or random forest? Evaluating the use of spatially explicit machine learning methods to predict employment density around new transit stations in Los Angeles. *Geog Anal*, 54(1), 58–83.
8. Dovey, K., Pafka, E. (2014). The urban density assemblage: modelling multiple measures. *Urban Des Int*, 19(1), 66–76.
9. Ehrlich, D., Kemper, T., Pesaresi, M., Corbane, C. (2018). Built-up area and population density: two essential societal variables to address climate hazard impact. *Environ Sci Policy*, 90, 73–82.
10. Faour, G. (2015). Evaluating urban expansion using remotely-sensed data in Lebanon. *Leban. Sci. J*, 16(1), 23–32.

-
11. Georganos, S., Grippa, T., Niang Gadiaga, A., Linard, C., Lennert, M., Vanhuysse, S., Mboga, N., Wolff, E., Kalogirou, S. (2021). Geographical random forests: a spatial extension of the random forest algorithm to address spatial heterogeneity in remote sensing and population modelling. *Geocarto International*, 36(2), 121–136.
 12. Guastella, G., Oueslati, W., Pareglio, S. (2019). Patterns of urban spatial expansion in European cities. *Sustainability (Switzerland)*, 11(8), 2247.
 13. Güneralp, B., Zhou, Y., Ürge-Vorsatz, D., Gupta, M., Yu, S., Patel, P.L., Fragkias, M., Li, X., Seto, K.C. (2017). Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 114(34), 8945–8950.
 14. Jongman, B., Ward, P.J., Aerts, J.C.J.H. (2012). Global exposure to river and coastal flooding: long term trends and changes. *Global Environ Change*, 22(4), 823–835.
 15. McFarlane, C. (2016). The geographies of urban density: topology, politics and the city. *Prog Human Geogr*, 40(5), 629–648.
 16. Rodriguez-Galiano, V., Sanchez-Castillo, M., Chica-Olmo, M., Chica-Rivas, M. (2015). Machine learning predictive models for mineral prospectivity: an evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines. *Ore Geol Rev*, 71, 804–818.
 17. Shang, S., Du, S., Zhu, S. (2021). Estimating building-scale population using multi-source spatial data. *Cities*, 111, 103002.
 18. Sharifi, A. (2019). Resilient urban forms: a review of literature on streets and street networks. *Build Environ*, 147, 171–187.
 19. Talebi, H., Peeters, L.J.M., Otto, A., Tolosana-Delgado, R. (2022). A truly spatial random forests algorithm for geoscience data analysis and modelling. *Math Geosci*, 54(1), 1–22.

УДК 004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.5>

Зацерковний Р. Г., доктор філософії,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID: 0000-0001-6991-2866

Бабич В. І., старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID: 0000-0003-1996-9332

Плеша М. І., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID: 0000-0001-5321-9602

Хмілярчук Л. І., старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID: 0000-0002-1753-6472

Швець О. М., кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Львівського торговельно-економічного університету
ORCID: 0000-0002-7175-2256

СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АРІ ПРИ ВИСОКИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

В основах багатьох сучасних комп'ютерних систем лежать інтерфейси прикладного програмування, або АРІ (Application Programming Interface). Інтерфейси прикладного програмування слугують мостом між різними елементами комп'ютерних систем, дозволяючи їм спілкуватися, взаємодіяти між собою та безперешкодно обмінюватися даними. Фактично АРІ – набір протоколів, інструментів і визначень, які дозволяють різним програмам інтегруватись між собою, а також надають розробникам можливість отримати доступ до певних програмних функцій або наборів даних.

Важливим завданням в процесі розробки АРІ є забезпечення їх коректної роботи в умовах високих навантажень. АРІ можуть мати сотні, тисячі і навіть мільйони користувачів, для яких важливе забезпечення стійкості, масштабованості і надійності цих програмних засобів. Система, не є надійним чином протестована в умовах високих навантажень, може зазнати краху у випадку, якщо велика кількість користувачів захоче водночас використати один і той самий метод АРІ, або отримати схожі дані. Така система також буде менш стійкою від DDoS-атак – видів хакерських атак, що “засмічують” комп'ютерну систему великою кількістю запитів, фактично блокуючи доступ до неї для реальних користувачів.

У цій статті представляється дослідження та розробка системи тестування, створеної для оцінки продуктивності АРІ. В основі системи лежить Locust, інструмент для тестування продуктивності програм з відкритим програмним кодом. Цей інструмент призначений для моделювання та аналізу поведінки різноманітних додатків при навантаженні великою кількістю користувачів. Розроблена система тестування продуктивності використовує можливості Locust для того, щоб ретельно вивчити стійкість АРІ-системи у реальному сценарії. Вона детально тестує локальну версію АРІ, навантажуючи її так звані “роєм” віртуальних користувачів. Після цього Locust збирає дані про продуктивність АРІ – кількість успішних та помилкових запитів; мінімальний, максимальний та середній час обробки запиту; а також детальний звіт, який може бути використаний для подальшого аналізу результатів. Отримані в результаті такого дослідження дані сприяють розумінню і, в подальшому, покращенню якості роботи АРІ, пропонуючи цінні рекомендації щодо оптимізації продуктивності програми та виявлення “вузьких місць” (bottlenecks) у програмному коді.

Ключові слова: АРІ (Application Programming Interface), тестування, тестування продуктивності, навантажувальне тестування, Locust.

Zatserkovnyi R. G., Babych V. I., Plesha M. I., Khmilyarchuk L. I., Shvets O. M. A system to evaluate the robustness of an API under high loads

Many modern computer systems extensively use application programming interfaces, or APIs. APIs serve as a bridge between different elements of computer systems, allowing them to communicate, interact with each other, and exchange data

© Р. Г. Зацерковний, В. І. Бабич, М. І. Плеша, Л. І. Хмілярчук, О. М. Швець, 2023

seamlessly. Formally, an API is a set of protocols, tools, and definitions that allow different programs to integrate with each other, and provide developers with the ability to access certain software functions or data sets.

An important task in the process of developing APIs is to ensure their correct operation under high loads. APIs can have hundreds, thousands, and even millions of users, for whom it is important to ensure the stability, scalability, and reliability of these software tools. A system that has not been reliably tested under high load conditions may fail if a large number of users want to use the same API method or retrieve similar data at the same time. Such a system will also be less resistant to DDoS attacks, a type of malicious hacker attack that "clogs" a computer system with a large number of requests, effectively blocking access to it for legitimate users.

This article presents the research and development of a testing system designed to evaluate API performance. The system is based on Locust, an open-source tool for testing software under high loads. The tool is designed to model and analyze the behavior of various applications when facing a large number of users. Our performance testing system uses the capabilities of Locust to thoroughly study the stability of the API system in a real-world scenario. It tests a locally running version of an API in detail by loading it with a so-called "swarm" of virtual users. After this process is complete, Locust collects data on the performance of an API – number of successful and failed requests; minimum, maximum, and average request processing time; as well as a detailed report that can be used for further analysis of the results. The data obtained as a result of such an analysis contributes to understanding and, subsequently, improving the quality of API performance, offering valuable recommendations for optimizing application performance and identifying bottlenecks in code.

Key words: API (Application Programming Interface), testing, performance testing, load testing, Locust.

Постановка проблеми. В основах багатьох сучасних комп'ютерних систем лежать інтерфейси прикладного програмування, або API (Application Programming Interface). Інтерфейси прикладного програмування слугують мостом між різними елементами комп'ютерних систем, дозволяючи їм спілкуватися, взаємодіяти між собою та безперешкодно обмінюватися даними. Фактично API – набір протоколів, інструментів і визначень, які дозволяють різним програмам інтегруватися між собою, а також надають розробникам можливість отримати доступ до певних програмних функцій або наборів даних. Крім того, API полегшують інтеграцію різноманітних додатків, дозволяючи розробникам інтегрувати дані з різних зовнішніх джерел. За версією Postman, до найпопулярніших API належать засоби системи керування взаємовідносин з користувачами Salesforce, нотатника Notion, та месенджера WhatsApp [1].

Важливим завданням в процесі розробки API є забезпечення їх коректної роботи в умовах високих навантажень. API можуть мати сотні, тисячі і навіть мільйони користувачів, для яких важливе забезпечення стійкості, масштабованості і надійності цих програмних засобів. Система, яка не є надійним чином протестована в умовах високих навантажень, може зазнати краху у випадку, якщо велика кількість користувачів захоче водночас використати один і той самий метод API, або отримати схожі дані. Така система також буде менш стійкою від DDoS-атак – видів хакерських атак, що "засмічують" комп'ютерну систему великою кількістю запитів, фактично блокуючи доступ до неї для реальних користувачів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні у низці досліджень описана процедура тестування API, або ж запропоновані нові ідеї та системи. У статті [3], представлено запропонований інструмент автоматизованого тестування API, а також проведено огляд літератури з автоматизованого тестування API. Автори статті [4] наводять систематичний огляд літератури, пов'язаної з тестуванням API. В процесі було знайдено та класифіковано різноманітні проблеми та рішення, пов'язані з тестуванням RESTful API (API, що призначені для Web і дотримуються набору певних стандартів) та створенням модульних тестів. Повертаючись до тестування комп'ютерних систем під великим навантаженням, в статті [5] описано особливий підхід до такого тестування. Автори аналізують журнали виконання програми (лог-файли), щоб виявити "нормальну" поведінку програми і, відповідно, незвичну, аномальну поведінку. Деякі автори описують процес тестування конкретних програмних систем – наприклад, автори у своїй роботі [6] застосовують методологію load testing (тестування з навантаженням) для перевірки програмно-визначених мережевих контролерів (SDN). Однак слід зазначити, що в дослідженнях рідко зустрічається тестування API власне на предмет стійкості в умовах високих навантажень.

Мета статті – дослідження та розробка системи тестування, створеної для оцінки продуктивності API. В основі системи лежить Locust, інструмент для тестування продуктивності програм з відкритим програмним кодом.

Виклад основного матеріалу. Багато видів комп'ютерного тестування стосуються перевірки окремих аспектів поведінки системи за різних умов. До таких видів відноситься *тестування продуктивності* (performance testing), т. зв. *навантажувальне тестування* (load testing), а також *стрес-тестування* (stress testing). Усі ці види тестування є невід'ємними частинами методології тестування програмного забезпечення, однак вони фокусуються на різних рівнях навантаження системи.

Тестування продуктивності оцінює роботу системи з точки зору продуктивності, швидкості відгуку, стабільності та масштабованості під очікуваним робочим навантаженням. Його основна мета – переконатися, що система відповідає заданим критеріям продуктивності. Тестування продуктивності може виконуватись в умовах, що близькі до стандартного рівня завантаженості системи. Однак окремі підтипи цього тестування – наприклад, навантажувальне тестування та стрес-тестування – фактично перевантажують комп'ютерну систему.

Навантажувальне тестування зосереджується на вивченні поведінки системи під впливом деякої заданої кількості одночасних користувачів, транзакцій або обсягів даних. Воно спрямоване на моделювання різноманітних сценаріїв використання системи, визначення її реальної пропускну здатності та обчислення ресурсів, які використовує система під деякими навантаженнями. Основна увага приділяється розумінню того, як система поводить себе в пікових умовах, щоб переконатися, що вона може впоратися з високим навантаженням без значного погіршення продуктивності.

Стрес-тестування виходить за рамки навантажувального тестування, виводячи систему на межі її можливостей, фактично задаючи кількість одночасних запитів, на який вона не розрахована. Мета такого завідомо “провального тестування” – виявити точку зламу або граничні межі системи, і зрозуміти її поведінку при перевантаженні. Навантажувальне тестування допомагає виявити вразливості або слабкі місця, які можуть призвести до збою системи за надзвичайних обставин, таких як раптові сплески активності користувачів або ресурсів. Крім того, воно перевіряє, чи система адекватно реагує на перевантаження, належним чином відновлюється після перевантаження.

У випадку нашої системи найбільш актуальними видами тестування є тестування продуктивності (performance testing), а також навантажувальне тестування (load testing). Інакше кажучи, нас цікавить оцінювання швидкості роботи системи в цілому, а також перевірка роботи системи з кількістю користувачів, близькою до реальної. Більшість програмного забезпечення, і наша система в тому числі, покрита модульними тестами (unit tests) або інтеграційними тестами (integration tests), що перевіряють коректність та адекватність окремих елементів системи або ж усієї системи в цілому. Однак такі тести не можуть всебічно оцінити роботу системи з високою кількістю користувачів, адже зазвичай вони не паралелізовані і працюють лише з одним запитом водночас. Це і зумовлює необхідність розробки тестів з великою кількістю користувачів.

Для розробки тестів, що стосуються продуктивності, використовується середовище Locust. Ця комп’ютерна система – це інструмент для тестування продуктивності з відкритим вихідним кодом, призначений для оцінки масштабованості та продуктивності веб-додатків і API. Його основна мета – імітувати та генерувати різноманітні навантаження на систему, щоб проаналізувати, як системи поведуться в умовах високого трафіку. На відміну від багатьох традиційних інструментів навантажувального тестування, Locust дозволяє створювати тестові сценарії не за допомогою складних файлів конфігурації, а на основі коду на Python, що робить цей інструмент дуже гнучким і легким у налаштуванні.

Зазвичай навантажувальним тестуванням рекомендується проводити на локальних або тестових версіях комп’ютерної API-системи, щоб не навантажувати реальну систему без нагальної потреби. Припустимо, що такий API запущений на локальній машині, точніше, на хості localhost та порті 80 – традиційному розташуванні для веб-серверів. Наступним кроком у тестуванні є інсталювання locust, і тут є два способи: за допомогою Pip, засобу для керування модулями на мові програмування Python:

```
pip3 install locust
```

Або ж за допомогою Docker – платформи, яка спрощує процес керування різноманітними додатками, “запаковуючи” програмну компоненту та усі її залежності в так званій “контейнер”:

```
docker pull locustio/locust
```

Наступним кроком роботи з платформою Locust є розробка тестового файлу, що визначає поведінку користувачів. Така поведінка визначається у звичайному коді Python (в більшості схожих засобів тестування продуктивності використовується “domain-specific language” – особлива мова програмування, актуальна лише для роботи з конкретним засобом). Оскільки тестові файли є простими Python-файлами, для їх розробки можна використовувати будь-який зручний IDE (Visual Studio Code, PyCharm і т. д.), а для контролю їх версій – стандартну систему Git.

За версією документації Locust [8] приклад тестового файлу виглядає наступним чином:

```
import time
from locust import HttpUser, task, between
class QuickstartUser(HttpUser):
    wait_time = between(1, 5)
    @task
    def hello_world(self):
        self.client.get("/hello")
        self.client.get("/world")
    @task(3)
    def view_items(self):
        for item_id in range(10):
            self.client.get(f"/item?id={item_id}", name="/item")
            time.sleep(1)
    def on_start(self):
        self.client.post("/login", json={"username": "foo", "password": "bar"})
```

Як бачимо, тестовий файл є звичайним скриптом на мові програмування Python. Тому він може використовувати довільний код з будь-яких модулів, зовнішніх або вбудованих – наприклад, бібліотеку `time`. Клас `QuickstartUser` є похідним від `HttpUser`, і це вказує на те, що він здатний надсилати HTTP-запити до API або будь-якої іншої комп'ютерної системи, яку потрібно протестувати.

Рядок `wait_time = between(1, 5)` вказує на те, що інтервал між запитами, які надсилає система, обирається довільним чином в діапазоні від 1 до 5 секунд. (Це фактично симуляція поведінки реальних користувачів. Зазвичай в проміжку між різними запитами вони деякий час переглядають отриману ними інформацію, а не постійно навантажують систему.) Метод `on_start` викликається при створенні кожного віртуального користувача. А методи з анотацією `@task` – це програмний код, який запускається у так званому “грінлеті”. Грінлет – це засіб асинхронного програмування в Python, що дозволяє водночас виконувати велику кількість завдань в програмному коді [9]. Таким чином, у прикладі з документації Locust два завдання: `hello_world`, що надсилає два статичні запити в кінцеві точки `hello` і `world`, та `view_items`, який надсилає десять запитів в кінцеву точку `item` з різноманітними значеннями параметру `item_id`.

Процедура виконання тестового файлу наступна: Locust створює деяку кількість віртуальних користувачів, яка зазначається в процесі виконання. Для кожного користувача спершу викликається метод `on_start`, а потім випадковим чином викликаються описані нами завдання, `hello_world` або `view_items`. В анотації методу `view_items` фігурує число 3 – це означає, що такий метод вибиратиметься втричі частіше, ніж зазвичай. Програма завершує роботу, коли вона вручну зупиняється користувачем, але можна задати і автоматичний критерій для її зупинки – наприклад, максимальну кількість запитів або максимальний час роботи. Приклад команди, що запускає Locust, наступний:

```
locust -f test.py --host localhost:80 --users 50 --spawn-rate 1 --headless -t 30m
```

Параметри цієї команди розшифровуються таким чином:

- `-f test.py` – розташування тестового файлу мовою Python, що визначає поведінку програми в цілому.
- `--host localhost:80` – місце розташування API, який тестується Locust.
- `--users 50` – кількість віртуальних користувачів, яких створить Locust. В даному випадку таких користувачів 50. Тобто водночас 50; цей процес, як було згадано раніше, організовується за допомогою так званих “грінлетів”.

- `--spawn-rate 1` – швидкість створення користувачів. Locust починає з нуля, а потім додає користувачів зі швидкістю, яка залежить від `spawn-rate`. Число-значення параметру – кількість нових користувачів, що створюються щосекунди.

- `--headless` – параметр означає, що працює в режимі консольного додатку, а не web-інтерфейсу. Це дуже зручно у випадку, якщо потрібно автоматизувати роботу Locust, оскільки за замовчуванням його необхідно запускати вручну, з використанням спеціального сайту.

- `-t 30m` – критерій для завершення роботи програми. В даному випадку `t` вказує на те, що цей критерій – час (time), а `30m` – на його тривалість, 30 хвилин.

У випадку прикладу документації, Locust завжди викликає одні і ті самі кінцеві точки API: `hello`, `world`, `item` з різноманітними ідентифікаторами, та `login` на початку роботи кожного користувача. Але зустрічаються випадки, коли потрібно повторювати саме ті запити, які використовують реальні користувачі – і в цьому випадку такий підхід не діятиме, оскільки в запитів бувають різні варіації та низка можливих параметрів. В такому випадку ми можемо використати метод відбору зразків, щоб точніше протестувати API, використовуючи зразки реальних запитів користувачів. Нехай низка запитів від користувачів – точніше кажучи, точні адреси кінцевих точок, до яких вони звертались – зібрані у файлі `sample.csv`. Тоді Python-файл може бути видозмінений таким чином:

```
from locust_plugins.csvreader import CSVReader
from locust import HttpUser, task, between
class CSVUser(HttpUser):
    wait_time = between(1, 5)
    csv_reader = CSVReader("sample.csv")
    @task
    def advance_through_csv(self):
        next_url = next(csv_reader)
        self.client.get(str(next_url[0]))
    def on_start(self):
        self.client.post("/login", json={"username": "foo", "password": "bar"})
```

У цьому прикладі Locust не звертатиметься до статичних кінцевих точок, а читуватиме дані з CSV-файлу. Таким чином, тестувальники можуть довільним чином змінювати кінцеві точки, які тестує засіб, без будь-якої зміни тестового файлу, що є зручним в умовах неперервної інтеграції (Continuous Integration).

Після завершення роботи очевидним наступним кроком є аналіз отриманих результатів. Для цього використовується параметр під назвою `csv`. У випадку задання цього параметру з деяким значенням – наприклад, `--csv=sample` – після завершення роботи Locust створить чотири файли: `sample_stats.csv`, `sample_failures`.

csv, *sample_exceptions.csv* та *sample_stats_history.csv*. Вміст першого файлу – статистика щодо результатів тестів на продуктивність: кількість усіх запитів, невдалих запитів, статистичні дані щодо тривалості запитів тощо. Другий та третій файли стосуються невдалих запитів або ж винятків у самому Locust. А останній файл – історія статистики, яка вказує на те, як різноманітні статистичні дані змінюються в процесі роботи програми [10]. Окремі статистичні дані можна виокремити та зберегти, зчитуючи рядки CSV-файлу. Він міститиме дані, що стосуються кожної кінцевої точки API, а також для усього тесту в цілому. Наприклад, файл *sample_stats.csv* можливо розшифрувати таким чином:

```
with open("sample_stats.csv", "r") as sample_stats:
    last_line = sample_stats.readlines()[-1].split(",")
    total_requests = final_line[2]
    failed_request = final_line[3]
    median_runtime = final_line[4]
    average_runtime = final_line[5]
    minimum_runtime = final_line[6]
    maximum_runtime = final_line[7]
    requests_per_second = final_line[9]
```

В подальшому дані, отримані таким чином, можна представити кінцевому користувачеві у зручно оформленому вигляді:

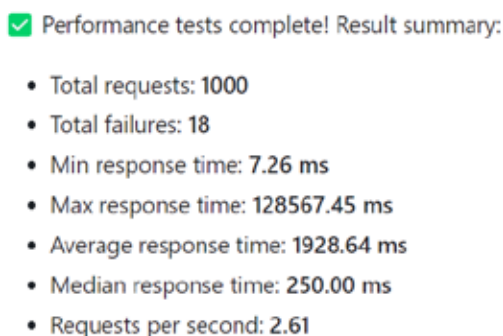


Рис. 1. Приклад подання результатів роботи тестів продуктивності на основі Locust.

Крім роботи в режимі консолі, Locust дозволяє працювати за допомогою візуального інтерфейсу. За замовчуванням цей інтерфейс є активним і розміщений за адресою `localhost:8089`, але адресу можна змінити, а інтерфейс – відключити.

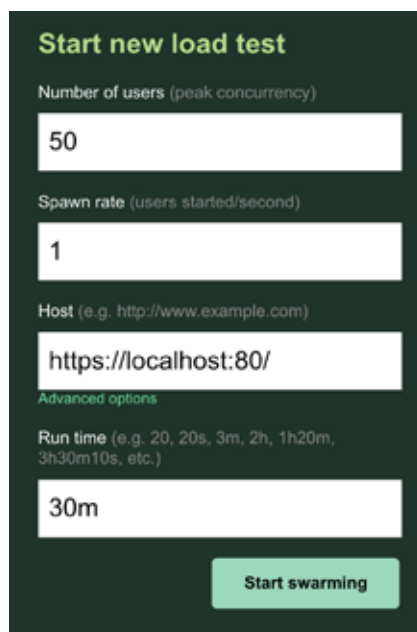


Рис. 2. Приклад візуального інтерфейсу засобу для тестування Locust. У цьому прикладі використовуються ті самі параметри, що вище описані в командному рядку.

Окрім надання можливості контролю параметрів програми Locust, web-інтерфейс дозволяє візуально проаналізувати роботу системи в режимі реального часу. У вкладці “Графіки” можна побачити низку показників: кількість запитів на одну секунду, середній час відгуку, а також кількість віртуальних користувачів.



Рис. 3. Приклади графіків Locust. Тут верхній графік – середній час відгуку запитів, а нижній – кількість віртуальних користувачів. Як бачимо, вона починається з нуля і з часом лінійно збільшується, поки не досягне максимуму.

Висновки. У статті представлена розробка системи, створеної для оцінки продуктивності API, на основі інструменту Locust. Описано можливості Locust, приклади роботи над тестовими файлами мовою Python, та команди, що нестандартним чином змінюють поведінку системи в цілому. Отримані в результаті такого дослідження дані сприяють розумінню і, в подальшому, покращенню якості роботи API, пропонуючи цінні рекомендації щодо оптимізації продуктивності програми та виявлення “вузьких місць” (bottlenecks) у програмному коді.

Список використаних джерел:

1. Most Popular APIs this year | Postman API Network. URL: <https://www.postman.com/explore/most-popular-apis-this-year>.
2. What is a distributed denial-of-service (DoS) attack? | Cloudflare. URL: <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/what-is-a-ddos-attack/>.
3. Isha, Sharma A., Revathi M. Automated API Testing. 2018 3rd International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Coimbatore, India, 15–16 November 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/iciict43934.2018.9034254>.
4. RESTful API Testing Methodologies: Rationale, Challenges, and Solution Directions / A. Ehsan et al. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, no. 9. P. 4369. URL: <https://doi.org/10.3390/app12094369>.
5. Automatic identification of load testing problems / Z. M. Jiang et al. 2008 IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM), Beijing, China, 28 September – 4 October 2008. 2008. URL: <https://doi.org/10.1109/icsm.2008.4658079>.
6. Latah M., Toker L. Load and stress testing for SDN’s northbound API. SN Applied Sciences. 2019. Vol. 2, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1917-y>.
7. Locust.io. Locust – A modern load testing framework. URL: <https://locust.io/>.
8. Writing a locustfile – Locust 2.18.4 documentation. Locust Documentation – Locust 2.18.4 documentation. URL: <https://docs.locust.io/en/stable/writing-a-locustfile.html#writing-a-locustfile>.
9. greenlet. PyPI. URL: <https://pypi.org/project/greenlet/>.
10. Retrieve test statistics in CSV format – Locust 2.18.4 documentation. Locust Documentation – Locust 2.18.4 documentation. URL: <https://docs.locust.io/en/stable/retrieving-stats.html>.

References:

1. Most Popular APIs this year | Postman API Network. URL: <https://www.postman.com/explore/most-popular-apis-this-year>.
2. What is a distributed denial-of-service (DoS) attack? | Cloudflare. URL: <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/what-is-a-ddos-attack/>.

-
3. Isha, Sharma A., Revathi M. Automated API Testing. 2018 3rd International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Coimbatore, India, 15–16 November 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/icict43934.2018.9034254>.
 4. RESTful API Testing Methodologies: Rationale, Challenges, and Solution Directions / A. Ehsan et al. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, no. 9. P. 4369. URL: <https://doi.org/10.3390/app12094369>.
 5. Automatic identification of load testing problems / Z. M. Jiang et al. 2008 IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM), Beijing, China, 28 September – 4 October 2008. 2008. URL: <https://doi.org/10.1109/icsm.2008.4658079>.
 6. Latah M., Toker L. Load and stress testing for SDN's northbound API. SN Applied Sciences. 2019. Vol. 2, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1917-y>.
 7. Locust.io. Locust – A modern load testing framework. URL: <https://locust.io/>.
 8. Writing a locustfile – Locust 2.18.4 documentation. Locust Documentation – Locust 2.18.4 documentation. URL: <https://docs.locust.io/en/stable/writing-a-locustfile.html#writing-a-locustfile>.
 9. greenlet. PyPI. URL: <https://pypi.org/project/greenlet/>.
 10. Retrieve test statistics in CSV format – Locust 2.18.4 documentation. URL: <https://docs.locust.io/en/stable/retrieving-stats.html>.

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.738.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.6>

Поперешняк С. В., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри інформатики та програмної інженерії
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-0531-9809

Вєчерковська А. С., кандидат технічних наук,
доцент кафедри програмних систем і технологій
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
ORCID: 0000-0003-2054-2715

ЦИФРОВІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

У статті проведено аналіз розвитку сучасних технологій штучного інтелекту. Проаналізовано основні сучасні рішення цифровізації комп'ютерних систем. Досліджено ключові проблеми розвитку даної концепції та шляхи їх вирішення, одним з яких є технологія цифрової імунної системи, наведено передумови її виникнення та сучасний стан. Досліджено взаємозв'язки основних характеристик сучасних рішень цифровізації. Проаналізовано переваги, які дає використання рішень на основі штучного інтелекту при вирішенні широкого спектра завдань, що виникають в реальному житті. Представлено теоретичну основу для аналізу рекомендацій щодо забезпечення кібербезпеки критичних інфраструктур на основі штучного інтелекту.

Зроблено розробку рішення по автоматичному аналізу LOG файлів на основі штучного інтелекту з використанням хмарної платформи Azure та інтерфейсу користувача Airflow.

Штучний інтелект та цифровізація комп'ютерних систем – дві технології, які мають великий потенціал, обидві вже широко використовуються. Поєднання штучного інтелекту та цифровізації комп'ютерних систем є актуальним, тому що може бути способом аналізу недоліків у застосуванні процесів і технологій.

Ключові слова: штучний інтелект, цифровізація, комп'ютерна інженерія, кібербезпека інфраструктур.

Popereshnyak S. V., Vecherkovskaya A. S. Digitization of computer systems based on artificial intelligence

The article investigated the use of artificial intelligence technology. It was determined that for the technology of artificial intelligence and machine learning there is no development of the role of people in the coexistence and use of the capabilities of the system of artificial intelligence and machine learning. We mean the systemic point of view of the interdependence of man and system. However, soon there will be a large number of systems using artificial intelligence technologies to help us with medical treatment, provide reliable transportation and support us in decision-making.

It is obvious that the opportunities provided by modern technologies of artificial intelligence and machine learning have both their advantages and disadvantages. It has been investigated that the main advantages of systems with artificial intelligence support are: the possibility of dynamism of the learning process and adaptation, the potential of compatibility, which significantly affects the learning process. The disadvantages include the following: the main problem of artificial intelligence technology is that there is currently no generally accepted approach to implementation.

The article analyzes the development of modern artificial intelligence technologies. The main modern solutions for digitalization of computer systems are analyzed. The key problems of the development of this concept and ways to solve them are studied, one of which is the technology of the digital immune system, the prerequisites for its emergence and the current state are given. The interrelationships of the main characteristics of modern digitalization solutions have been studied. The advantages of using solutions based on artificial intelligence in solving a wide range of tasks that arise in real life are analyzed. The theoretical basis for the analysis of recommendations for ensuring cyber security of critical infrastructures based on artificial intelligence is presented.

A solution was developed for automatic analysis of LOG files based on AI using the Azure cloud platform and the Airflow user interface.

Artificial intelligence and digitization of computer systems are two technologies that have great potential, both are already widely used. The combination of artificial intelligence and digitization of computer systems is relevant, because it can be a way to analyze shortcomings in the application of processes and technologies.

Key words: artificial intelligence, digitalization, computer engineering, cyber security of infrastructures.

Постановка проблеми. Комп'ютерна інженерія переживає цифрову трансформацію. Ця еволюція призведе до подальших трансформаційних досягнень у використанні технологій штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації багатьох рутинних інженерних завдань. Водночас застосування штучного інтелекту, машинного навчання та автономії до складних і критичних систем заохочує нові методи, процеси та інструменти комп'ютерної інженерії. Вкрай важливо, щоб працівники глибоко розуміли нові технології та принципи штучного інтелекту та машинного навчання, включали їх у методи та інструменти таким чином, щоб покращити дисципліну комп'ютерної інженерії, і гарантували, що відповідні підходи системної інженерії використовуються для того, щоб зробити системи штучного інтелекту етичними та надійними, надійно та безпечно.

У категорії робочої сили та культури багато інженерів походять з фундаментальних дисциплін інженерії та не мають деяких основ інформатики, які керують сферою дисциплін штучного інтелекту. Спеціалісти комп'ютерної інженерії потребують подальшого розвитку базових цифрових інженерних компетенцій у розробці та інженерії програмного забезпечення, інженерії даних та пов'язаних інформаційних технологіях. Системи штучного інтелекту та машинного навчання створюються в цих трьох дисциплінарних областях. Проте комп'ютерна інженерія може створити міцну основу в міждисциплінарних підходах до спільноти штучного інтелекту. З часом інструменти розробки штучного інтелекту включатимуть абстракції та шаблони проектування, які зроблять технологію більш доступною для широкого кола інженерів, покращуючи міждисциплінарне розуміння та використання технології. Чіткою проблемою розвитку робочої сили є інтеграція штучного інтелекту з системною інженерією та інтеграцією людських систем – набагато більше представлення когнітивних наук і когнітивної інженерії в наборі дисциплін комп'ютерної інженерії. Спеціальні системотехнічні вимоги, такі як безпека та надійність, повинні вийти на перший план. Нові підходи до тестування та оцінювання для навчання та адаптації значно вплинуть на ці дисципліни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з головних і важливих проблем для реалізації перспектив ШІ/МН є те, що наразі не існує загальноновизнаного підходу до реалізації, оскільки набагато більша частка реалізацій, реалізованих на сьогодні, є вузькоспеціалізованими [1]; є й інші виклики, і щодо них існує багато думок [2]. Розглянемо деякі з важливих питань, пов'язаних з розумінням поточного стану справ, і того, що можна зробити, щоб досягти певного прогресу в методах комп'ютерної інженерії. Один з оглядів був здійснений у [3], де розглядалося питання щодо належного рівня включення комп'ютерної інженерії як функції типу організації, яка виконує роботу, і, зокрема, щодо організації типу R&D. Можна стверджувати, що така суворість в науково-дослідних організаціях часто не є виправданою або недосяжною, особливо там, де немає впевненості, чи зможе нова технологія досягти ключових цілей ефективності. В [4], визначено три рівні комп'ютерної інженерії для підтримки правильного розміру системної інженерної діяльності: неформальний, напівформальний і формальний. В [5] переконані, що розробка вимог для систем машинного навчання є особливим завдяки іншій парадигмі, яка використовується для розробки рішень на основі даних. Вони аналізують вплив машинного навчання на розробку вимог, описуючи вплив на виявлення вимог, аналіз, специфікацію та перевірку та валідацію. Подібним чином [6] розробили еквівалентну оцінку за цими самими вимірами для викликів розробки вимог у випадку систем штучного інтелекту. Вони рекомендують орієнтований на ціль підхід до розробки вимог, який намагається зрівноважити неточність формулювання мети з точністю специфікації вимог. Додаткові документи, спрямовані на розробку вимог, стосуються визначення правової та етичної ефективності систем штучного інтелекту та машинного навчання [7]. Таким чином, ці важливі аспекти комп'ютерної інженерії залишаються на стадії вивчення.

У статті [8], обговорюються різні проблеми щодо технічної заборгованості, пов'язані з розробкою програмного забезпечення штучного інтелекту та машинного навчання. Публікація [9] фокусується на перешкодах підходу до оцінювання, орієнтованого на здібності, коли система характеризується своїми когнітивними здібностями, а не завданнями, для вирішення яких вона призначена.

Як бачимо, ці дослідження не враховують повністю технічні та технологічні можливості цифровізації комп'ютерних систем, тому дослідження щодо використання штучного інтелекту та машинного навчання в галузі комп'ютерної інженерії потребують більш глибокого підходу.

Мета статті: визначення перспектив та потенційних переваг використання технологій штучного інтелекту і підвищення ефективності комп'ютерної інженерії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідницька рада SERC розробила дорожню карту для структурування та керівництва дослідженнями штучного інтелекту та автономності. Ця дорожня карта була описана в [10] і представлений на низці форумів, включаючи обидві системні дисципліни [11], [12] та дисциплін штучного інтелекту [13]. Спеціальний семінар «SE4AI/AI4SE», спонсорований SERC та армією США, ще більше вдосконалив дорожню карту. Початкова версія була представлена на конференції Асоціації з розвитку штучного інтелекту (ARПП) восени 2020 року, а поточна версія буде опублікована в 2021 році в посібнику INCOSE AI для фахівців з KI. Ця дорожня карта публікується з метою пов'язати дисципліну комп'ютерної інженерії з різними тенденціями в штучному інтелекті та його застосуванням для автоматизації систем. Цей зв'язок надається як засіб для обговорення можливої еволюції технологій штучного інтелекту та машинного навчання, автономії та дисципліни комп'ютерної інженерії з часом. Рисунок 1 зображує поточну умовну дорожню карту.

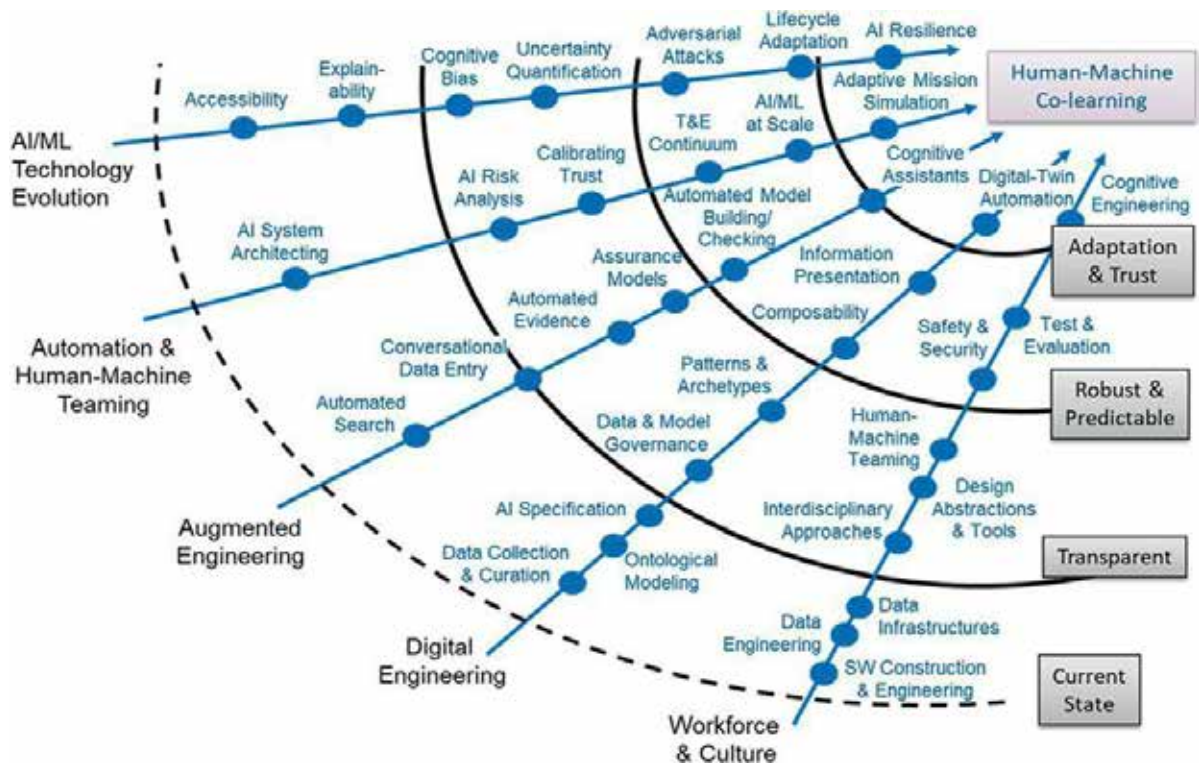


Рис. 1. Дорожня карта SERC AI4SE та SE4AI

Розглянемо еволюцію технології штучного інтелекту для цифрової комп'ютерної інженерії.

Цифрова інженерія є основою для перших трьох векторів дорожньої карти. Під час інженерного моделювання та аналізу буде зібрано більше основних даних, вони стануть навчальними даними для програм машинного навчання.

Є кілька поточних досягнень у цифровій інженерії, пов'язаних з AI4SE [10]:

1. Таксономії та онтології інструментів і доменів – інженерні та програмні дані отримують взаємодію завдяки онтологіям, орієнтованим на домен. Графові бази даних для пов'язаних даних стають все більш помітними в інструментах системної інженерії на основі моделей. Таксономії є відправною точкою для побудови онтологій, що зрештою дає змогу обґрунтувати базові дані на основі ШІ. Цей прогрес є трансформаційною інфраструктурою в AI4SE.

2. Інтеграція даних між підприємствами – основною метою цифрової інженерії є авторитетне джерело правдивих даних, які лежать в основі різних дій з розробки та управління програмами в складних інженерних системах. Оскільки програми та інженерно-конструкторська діяльність обмінюються даними, підприємства створюватимуть великі набори даних для передачі знань і повторного використання в різних програмах і проектах. Ці дані будуть доступні для автоматизації пошуку, побудови/перевірки моделі та прийняття рішень.

3. Семантичні правила в інженерних інструментах – засновані на представленнях знань, таких як онтології, семантичні правила забезпечать основу для міркувань (за допомогою ШІ) щодо повноти та узгодженості інженерних моделей.

4. Цифрова подвійна автоматизація (Digital Twin Automation) – розроблені системи підтримуватимуться двійниками – повністю динамічними віртуальними копіями систем, створеними з тих самих моделей, що й реальні системи, і працюють паралельно з фізичними системами. Дані про дизайн і збірку системи оновлюватимуться з тих самих каналів даних, що й їхні реальні аналоги. Цей динамічний процес створює початкову інфраструктуру для спільного навчання людини та машини.

Розробка рішення по автоматичному аналізу log файлів на основі штучного інтелекту

Рішення на основі штучного інтелекту по автоматичному аналізу LOG файлів повинно:

- максимально автоматизувати аналіз логів;
- обробляти усі події у наданому контексті аналізу;
- бути прозорим для людини (аналітика);
- мати можливість адаптуватися до певних налаштувань мережі (технології, топології мережі та інше);
- і, звичайно, самовдосконалюватися.

Як результат це рішення забезпечує легкість аналізу LOG файлів і скорочує час і людські зусилля. Автоматично розпаковує пакети LOG файлів і витягує з них попередньо визначені шаблони в таблиці. Зберігає всі дані LOG файлів та таблиці на централізованій або на хмарній платформі. Система усує несправності на основі правил і машинного навчання.

Рішення застосовує масштабовану архітектуру на основі мікросервісів та хмарні технології на базі Kubernetes та Gcloud Composer.

Для керування робочими процесами зі складними завданнями, аналізу помилок завдань, повторними спробами та залежностями задіяний дуже потужний інструмент – Apache Airflow [14].

Для автоматичного аналізу LOG файлів треба виконувати величезну кількість коротких запитів. Усі ці запити протягом години мають бути завершені, перш ніж можна буде запустити наступну годину. Як наслідок, потрібно стежити за успішністю чи невдачею запитів.

В Таблиці 1 наведені дані по максимальній кількості користувачів та вказана максимальна кількість оброблених пакетів кожним користувачем.

Це десь 2400 оброблених пакетів за годину. Вважаємо, що треба запустити 1000 запитів за менше ніж 15 хвилин, щоб було достатньо буфера для повторних невдалих запитів.

У рішенні застосовуються наступні моделі аналізу.

1. **Частотна модель:** ненормальну поведінку можна визначити як значне відхилення частоти тривоги від середнього (наприклад, простого або експоненціального) за допомогою стандартного порогу відхилення або верхньої межі IQR.

2. **Модель затримки очищення:** вивчення звичайної затримки очищення кожного аварійного сигналу та встановлення порогового значення. Очікується ненормальна поведінка, якщо затримка скасування тривоги перевищує встановлений поріг.

3. **Модель правил асоціації:** вивчення послідовностей тривог, які завжди з'являються разом перед ініціюванням інциденту тривоги.

4. **Текстова модель:** вивчення того, що повинно/не повинно бути в певному LOG файлі комп'ютера за допомогою підходів LSTM і вбудовування слів (тобто нечастий текст у LOG файлах вважається ненормальним).

5. **Модель помилкової аварії:** вивчення того, що має бути/не має бути в певному файлі журналу аварій за допомогою підходів логістичної регресії та вбудовування слів (тобто нечастий текст у файлах журналу аварій вважається ненормальним).

Таблиця 1

Вхідні дані для розрахунків ресурсів хмарної платформи Azure

	Локація № 1	Локація № 2	Локація № 3
Максимальна кількість користувачів за годину	20	15	20
Середня кількість користувачів за годину	8	8	8
Оброблено пакетів користувачем за годину, максимальна кількість	120	120	120
Оброблено пакетів користувачем за годину, середня кількість	8	8	8
Розмір пакета (extracted), максимальний	1.2GB	1.2GB	1.2GB
Розмір пакета (extracted), середній	450MB	450MB	450MB

Зробимо розрахунки ресурсів хмарної платформи Azure з використання інтерфейсу користувача Airflow, які треба задіяти для рішення на основі штучного інтелекту по автоматичному аналізу LOG файлів.

Таблиця 2 це перелік безкоштовних ресурсів для виконання одного завдання (обробка одного пакету будь-якого розміру).

Таблиця 2

Безкоштовні ресурси для виконання одного завдання

Розмір пакета	0-200 MB	201-400 MB	401-600 MB	≥ 601 MB
Driver core	5	5	5	8
EXEC core	4	4	5	7
EXEC вимог	3	4	6	6
Spark cluster / History Server	2	2	2	2

Загальна кількість EXEC core (TC_{EXEC}) така:

$$TC_{EXEC} = N_{EXEC} \times C_{EXEC} \quad (1)$$

де N_{EXEC} – це кількість EXEC вимог, а C_{EXEC} – це кількість EXEC core, дивись значення з Таблиці 2. Загальний об'єм пам'яті (T_{MEM}) задається як:

$$T_{MEM} = (4 \times N_{DRIVE} + 4 \times TC_{EXEC}), \quad (2)$$

де N_{DRIVE} – це кількість Driver core, дивись значення з Таблиці 4.2.

Загальна кількість core (TC) така:

$$TC = (C_{DRIVE} + TC_{EXEC} + SC), \quad (3)$$

де SC – це кількість Spark cluster / History Server, дивись значення з Таблиці 2.

Виконуючи рівняння (1), (2) та (3), отримуємо загальну кількість ресурсів для обробки пакету будь-якого розміру (Таблиця 3).

Таблиця 3

Загальні ресурси для обробки пакету будь-якого розміру

Розмір пакета	0-200 MB	201-400 MB	401-600 MB	≥ 601 MB
Total EXEC core	12	16	30	42
Total Memory	68	84	140	200
Total core	19	23	37	52

В Таблиці 4 приведені дані розподілу пакетів по розмірам, які один користувач обробив за годину.

Таблиця 4

Кількість пакетів оброблених користувачем за годину

Розмір пакета	0-200 MB	201-400 MB	401-600 MB	≥ 601 MB
Оброблено пакетів користувачем за годину, максимальна кількість	37	37	37	9
Оброблено пакетів користувачем за годину, середня кількість	3	2	2	1

Загальна кількість core для одного користувача (TC_{USER}) така:

$$TC_{USER} = (P_{MAX} \times TC). \quad (4)$$

або

$$TC_{USER} = (P_{AVR} \times TC). \quad (5)$$

де P_{MAX} – це максимальна кількість пакетів оброблених користувачем за годину, а P_{AVR} – це середня кількість пакетів оброблених користувачем за годину, дивись значення з Таблиці 4.

Виходячи з рівнянь (4) та (5), можна обчислити загальну кількість core для одного користувача для обробки пакетів усіх розмірів.

Таблиця 5

Загальна кількість core для одного користувача

Розмір пакета	0-200 MB	201-400 MB	401-600 MB	≥ 601 MB
Для максимальної кількості пакетів за годину	703	851	1369	468
Для середньої кількості пакетів за годину	57	46	74	52

Загальна кількість core для кожної локації (TC_{LOC}) така:

$$TC_{LOC} = N_{USERMAX} \times \sum MAX TC_{USER} \quad (6)$$

або

$$TC_{LOC} = N_{USERAVR} \times \sum AVR TC_{USER} \quad (7)$$

де $N_{USERMAX}$ – це максимальна кількість користувачів за годину, а $N_{USERAVR}$ – це середня кількість користувачів за годину, дивись значення з Таблиці 1.

Виходячи з рівнянь (6) та (7), можна обчислити загальну кількість соге для кожної локації.

Таблиця 6

Загальна кількість соге для кожної локації

	Локація № 1	Локація № 2	Локація № 3
Для максимальної кількості користувачів за годину	67820	50865	67820
Для середньої кількості користувачів за годину	1832	1832	1832

Таким чином, зроблено розробку рішення по автоматичному аналізу LOG файлів на основі штучного інтелекту з використанням хмарної платформи Azure та інтерфейсу користувача Airflow.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. У даній статті було досліджено технології штучного інтелекту. Визначено, що поки-що для технології штучного інтелекту та машинного навчання відсутні розробки ролі людей у співіснуванні та використанні можливостей системи штучного інтелекту та машинного навчання, тут мається на увазі системна точка зору взаємозалежності людини та системи. Але незабаром буде задіяна велика кількість систем, які допоможуть нам з медичним лікуванням, зможуть забезпечити надійне транспортування та підтримати нас під час прийняття рішень.

Очевидно, що можливості, які дають сучасні технології штучного інтелекту та машинного навчання, мають як свої переваги, так і недоліки.

Досліджено, що основними перевагами систем з підтримкою штучного інтелекту є: можливість динамізму процесу навчання та адаптації, потенціал сумісності, що значно впливає на процес навчання.

До недоліків можна віднести наступне: основна проблема технології штучного інтелекту полягає в тому, що наразі немає загальноприйнятого підходу до реалізації.

Проаналізовано, що технології штучного інтелекту та машинного навчання будуть продовжувати розвиватися та вдосконалюватися для підтримки більшої кількості функцій та розширення сфер впливу.

Зроблено розробку рішення по автоматичному аналізу LOG файлів на основі штучного інтелекту з використанням хмарної платформи Azure та інтерфейсу користувача Airflow. Проте перевагою використання технології штучного інтелекту є можливість об'єднати потужність кількох ключових ідей, щоб допомогти керувати дедалі складнішими системами з підтримкою штучного інтелекту.

Окреслено, що взаємозв'язок штучного інтелекту з людством робить світ більш інтегрованим та має все більший вплив на кожну частину нашого життя, починаючи від машинного навчання до розумного моніторингу здоров'я та навколишнього середовища.

Список використаних джерел:

1. Vora T. Design thinking for AI: Sustainable AI solution design. 2019. URL: <https://www.cuelogic.com/blog/design-thinking-for-ai> (дата звернення 20.11.2023).
2. Software Engineering for AI-Enabled Systems (SE4AI). CMU 17-445/645, Summer 2020. URL: <https://scaestne.github.io/seai> (дата звернення 20.11.2023).
3. Lombardo N., Millard D., Sturges M. A systems engineering framework for R&D organizations. *INCOSE International Symposium*. 2015. Vol. 25, No 1. P. 1020–1034.
4. Anderson N., Nolte W. Systems engineering principles applied to basic research and development. Session Title: Systems Analysis and Systems Engineering. URL: <https://repository.gatech.edu/server/api/core/bitstreams/aa7c17ee-96cd-4eef-9144-5e5bf6d31b59/content> (дата звернення 20.11.2023).
5. Vogelsang A., Borg M. Requirements Engineering for Machine Learning: Perspectives from Data Scientists. // 2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference Workshops (REW). Jeju, Korea (South), 2019. pp. 245–251. DOI: 10.1109/REW.2019.00050.
6. Belan H., Vuković M., Car Z. Requirements engineering challenges in building AI-based complex systems. 2019. URL: [arXiv:1908.11791](https://arxiv.org/abs/1908.11791) (дата звернення 20.11.2023).
7. Guizzardi R., Amaral G., Guizzardi G., Mylopoulos J. Ethical requirements for AI systems. *Advances in artificial intelligence*. 2020. pp. 251–256. DOI: 10.1007/978-3-030-47358-7_24.
8. Kruchten P., Nord R., Ozkaya I. Technical debt: From metaphor to theory and practice. *IEEE Software*, 2012. Vol. 29 No 6. pp. 18–21.
9. Hernández-Orallo, J. Evaluation in artificial intelligence: From task-oriented to ability-oriented measurement. *Artificial Intelligence Review*, 2017. Vol. 48. P 397–447. URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-016-9505-7>.
10. McDermott T., DeLaurentis D., Beling P., Blackburn M., Bone, M. AI4SE and SE4AI: A research roadmap. *IncoSE Insight*, 2020. Vol. 23 No 1. P. 8–14.
11. McDermott T. A framework to guide AI/ML and autonomy research in systems engineering. *Systems and Mission Engineering*. 2019. Vol. 2. P. 234–241.

-
12. McDermott T. Digital engineering and AI - Transformation of systems engineering. *International Council on Systems Engineering*. 2020. Vol. 1. P. 78–85.
 13. McDermott T. Digital engineering and AI. *AI welcomes systems engineering: Towards the science of interdependence for autonomous human-machine teams*. 2020. Vol. 3. P. 163–171.
 14. Chan K. Scaling Airflow to 1000 tasks/hour on Google Cloud Composer and Kubernetes, 2020. URL: <https://medium.com/@keozchan/-airflow-to-1000-tasks-hour-aac3207b26ec> (дата звернення 20.11.2023).

References:

1. Vora T. Design thinking for AI: Sustainable AI solution design. 2019. URL: <https://www.cuelogic.com/blog/design-thinking-for-ai>.
2. Software Engineering for AI-Enabled Systems (SE4AI). CMU 17-445/645, Summer 2020. URL: <https://ckaestne.github.io/seai>.
3. Lombardo N., Millard D., Sturges M. A systems engineering framework for R&D organizations. *INCOSE International Symposium*. 2015. Vol. 25, No 1. P. 1020–1034.
4. Anderson N., Nolte W. Systems engineering principles applied to basic research and development. Session Title: Systems Analysis and Systems Engineering. URL: <https://repository.gatech.edu/server/api/core/bitstreams/aa7c17ee-96cd-4eef-9144-5e5bf6d31b59/content>.
5. Vogelsang A., Borg M. Requirements Engineering for Machine Learning: Perspectives from Data Scientists. // 2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference Workshops (REW). Jeju, Korea (South), 2019. pp. 245–251. DOI: 10.1109/REW.2019.00050.
6. Belan H., Vuković M., Car Z. Requirements engineering challenges in building AI-based complex systems. 2019. URL: [arXiv:1908.11791](https://arxiv.org/abs/1908.11791) (дата звернення 20.11.2023).
7. Guizzardi R., Amaral G., Guizzardi G., Mylopoulos J. Ethical requirements for AI systems. *Advances in artificial intelligence*. 2020. pp. 251–256. DOI: 10.1007/978-3-030-47358-7_24. [in English].
8. Kruchten P., Nord R., Ozkaya I. Technical debt: From metaphor to theory and practice. *IEEE Software*, 2012. Vol. 29 No 6. pp. 18–21. [in English].
9. Hernández-Orallo, J. Evaluation in artificial intelligence: From task-oriented to ability-oriented measurement. *Artificial Intelligence Review*, 2017. Vol. 48. P. 397–447. URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-016-9505-7>. [in English].
10. McDermott T., DeLaurentis D., Beling P., Blackburn M., Bone, M. AI4SE and SE4AI: A research roadmap. *IncoSE Insight*, 2020. Vol. 23 No 1. P. 8–14. [in English].
11. McDermott T. A framework to guide AI/ML and autonomy research in systems engineering. *Systems and Mission Engineering*. 2019. Vol. 2. P. 234–241. [in English].
12. McDermott T. Digital engineering and AI - Transformation of systems engineering. *International Council on Systems Engineering*. 2020. Vol. 1. P. 78–85. [in English].
13. McDermott T. Digital engineering and AI. *AI welcomes systems engineering: Towards the science of interdependence for autonomous human-machine teams*. 2020. Vol. 3. P. 163–171. [in English].
14. Chan K. Scaling Airflow to 1000 tasks/hour on Google Cloud Composer and Kubernetes, 2020. URL: <https://medium.com/@keozchan/-airflow-to-1000-tasks-hour-aac3207b26ec>. [in English].

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 004.056.2:528.082

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.7>

Тарасенко Ю. С., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій
та міжнародної логістики
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0002-4226-5707

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

ГЕОРАДІОЛОКАЦІЙНІ АСПЕКТИ БЕЗПЕКИ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Значна частина наявної техносфери соціуму належить до об'єктів критичної інфраструктури, які зобов'язані застосовувати сучасні системи безпеки та кібербезпеки з потенційно високим рівнем їх реалізації. У статті представлено матеріал, присвячений георадіолокаційним можливостям приповерхневої діагностики землі з позицій забезпечення безпеки підземних інженерних споруд. Однак, при забезпеченні такої безпеки засобами георадіолокації, складно позбутися високого рівня неоднозначності інтерпретації одержуваних даних про глибинні неоднорідності. Зазначено, що, навіть за апіорно низького заданого рівня достовірності результатів досліджень, що проводяться засобами георадіолокації, вони у своїй більшості мають якісний характер через слабку передбачуваність гетерогенного характеру приповерхневих шарів землі. У зв'язку з чим, з позицій моделювання гіпотетичних вимірювань, насамперед щодо приймально-передавального рупорного антенного блоку, використано пізнавальну методику «чорного ящика». Орієнтуючись на Рекомендації МСЕ-R (серія Р, Поширення радіохвиль) щодо електричних характеристики земної поверхні, запропоновано замінити параметри реального середовища на його ефективні значення, але вже для однорідного ґрунту. Відповідно до чого введено імпедансні параметри електричних характеристик ґрунту та розглянуто аспекти узгодження антенної системи із зондованим середовищем за ефективними значеннями його (ґрунту) електричних характеристик, реалізація яких забезпечує підвищення ймовірного рівня діагностики шарувато-неоднорідної земної поверхні. Викладені аспекти приповерхневої діагностики Землі за допомогою електромагнітного глибинного її зондування зі змінним набором «лінз проясненої оптики», що орієнтовані на успішне виявлення локальних неоднорідностей, сприяють реалізації позитивної тенденції підвищення результативності в процесі розв'язання геофізичних задач розпізнавання демаскувальних параметрів об'єктів дослідження, перш за все зі сфери георозвідки. При цьому, стрімко розвиваючись, сучасні експериментальні методи, способи та пристрої, включно з теоретичними розробками, уже впритул підійшли до успішної реалізації не лише геофізичних задач глибинного розпізнавання з високим рівнем достовірності, а й до задач георадарної променевої томографії.

Ключові слова: георадіолокація, діелектрична проникність, хвильовий опір, просвітлювальна структура, рупорна антена, імпедансне узгодження.

Tarasenko Yu. S., Savchenko Iu. V. Georadar aspects of security of near-surface critical infrastructure facilities

A significant part of the existing technosphere of the society refers to critical infrastructure objects, which are obliged to apply modern security and cybersecurity systems with a potentially high level of their realization. The article presents the material devoted to the georadiolocation capabilities of near-surface ground diagnostics from the position of ensuring the safety of underground engineering structures. However, when ensuring such safety by means of georadiolocation, it is difficult to get rid of the high level of ambiguity of interpretation of the obtained data on deep inhomogeneities. It is noted that, even at a priori low level of reliability of the results of conducted studies by means of georadiolocation, they are mostly of qualitative nature due to poor predictability of the heterogeneous nature of the near-surface layers of the earth. In this connection, from the point of view of modelling hypothetical measurements, first of all concerning the receiving and transmitting horn antenna unit, the cognitive method of "black box" was used. Being oriented on ITU-R Recommendations (series P, Radio Wave Propagation) concerning electrical characteristics of the earth surface, it is proposed to replace the parameters of the real environment by its

effective values, but for homogeneous soil. In accordance with what impedance parameters of electrical characteristics of the soil are introduced and aspects of matching the antenna system with the probed medium by effective values of its (soil) electrical characteristics are considered, the implementation of which provides an increase in the probabilistic level of diagnostics of the layered inhomogeneous earth surface. The described aspects of the near-surface diagnostics of the Earth by means of electromagnetic deep sounding with a variable set of "lenses of clarified optics", which are focused on the successful detection of local inhomogeneities, contribute to the realization of a positive trend of increasing the efficiency in the process of solving geophysical problems of recognizing the demasking parameters of research objects, primarily in the field of geological exploration. At the same time, rapidly developing, modern experimental methods, techniques and devices, including theoretical developments, have already come close to the successful implementation of not only geophysical problems of deep recognition with a high level of reliability, but also the problems of GPR radar tomography.

Key words: georadiolocation, dielectric permittivity, wave impedance, illumination structure, horn antenna, impedance matching.

Вступ і постановка проблеми. Наразі, у світлі тенденції життєдіяльності сучасного соціуму у вигляді прагнення до об'єднання та проживання на високоурбанізованих територіях [1, 2], надійна експлуатація супутньої їм техносфери вимагає створювати відповідні системи безпеки та кібербезпеки щодо об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) [3, 4], серед яких на особливу увагу заслуговують об'єкти приповерхневої (глибинної) локалізації наявних підземних комунікацій у вигляді газопроводів, водогонів, нафтопроводів та кабельних магістралей, а також інших підземних споруд, визначаючи місця витоку рідини, приховані конструктивні підземні порожнини, незаконні врізки в наявних інженерних мережах, зсувні процеси, рівень та об'єм ґрунтових вод тощо.д.

Відповідно до методологічного принципу пізнання, в основі якого прийнято теорію раціональної діяльності для досягнення поставленої мети, скористаємося елементами комплексування: *методичними* з радіофізики та геофізики (використовуючи напрацювання з галузі радіолокації, дефектоскопії та підземної електророзвідки) [5, 6, 7]); *міждисциплінарними* (спираючись на наукові дані петрофізики, НВЧ електродинаміки, геоінформаційних систем та технологій); *різнорівневими* (дистанційно-космічними та повітряно-приповерхневими). Причому бажаний рівень апріорної достовірності електророзвідки земної кори забезпечують здебільшого завдяки підвищенню потужності зондувального сигналу, способам його створення шляхом зміни несучої частоти, виду модуляції, тривалості впливу та методів оптимального накопичення. Так, на постійному струмі і на інфранизьких частотах реалізація глибинного розрізу можлива від сотень до десятків кілометрів, а на частотах понад гігагерц ($1\text{ГГц} = 10^9\text{ Гц}$) – до сантиметрів і міліметрів. Крім того, через різноманіття використовуваних полів, їхніх частотно-часових спектрів (низькочастотного, високочастотного, надвисокочастотного), електромагнітних властивостей геологічного середовища, електророзвідці (на відміну від інших геофізичних способів) притаманне більш ніж 50 методів дослідження, в основі інформаційних джерел яких лежать, як правило, поляризаційні, індукційні, імпедансні, геоелектрохімічні, біогеофізичні параметри та характеристики [6, с. 40–41]. При цьому, в контексті забезпечення безпеки підземних інженерних споруд, доцільно використовувати георадарну променеву томографію. В основі її реалізації закладено досягнення активної, пасивної та нелінійної радіолокацій ближнього електромагнітного поля взаємодії з глибинними об'єктами, а методика отримання та обробки даних у такій томографії запозичена із сейсмозвідки [8]. Очевидно, що використовуючи кілька циклів вимірювань за різних відстаней між джерелом випромінювання і приймачем вторинного випромінювання, вдається знизити, а найчастіше навіть позбутися неоднозначності інтерпретації одержуваних даних, яка так характерна для георадіолокації. Проте, за швидкістю отримання інформації про глибинний розріз, за трудовитратами і, відповідно, вартістю робіт, георадіолокаційна томографія, що використовує сигнал, який проходить, з метою отримання кількісних електромагнітних характеристик у кожній точці досліджуваного простору, випереджає геофізичні методи із сейсмозвідки, гравірозвідки, ядерної геофізики та інших, фізична основа яких не має кореляції з природою полів, використовуваних у георадіолокації. Саме за кількісною оцінкою значень швидкості поширення електромагнітних хвиль, як правило, і вдається виявити так звані аномальні зони і навіть (для конкретного заданого, як правило, низького рівня достовірності) визначити вологість шарів та об'єм порожнин, хоча інформація про внутрішню будову середовища, яке локується, в більшості випадків залишається якісною [9], і це здебільшого через гетерогенний характер поведінки досліджуваних (приповерхневих) шарів Землі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з [10], «електромагнітний відгук геосередовища на зовнішні енергетичні впливи» насамперед залежить від його (геосередовища) властивостей, «які досі залишаються недостатньо осмисленими або відомими». Для сучасної геоелектродинаміки гетерогенних середовищ, «діелектрична сприйнятливості яких підпорядковується дрібно-ступінчастим законам у широкому діапазоні частот», властива багатоаспектність проблем теоретичного та експериментального характеру. Зокрема, узагальнюючі багаторічні експериментальні дослідження, «стався перелом у розумінні визначальних властивостей геосередовища як відкритої нерівноважної дисипативної динамічної системи, нелінійної, активної, енергетично насиченої, з безперервно мінливими параметрами», де «мотором» усієї геодинаміки «є тепловий потік із земних надр, зумовлений і дифузєю легких газів (водень, гелій)» [10].

У зв'язку з викладеним, акцентуючи увагу на апіорну супутню складність побудови електродинамічної моделі з вивчення багатфакторного впливу внутрішніх і зовнішніх (зондувальних) полів на зосереджені (локальні) або розподілені об'єкти в приповерхневому геосередовищі, нижче викладено аспекти (перш за все, у частині приймально-передавального антенного блока) георадіолокаційного виявлення глибинних неоднорідностей на тлі (у масиві) гетерогенної структури з позицій моделювання потенційних гіпотетичних вимірів, використовуючи пізнавальну методику «чорної скриньки» (ЧС). Уразливість такої методики цілком очевидна, проте її ретроспектива позитивної результативності, найімовірніше, дає змогу використовувати дану методику як «пробну кулю», як інструмент пізнання для дослідження електромагнітного відгуку від зосередженої неоднорідності, наприклад у вигляді конструктивних підземних порожнеч. У такому разі, застосовуючи апіорно напрацьований радіолокаційний «арсенал» з ефективних поверхонь (портретів) вторинних зразкових (каліброваних) випромінювачів, з'являється додаткова можливість інтерпретації характеристик геосфери (або її локальних неоднорідностей як додаткового джерела-об'єкта інформації) з позицій її локації та безпосереднього розпізнавання властивостей фону від гетерогенної структури.

По суті, «чорною скринькою» може бути будь-який об'єкт, процес або фізичне явище, властивості чи реакцію яких вивчають за результатами зовнішніх впливів на такий ЧС, не маючи змоги безпосередньо дослідити його внутрішню структуру [11]. Так, для встановлення закону функціонування системи будь-якого ступеня складності можуть використовувати кібернетичний метод «чорної скриньки», що об'єднує чотири моделі опису системи, а саме: входів, виходів, межі та зовнішнього середовища [12]. Тому, насамперед, у міру подачі (уявної або реальної) різних типів впливів зі змінними параметрами на вхідний канал ЧС прагнуть виявити його реакцію на вихідному каналі для конкретного (пробного) впливу. Цей процес заведено називати експериментом над «чорною скринькою». Якщо вдається здійснити розпізнавання конкретних видів впливу на відповідність між апіорними станами «входу» та апостеріорними «виходу» «чорної скриньки», то, як правило, вводять певні фільтрові обмеження її (ЧС) функціонування. Зокрема, у процесі розв'язання задачі георадіолокаційного розпізнавання, наприклад, конструктивних підземних порожнин у гетерогенному середовищі, зазвичай спочатку уточнюють межі можливої поведінки швидкості поширення електромагнітної хвилі зондування в застосовуваній хвилевідновлювальній структурі, яка, зазвичай, об'єднує у повітряному просторі приймально-передавальну антенну систему та об'єкт виявлення, який локується, у приповерхневій півсфері землі. При цьому безпідставним представляти або розмежовувати сейсмоакустичну, теплову, електромагнітну та інші компоненти як власного, так і вторинного випромінювання від фонового геосередовища, яке з позицій ЧС доцільно ототожнювати з якимось інтегральним (ефективним) електромагнітним вторинним впливом на приймальну антену георадара. Також доречно нагадати, що відповідно до принципу суперпозиції для реальної електромагнітної хвилі, представленій у вигляді суми гармонійних хвиль, тобто у вигляді хвильового пакету, швидкість переміщення максимуму її амплітуди (інакше групова швидкість) лише тільки у не диспергувальному середовищі, збігається з фазовою. Причому, згідно з теорією відносності, групова швидкість $u \leq c$ – швидкості світла у вакуумі, а фазова швидкість $v = \omega_0 \lambda / (2\pi)$, де ω_0 і λ – відповідно кругова частота і довжина хвилі. Оскільки для частоти обмежень не існує, то за відношенням швидкості світла у вакуумі до фазової швидкості поширення в тракті, остання, тобто v , може перевищувати c . У зв'язку з чим вводять і використовують поняття швидких і повільних хвиль, а залежність вигляду $v \cdot u = c^2$ вважають здійсненою для швидкостей поширення монохроматичних хвиль тільки в середовищах, які не диспергують. Однак з огляду на те, що в природі строго монохроматичних хвиль не існує, то, отже, згідно з [13], не повинно бути й фазової швидкості для реальних хвиль у диспергувальних середовищах (ДС). Це твердження збігається з висловлюваннями провідних учених минулого століття лауреатів Нобелівських премій з фізики М. Борна і Л. Ландау, які незалежно один від одного стверджували, що в ДС фазова швидкість хвиль не має жодного фізичного змісту і з фазовою швидкістю ніщо не поширюється.

Далі, відходячи від дискусії щодо методичних аспектів вимірювання швидкостей (фазової та групової) поширення хвиль різної природи в ДС, електродинамічний показник заломлення в якій залежить від частоти хвилі, орієнтуватимемось на Рекомендації МСЕ-R P.527-6 (09/2021) (Серія Р, Розповсюдження радіохвиль) [14] стосовно електричних характеристики земної поверхні, у яких, під час моделювання розповсюдження радіохвиль, рекомендують ураховувати що:

- a) електричні характеристики можуть бути виражені трьома параметрами у вигляді *магнітної проникності* μ (як міри здатності матеріалу підтримувати формування всередині себе магнітного поля у відповідь на прикладене магнітне поле), *діелектричної проникності* ϵ (як міри здатності матеріалу протистояти електричному полю) та *електропровідності* σ (як міри здатності матеріалу проводити електричний струм);
- b) магнітну проникність поверхні Землі μ можна вважати такою, що дорівнює магнітній проникності у вакуумі;
- c) електричні властивості поверхні Землі можуть бути виражені комплексною діелектричною проникністю або, що те саме, дійсною і уявною частинами комплексної діелектричної проникності;
- d) необхідна інформація про зміну глибини проникнення радіохвиль із частотою.

Оскільки земна поверхня не однорідна (вона складається з безлічі шарів різної товщини з різними електричними характеристиками), то запровадили інтегральне поняття *ефективних* параметрів під час заміщення реального середовища на його представлення у вигляді однорідного ґрунту. При цьому, «ефективні параметри можна використовувати з однорідними гладкими кривими поширення земних хвиль відповідно до Рекомендації МСЕ-К Р.368» [14, п. 2.1].

Результати дослідження. На практиці, як правило, зручно використовувати відносні (безрозмірні) проникності: діелектричну ϵ_r і магнітну μ_r , які вводять як $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ та $\mu_r = \mu/\mu_0$, де ϵ та μ – відповідно діелектрична та магнітна проникність середовища, а значення діелектричної проникності, магнітної проникності та електропровідності відповідно для вакууму дорівнюють: $\epsilon_0 = 8,854187817 \times 10^{-12}$ (Ф/м); $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (Н/А²); $\sigma_0 = 0,0$ (См/м). Причому, відповідно до цих Рекомендацій, вважають $\mu = \mu_0$ і, отже, $\mu_r = 1$. Тоді, для випадку плоскої хвилі, що падає, $E^{\rightarrow}(r,t) = E_0^{\rightarrow} e^{j(\omega t - kr)}$ (при частоті випромінювання ω , поточному часі t , магнітній проникності μ , діелектричній проникності ϵ і електропровідності σ) модуль вектору хвильового числа k^{\rightarrow} має вигляд $k^{\rightarrow} = (-j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon))^{1/2}$.

У Рекомендаціях прийнято оцінювати електричні характеристики земної поверхні за рівнем нормального глибинного проникнення електромагнітного поля у вигляді «скін-шару» δ , уздовж якого амплітуда напруженості електромагнітного поля випромінювання (усередині матеріалу) падає в e разів від свого початкового значення на поверхні ($\approx 37\%$). Так, глибину проникнення δ в однорідному середовищі з комплексною відносною діелектричною проникністю ϵ_r ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$) визначають за співвідношенням

$$\delta = \frac{\lambda}{\sqrt{2A}} ((\Delta^{1/2} - \epsilon_r''))^{1/2} \text{ (м)}, \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі в метрах, $A = (\epsilon_r')^2 + (\epsilon_r'')^2$. Очевидно, що в міру того як уявна частина комплексної відносною діелектричної проникності ϵ_r'' у рівнянні (1) наближається до нуля, глибина проникнення прямує до нескінченності.

Зокрема [14, п. 3], на рис. 1 наведено типові значення глибини проникнення електромагнітного поля залежно від частоти для різних типів поверхневих компонентів земної поверхні, включно з чистою водою (1), морською водою (2), сухим ґрунтом (3), вологим ґрунтом (4) та сухим льодом (5). При цьому глибину проникнення чистої й морської води розраховували за 20°C, солоність S морської води становила 35 г/кг, а в сухому й вологому ґрунтах враховували об'ємний вміст вологи, відповідно, що дорівнював 0,07 і 0,5. Глибина проникнення для сухого льоду дана при 0°C.

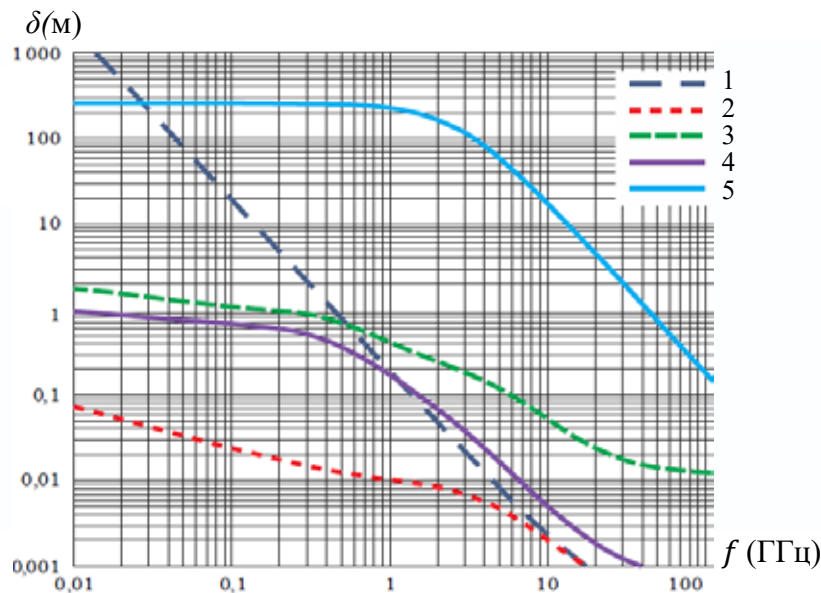


Рис. 1. Глибина проникнення δ (м) для різних типів поверхні залежно від частоти f (ГГц) [14]

Причому, на частотах до 1000 ГГц розсіювання на земній поверхні пояснювалося або поступальним рухом зарядів (провідністю), або їхнім коливальним рухом (коливання диполів), де уявну частину комплексної відносною діелектричної проникності ϵ_r'' представляють у вигляді

$$\epsilon_r'' = \epsilon_d'' + \sigma / (2\pi f \epsilon_0) \quad (2)$$

Тоді перший доданок з ϵ_d'' зумовлює розсіювання, спричинене струмами зміщення, наприклад, індуковані вібрацією диполів, а другий доданок $\sigma / (2\pi f \epsilon_0)$ – розсіювання, спричинене струмом провідності. Як

приклад залежності комплексної відносної діелектричної проникності чистої і морської води від частоти за $T = 20^\circ\text{C}$ і 0°C наведені на рис. 2 і 3 відповідно.

Доцільно зазначити, що струм провідності – це об'ємне переміщення вільних зарядів і фактично єдиний струм на нульовій частоті (тобто за постійного струму). Струм провідності завжди більший за струм зсуву при частотах, нижчих за перехідну частоту f_t , і менший за струм зсуву при частотах, вищих за перехідну частоту f_t . Перехідна частота f_t визначається як частота, за якої струм провідності дорівнює струму зміщення:

$$f_t = \sigma / (2\pi\epsilon_0\epsilon_d''). \quad (3)$$

Для непровідних діелектричних матеріалів (матеріалів без втрат) $\sigma=0$ і, отже, $\epsilon_r'' = \epsilon_d''$. Для деяких із них, таких як сухий ґрунт і суха рослинність, $\epsilon_d''=0$ і, отже, $\epsilon_r''=0$ незалежно від частоти. З іншого боку, для деяких інших непровідних матеріалів, як-от чиста вода і сухий сніг, ϵ_d'' і, отже, ϵ_r'' дорівнюють нулю тільки за нульової частоти. Для провідних діелектричних матеріалів (з втратами), таких як морська вода і вологий ґрунт, електропровідність σ має кінцеву величину, відмінну від нуля. У цьому разі замість уявної частини комплексної відносної діелектричної проникності легше працювати з провідністю σ , яку можна отримати з рівняння (2), прирівнявши ϵ_d'' до 0, тобто:

$$\sigma = 2\pi\epsilon_0 f \epsilon_r'' = 0,05563 f_{\text{GHz}} \epsilon_r'', \quad (3a)$$

де f_{GHz} – частота в ГГц. Узагальнюючи наведену вище формулу з урахуванням запису (2), отримуємо суму двох доданків, з яких один член відповідає за електропровідність, а інший – враховує розсіювання потужності, пов'язане зі струмом зсуву.

Таким чином, відповідно до [14], ефективні значення електричних характеристик ґрунту визначаються типом ґрунту, його вологістю, температурою, загальною геологічною структурою і частотою зондувального електромагнітного випромінювання. Причому, згідно з численними вимірюваннями, значення електричних характеристик ґрунту варіюються залежно від типу ґрунту, що зазвичай пов'язано з його здатністю поглинати й утримувати вологу, а не з хімічним складом самого ґрунту. Завдяки наведеним залежностям комплексної відносної діелектричної проникності, наприклад, чистої води ($S = 0$ г/кг) і морської води ($S = 35$ г/кг) від частоти (рис. 2 для $T = 20^\circ\text{C}$ і рис. 3 для $T = 0^\circ\text{C}$) та аналогічним для інших середовищ [14], з'являється можливість аналізу імпедансних параметрів ґрунту.

При цьому, фізичні та математичні аспекти дискусії щодо «проблеми, що визначає методологічну основу геоелектромагнетизму», при імпедансному описі електромагнітного поля на межі розділу «діелектрик-провідник», також залишаємо в межах раніше озвученої пізнавальної методики ЧС [15]. Проте в контексті «імпедансного опису електромагнітного поля на межі розділу діелектрик-провідник» [16], безсумнівно ключового в питанні узгодження під час діагностики ґрунту, його земну півсферу ототожнюємо з пасивним об'єктом, а систему, яка безпосередньо зондує, – з активним георадіолокаційним пристроєм (георадаром), здатним забезпечувати «приблизно плоску електромагнітну хвилю» на межі розділу «земля-повітря».

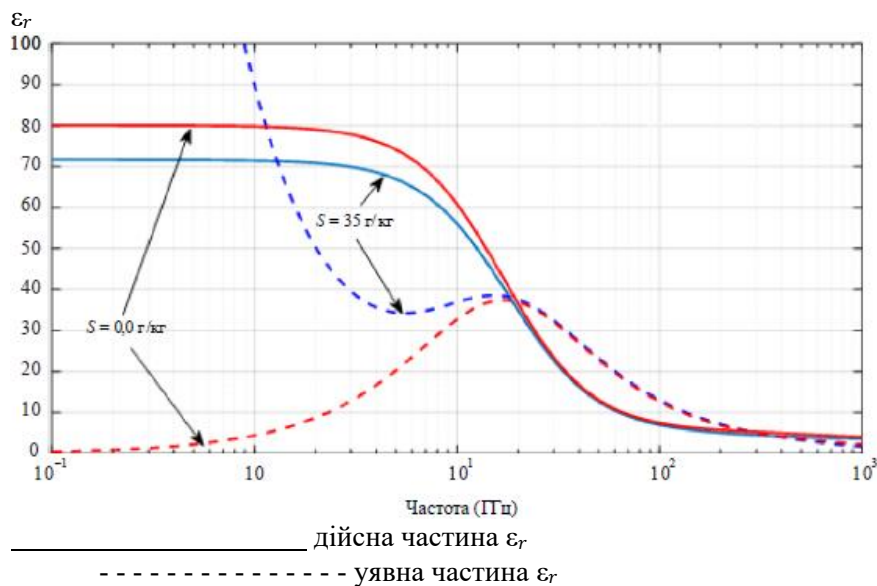


Рис. 2. Залежність комплексної відносної діелектричної проникності ϵ_r чистої та морської води від частоти за $T = 20^\circ\text{C}$ [14]

Під час реалізації приповерхневої діагностики Землі є актуальним вибір антенної системи, яка має бути узгоджена насамперед із вільним простором, оскільки складно уникнути повітряного зазору між антенним блоком і приповерхневим досліджуваним шаром землі.

Бажано забезпечити максимальний рівень електромагнітного впливу на півсферу зондування і звести до мінімуму (відфільтрувати) супутні перешкоди індустріального та іншого походження, унеможливаючи в такий спосіб різноманітні перевідбиття від об'єктів, що демаскують, як довкілля, так і стандартних (досвідчених) гетерогенних структур (або їхніх моделей), параметри яких уже вивчені в геофізичній сфері дослідження.

У зв'язку з чим зазначимо, що питання узгодження вже добре реалізуються в сучасній оптиці, що адекватно дає змогу використовувати передові структурні рішення щодо синтезу інтерференційних антивідбивних покриттів, наприклад, детально викладеними в [17]. У цій роботі запропоновано метод зв'язаних хвильових товщин, завдяки реалізації якого у вигляді тонкошарових інтерференційних структур і « π -структур» (що утворюють окремий клас *структур, що просвітлюють*, – ПС) забезпечується на заданій довжині хвилі λ одночасне виконання амплітудної та фазової умов узгодження, які приводять коефіцієнт відбиття від усієї структури до тотожного нуля.

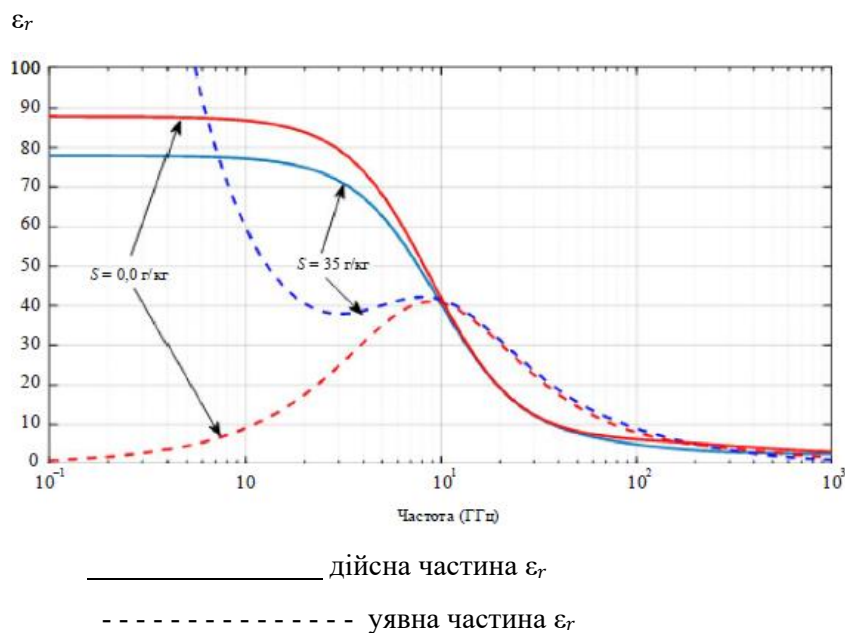


Рис. 3. Залежність комплексної відносної діелектричної проникності ϵ_r чистої та морської води від частоти за $T = 0^\circ\text{C}$ [14]

Причому, в результаті чисельного експерименту показано, що під час синтезу запропонованих багатошарових інтерференційних покриттів їхня дискретна множина (кількість) «має як структурне рішення чвертьхвильові оптичні товщини шарів».

Отже, і для нашого випадку діагностики шарувато-неоднорідної підповерхневої земної півсфери, спираючись на викладене вище, як початкове наближення, доцільно використовувати не тільки рупорні антени, які серед більшості антен найбільш узгоджені з повітряним простором завдяки конструктивному плавному переходу від хвилеводної частини до випромінювальної апертури антени, а й чвертьхвильові (або ж їм непарно кратні) діелектричні вставки, призначені для досягнення мінімуму коефіцієнта відбиття на заданій довжині електромагнітних хвиль. При цьому, сам по собі оптимальний розкрив рупорної антени апіорі зобов'язаний забезпечувати узгодження з вільним простором, у якому лінії векторів напруженості електричного E і магнітного H полів лежать у площині поперечного перерізу хвилі, а сама хвиля є поперечною ($E_z=0$, $H_z=0$), що позначається як ТЕМ-хвиля (transvers – поперечний). Під час використання однозв'язних напрямних систем для реалізації випромінювання електромагнітної хвилі через рупорну антену заведено використовувати поперечно-магнітні (ТМ) або поперечно-електричні (ТЕ) типи хвиль, що можуть розповсюджуватися як E_{mn} та H_{mn} хвилі на відповідних частотах, які перевищують їхні критичні частоти. У зв'язку з чим можливе використання різні типи рупорів. Зокрема, рупор, утворений збільшенням розміру b по вузькій стінці хвилеводу, паралельного вектору E , є секторіальним E - площинним. Рупор, утворений збільшенням розміру a по широкій стінці хвилеводу, паралельного вектору H , є секторіальним H -площинним. Рупор,

утворений одночасним збільшенням розмірів a і b поперечного перерізу хвилеводу, прийнято називати пірамідальним, а збільшенням поперечного перерізу круглого хвилеводу – конічним. При плавному переході від хвилеводу до рупора структура поля в останньому нагадує структуру поля у хвилеводі. Причому про вхідний опір $Z_{вх}$ таких антен можна судити за відбиттям від антени, яке виникає в хвилеводному тракті. У цьому разі вимірюють коефіцієнт відбиття $\dot{\Gamma}$, який визначається формулою

$$\dot{\Gamma} = \frac{\dot{Z}_{вх} - Z_0}{\dot{Z}_{вх} + Z_0}; \text{ або } \dot{\Gamma} = \frac{\frac{Z_{вх}}{Z_0} - 1}{\frac{Z_{вх}}{Z_0} + 1} \text{ или } \frac{Z_{вх}}{Z_0} (1 - \dot{\Gamma}) = 1 + \dot{\Gamma},$$

где: $\dot{Z}_{вх}$ – вхідний опір антени, а Z_0 – хвильовий опір підвідного фідера (хвилеводу). Таким чином:

$$\frac{Z_{вх}}{Z_0} = \frac{1 + \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\Gamma}}$$

де $\frac{\dot{Z}_{вх}}{Z_0} = \frac{\dot{\Gamma} + 1}{1 - \dot{\Gamma}}$ – нормований опір антени.

Наведені співвідношення справедливі для основного типу хвилі. Причому плавне збільшення перерізу хвилеводу, що конструктивно приводить до рупора, тільки покращує узгодження його (хвилеводу) з вільним простором. Отже, якщо антена узгоджена з трактом, то коефіцієнт відбиття $\Gamma = 0$ і $Z_{вх} = Z_0$, припускаючи, що тракт працює в одномодовому режимі. Наявність же будь-яких відображень призводить до низки негативних наслідків, включно зі зниженням ККД живильного фідера, порушенням стабільності роботи генератора, спотворенням інформації, що передається, зниженням рівня допустимої потужності тощо. Причому, рупорна антена здатна забезпечувати приблизно подвійний діапазон хвиль перекриття, хоча, справедливості заради, діапазонність такої рупорної антени обмежується хвилеводом, що живить її. Саме тому (через широку діапазонність рупорних антен, простоту їхньої конструкції та інші позитивні характеристики) такі антени знаходять широке застосування не тільки в техніці антенних вимірювань, а й можуть гідно експлуатуватися і в технічній сфері георозвідки з вимірювання характеристик вторинного електромагнітного поля в процесі георадіолокаційної приповерхневої діагностики Землі.

Зазвичай в реальних умовах експлуатації більшість георадарів мають повітряний зазор між антенним блоком і діагностованою землею поверхнею. Тому часто прагнуть до ліквідації (або зменшення) такого зазору з багатьох причин (передусім енергетичних, шумових тощо), домагаючись у такий спосіб нібито істотного зниження коефіцієнта відбиття від межі дотику повітряного простору з півсферою земної поверхні. Для забезпечення ж необхідної умови узгодження із землею півсферою можна в ділянці зазору застосувати шарувату, екрановану від зовнішніх індустриальних та інших електромагнітних перешкод, діелектричну вставку (як ЧС у вигляді якоїсь лінзи), в якій прилеглий шар до апертури антени відповідає електричним параметрам повітряного середовища (заповнюючи в такий спосіб нібито «небажаний» повітряний зазор), а непарно кратний чвертьхвильовий шар, прилеглий до поверхні землі і необхідний для узгодження, зобов'язаний відповідати хвильовому опору $Z_{нр.стр}$:

$$Z_{нр.стр} = (Z_0 \cdot Z_x)^{1/2},$$

де: $Z_{нр.стр}$ – характеристичний (хвильовий) опір «просвітлювальної» структури у вигляді чвертьхвильового трансформатора;

$Z_0 = |E/H| = (\mu_0/\epsilon_0)^{1/2} = 120\pi \approx 377 \text{ Ом}$ – хвильовий опір вільного простору;

Z_x – апріорно заданий (корельований з даними рис. 3) хвильовий опір діагностованого приповерхневого шару Землі з μ і ϵ , що визначається як $(\mu_0 \mu/\epsilon_0 \epsilon)^{1/2}$. Причому бажано мати цілий арсенал таких «просвітлювальних лінз», що апріорно моделюють потенційно мінливий характер шаруватого ґрунту

Висновки. Викладені аспекти приповерхневої діагностики Землі за допомогою електромагнітного глибинного її зондування зі змінним набором «лінз проясненої оптики», що орієнтовані на успішне виявлення локальних неоднорідностей, сприяють реалізації позитивної тенденції підвищення результативності в процесі розв'язання геофізичних задач розпізнавання демаскувальних параметрів об'єктів дослідження, перш за все зі сфери георозвідки. При цьому, стрімко розвиваючись, сучасні експериментальні методи, способи та пристрої, включно з теоретичними розробками, наприклад, у вигляді публікації [18], уже впритул підійшли до успішної реалізації не лише геофізичних задач глибинного розпізнавання з високим рівнем достовірності, а й до задач георадарної променевої томографії [9].

Список використаних джерел:

1. Рейтинг країн світу за рівнем урбанізації. *Гуманітарний портал: Дослідження. Центр гуманітарних технологій, 2006-2023* (остання редакція: 04.10.2023). URL: <https://gtmarket.ru/ratings/urbanization-index>.

2. Ю.С. Тарасенко. Транспортна система як об'єкт критичної інфраструктури в реаліях техносфери високоурбанізованої території. *4-а міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології»*, Харків, 27-28 листопада 2023 р.: *Тези доповідей*. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 115-118.
3. Закон України «Про критичну інфраструктуру» № 1882-IX від 16.11.2021р. *Голос України*. 14 груд. 2021 (№ 236).
4. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України». Документ 2163-VIII (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 45, ст.403), чинний, редакція від 15.12.2021
5. Підповерхнева радіолокація. М.І. Фінкельштейн, В.І. Карпукін, В.А. Кутєв, В.М. Метьюлкін; за ред. М.І. Фінкельштейна. М.: Радіо і зв'язок. 1994. 215 с.
6. В.К. Хмелевський. Геофізичні методи дослідження земної кори. Міжнародний університет природи, суспільства і людини «Дубна», 1997р.
7. Ю.С. Тарасенко. Фізичні основи радіолокації [Текст]: навч. Посіб. Т 19. Д.: «Пороги». 2011. 487 с.
8. Marina S. Sudakova, Evgeniya V. Terentieva, Alexey Yu. Kalashnikov. Searching and Measurement of Functional Voids by Means of Gpr Tomography by the Example of Two Columns. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2017. 13(1) 94-109, Volume 13, Issue 1. pp. 94-109.
9. М.С. Судакова, М.Л. Владов. Сучасні напрямки георадіолокації. *Вісн. ун-ту. Сер.4.Геологія*. 2018. № 2. С. 3-12.
10. Шуман В.М. Електродинаміка і відгук геосередовища на вплив зовнішніх електромагнітних полів. *Геофіз. Журн.* 2023. 35, № 5. С. 129-149.
11. Ю.С. Акініна, С.В. Тюрін. Елементи теорії автоматів: навчальний посібник. В: ФДБОУ ВО «ВДТУ». 2017. 184 с.
12. Yurii Ratushniak. The “black box” model of intelligent decision support system in the process of designing the electronic editions for tablet computers. *Інтернет-журнал «Наукознавство»* № 6, листопад–грудень 2013. Рр. 2-13.
13. Кошелев О.В. Про надсвітлові швидкості хвиль у сучасній геодезії та фізиці. *Віст. внз. Геодезія та аерофотозйомка*. 2011. № 4. С. 11-18.
14. Рекомендація МСЕ-R P.527-6 (09/2021) Електричні характеристики земної поверхні. Серія Р, Поширення радіохвиль. ІТУ 2022. Міжнародний союз електрозв'язку. Електронна публікація. Женева, 2022 р. с. 31.
15. Шуман В.М. Магнітотелуричний імпеданс: фундаментальні моделі та нові підходи. *Геофіз. Журн.* 2010. №. 32, № 3. С. 18-28.
16. Шуман В.М. Сучасні електромагнітні зондувальні системи: стан, тенденції розвитку, нові ідеї та задачі. *Геофіз. журн.* 2012. 34, № 4. С. 282-294.
17. Козар О. В. Метод зв'язаних хвильових товщин – універсальний метод синтезу інтерференційних антивідбивних покриттів (π-структури). *Вісн. ун-ту. Фіз. Астрон.* 2020. № 6. С. 92-98.
18. Шварцбург А.Б. Дисперсія електромагнітних хвиль у шаруватих і нестационарних середовищах (точно розв'язувані моделі). *Успіхи фізичних наук*. 2000. Том 170, № 12. С. 1297-1324.

References:

1. *Reytnyh krayin svitu za rivnem urbanizatsiyi /Humanitarnyy portal: Doslidzhennya [Elektronnyy resurs] // Tsentri humanitarnykh tekhnolohiy, 2006-2023 (ostannya redaktsiya: 04.10.2023).* [Ranking of countries by urbanization level / Humanitarian portal: Research [Electronic resource] // Center for Humanitarian Technologies, 2006-2023 (last modified: 04.10.2023).] URL: <https://gtmarket.ru/ratings/urbanization-index>.
2. Yu.S. Tarasenko. (2023). *Transportna systema yak obyekt krytychnoyi infrastruktury v realiyakh tekhnosfery vysokourbanizovanoi terytoriyi. 4-a mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya “Intelektualni transportni tekhnolohiyi”*, Kharkiv, 27-28 lystopada 2023 r.: *Tezy dopovidey*. [Transport system as an object of critical infrastructure in the realities of the technosphere of a highly urbanized territory. 4th International Scientific and Technical Conference “Intelligent Transport Technologies”, Kharkiv, November 27-28, 2023: Abstracts] – Kharkiv: UkrDUZT, 2023. S. 115-118.
3. *Zakon Ukrayiny. (2021). Pro krytychnu infrastrukturu № 1882-IX vid 16.11.2021r. Holos Ukrayiny. 2021. 14 hrud.* [Law of Ukraine. On Critical Infrastructure No. 1882-IX of November 16, 2021. Voice of Ukraine. December 14.] (№ 236).
4. *Zakon Ukrayiny “Pro osnovni zasady zabezpechennya kiberbezpeky Ukrayiny”. 2017. Dokument 2163-VIII (Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR), № 45, st.403), chynnyy, redaktsiya vid 15.12.2021* [Law of Ukraine “On the Basic Principles of Ensuring Cybersecurity of Ukraine”. Document 2163-VIII (Bulletin of the Verkhovna Rada (Jubilee), 2017, No. 45, Art. 403), current, edition of 15.12.2021]
5. *Pidpoverkhneva radiolokatsiya. [Subsurface radar] (1994). M.I. Finkel'shteyn, V.I. Karpukhin, V.A. Kutuyev, V.M. Met'olkin; za red. M.I. Finkel'shteyna. M.: Radio i zv'yazok. 1994. 215 s.*
6. V.K. Khmelevskyy. (1997). *Heofizychni metody doslidzhennya zemnoyi kory. Mizhnarodnyy universytet pryrody, suspil'stva i lyudyny “Dubna”*. [Geophysical methods of studying the Earth's crust. Dubna International University of Nature, Society and Man, 1997.]

-
7. Yu.S. Tarasenko. (2011). *Fizychni osnovy radiolokatsiyi* [Physical foundations of radar] [Tekst]: navch. Posib. T 19. – D.: “Porohy”, 2011. 487 s.
 8. Marina S. Sudakova, Evgeniya B. Terentieva, Alexey Yu. Kalashnikov. (2017). *Se arching and Measurement of Functional Voids by Means of Gpr Tomography by the Example of Two Columns*. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 13(1) 94-109, Volume 13, Issue. pp. 94-109.
 9. M.S. Sudakova, M.L. Vladov. (2018). *Suchasni napryamky heoradiolokatsiyi*. [Modern directions of georadiolocation] Visn. un-tu. Ser.4.Heolohiya. № 2. S. 3-12.
 10. Shuman V.M. (2013). *Elektrodynamika i vidhuk heoseredovyshcha na vplyv zovnishnikh elektromahnitnykh poliv*. [Electrodynamics and response of the geoenvironment to external electromagnetic fields]. Heofiz. Zhurn. 35, № 5. S. 129-149.
 11. Yu.S. Akinina, S.V. Tyurin. (2017). *Elementy teoriiy avtomativ* [Elements of automata theory]: navchalnyy posibnyk. V: FDBOU VO “VDTU”. 184 s.
 12. Yurii Ratushniak. (2013). *The “black box” model of intelligent decision support system in the process of designing the electronic editions for tablet computers*. Internet-zhurnal “Naukovedennya” Vyp. 6, lystopad–hruden 2013. Rr. 2-13.
 13. Koshelyev O.V. (2011). *Pro nadsvitlovi shvydkosti khvyl u suchasniy heodeziyi ta fizytsi*. [On FTL wave speeds in modern geodesy and physics]. Vist. vnz. Heodeziya ta aerofotozyomka. № 4. S. 11-18.
 14. *Rekomendatsiya MSE-R P.527-6 (09/2021) Elektrychni kharakterystyky zemnoyi poverkhni Seriya P, Poshyrennya radiokhvyl. ITU 2022. Mizhnarodnyy soyuz elektrovyazku. Elektronna publikatsiya*. [Recommendation ITU-R P.527-6 (09/2021) Electrical characteristics of the earth's surface. Series P, Radio wave propagation. ITU 2022. International Telecommunication Union. Electronic publication]. Zheneva, 2022 r. s. 31.
 15. Shuman V.M. (2010). *Mahnitotelurichnyy impedans: fundamentalni modeli ta novi pidkhody*. [Magnetotelluric impedance: fundamental models and new approaches]. Heofiz. Zhurn. №. 32, № 3. S. 18-28.
 16. Shuman V.M. (2012). *Suchasni elektromahnitni zondovalni systemy: stan, tendentsiyi rozvytku, novi ideyi ta zadachi*. [Modern electromagnetic sensing systems: state of the art, development trends, new ideas and tasks]. Heofiz. zhurn. 34, № 4. S. 282-294.
 17. Kozar O. V. (2020). *Metod zvyazanykh khvylovykh tovshchyn – universalnyy metod syntezy interferentsiynykh antyvidbyvnykh pokryttiv (p-struktury)*. [The method of coupled wave thicknesses is a universal method for the synthesis of interference-reflective coatings (π -structures)]. Visn. un-tu. Fiz. Astron. № 6. S. 92-98.
 18. Shvartsburh A.B. (2000). *Dypersiya elektromahnitnykh khvyl u sharuvatykh i nestatsionarnykh seredovyshchakh (tochno rozvyazuvani modeli)*. [Dispersion of electromagnetic waves in layered and unsteady media (exact models)]. Uspikhy fizychnykh nauk. № 170, № 12. S. 1297-1324.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 621.311

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.8>

Бех Я. П., аспірант кафедри «Автоматика та телекомунікації»
Українського державного університету науки і технологій
ORCID: 0009-0005-6697-8727

АНАЛІЗ РЕЗЕРВНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Пристрої автоматики та телемеханіки на залізничному транспорті (СЦБ) призначені для автоматизації процесів, пов'язаних з управлінням рухом поїздів, забезпечення безпеки та необхідної пропускну здатності залізниць, а також оптимізації процесу перевезень.

Рух поїздів по перегонах, поїзна та маневрова робота на станціях здійснюються в умовах безперервної динамічної обстановки. В таких умовах для швидкої передачі різних наказів та вказівок локомотивним бригадам та іншим працівникам, пов'язаним із рухом поїздів, застосовують залізничну сигналізацію. Вона дозволяє регулювати рух поїздів на перегонах, поїзну та маневрову роботу на станціях та забезпечує безпеку руху.

Пристрої автоматики та телемеханіки, що використовуються в даний час на залізничному транспорті, по задачах і області застосування, що вирішуються, ділять на перегонні і станційні.

Перегонні системи регулюють рух поїздів на перегонах, до них відносяться:

– напівавтоматичне блокування регулює рух поїздів на ділянках з неінтенсивним рухом, правом на заняття поїздом перегону є дозвіл вихідного світлофора станції;

– автоматичне блокування регулює рух поїздів за допомогою колійних світлофорів, встановлених на перегоні, які поділяють перегін на блок-ділянки. Покази прохідних світлофорів змінюються автоматично під дією поїздів, що рухаються. Основним елементом автоматичного блокування є рейкові ланцюги, головне призначення яких – визначення місцезнаходження поїзда;

– автоматична локомотивна сигналізація підвищує безпеку руху поїздів та покращує умови праці локомотивних бригад – показання колійних світлофорів передаються безпосередньо до кабіни машиніста;

– автоматичний диспетчерський контроль дає можливість зосередити інформацію про поїзну ситуацію та показання вхідних та вихідних станційних світлофорів у межах диспетчерського кола на табло поїзного диспетчера. Ця інформація дозволяє оперативно керувати рухом поїздів, вживаючи своєчасних заходів щодо виконання графіка руху.

Станційні системи регулюють рух поїздів на станціях та великих ділянках, це:

– електрична централізація стрілок та сигналів;

– диспетчерська централізація є найбільш досконалим та ефективним засобом регулювання руху поїздів на залізницях;

– автоматизація сортувальних гірок – комплекс пристроїв, що підвищує переробну здатність сортувальних гірок.

Ключові слова: *пристрої залізничної автоматики, електропостачання залізниць, резервні джерела живлення, сонячні батареї.*

Bekh Ya. P. Analysis of reserve power supply systems of railway automation devices

the use of signaling, centralization and blocking systems (SCB) makes it possible to increase the throughput and carrying capacity of railways, ensuring safe and uninterrupted movement of trains, and reduces the turnaround time of cars, increasing the speed of passenger and freight deliveries.

Automation and telemechanics devices currently used in railway transport, according to the tasks they solve and areas of application, are divided into stage and station ones.

Semi-automatic blocking regulates the movement of trains in areas with light traffic. Automatic blocking regulates the movement of trains using track traffic lights installed on the stretch, which divide the stretch into block sections. The indications of passing traffic lights change automatically under the influence of moving trains. The main element of the battery is track circuits, the main purpose of which is to determine the location of trains. Automatic locomotive signaling increases train safety and improves working conditions for locomotive crews. With their help, the readings of track traffic lights are transmitted directly to the driver's cabin.

Automatic crossing signaling and automatic barriers ensure the safety of train traffic when crossing railways at the same level as roads. These devices automatically activate traffic signal devices for vehicles and close the barrier when a train approaches and open it after the train has passed.

Station systems regulate the movement of trains in stations and large areas: – electrical centralization of switches and signals – a set of automation and telemechanics devices that provide control of switches and signals of the entire station from one point by the station duty officer; – dispatch centralization is the most advanced and effective means of regulating train movement on railways. This system combines automatic blocking devices, electrical centralization and coded telecontrol and tele-signaling systems. It allows you to control switches and signals from one point and makes it possible to concentrate all administrative and executive functions for regulating train traffic at the train dispatcher; – automation of sorting humps – a set of devices that increases the processing capacity of sorting humps.

Therefore, ensuring their reliable operation, even in emergency situations, is an important task, and the use of alternative solutions provides economic and technical reserves.

Key words: devices of railway automation, power supply of railways, backup power sources, solar batteries.

Постановка проблеми. Надійне та безперервне електропостачання потребується для стабільної роботи пристроїв автоматики та телемеханіки залізничного транспорту. Пристрої СЦБ та інші електроспоживачі залізниць відносяться до різних груп електроспоживачів та електроприймачів.

Електроприймачі, перебої в електропостачанні яких можуть привести до небезпеки для життя людей, значного збитку державі, масового браку при перевезеннях, виходу із ладу устаткування, пошкодження важливих елементів належать до споживачів першої категорії. Тому отримання постійного, надійного живлення від енергосистем, електростанцій, підстанцій або ліній електропередачі, що мають достатньо стабільну частоту, напругу та потужність на своїх шинах є головною ціллю безпеки для таких отримувачів живлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто схеми, конструкцію, принцип дії та особливості функціонування первинних та вторинних джерел електричної енергії живлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку. Наведено класифікації випрямлячів, стабілізаторів, інверторів, методу розрахунку та вибору параметрів пристроїв електроживлення систем автоблокування та електричної централізації [1].

Наведена методологія, що дозволяє поєднувати якісні та кількісні оцінки різних факторів ризику для прийняття інтегрального рішення при приєднанні відновлюваних джерел енергії до системи електропостачання. Підтримка надійності, стабільності та ефективності електричної системи стає складним питанням для розподільних мереж із змінними енергетичними ресурсами. Збільшення частки сонячних електричних станцій у генерації енергосистеми становить великий виклик для ефективного управління розподільною мережею та серйозну загрозу її нормальному функціонуванню [2].

Визначення, з метою забезпечення сумісності між рухомих складом і колійними колами, обмеження для провідних перешкод від рухомого складу та підтвердження відповідності рухомого складу цим обмеженням [3].

Встановлення вимог до допуску рухомого складу до інфраструктури у сфері: – узгодження принципів захисту між джерелом живлення та тяговими одиницями, особливо розпізнавання несправностей при коротких замиканнях; – узгодження встановленої потужності на лінії та потреби в електроенергії поїздів; – узгодження рекуперативного гальмування тягового агрегату та сприйнятливості джерела живлення; – координація гармонійної поведінки [4].

Оцінено енергоефективність системи електротяги та якість електроенергії електричної мережі. Досліджено електромагнітну сумісність (ЕМС) тягових і нетягових споживачів. Досліджується поширення тягового струму, а також третьої гармоніки [5].

Дослідження електромагнітної сумісності в залізничному середовищі, зокрема, у чотирьох дослідницьких галузях: системах спостережної сигналізації, колійних ланцюгах, GSM-R та службах радіомовлення [6].

Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» це документ, який визначає стратегічні цілі розвитку енергетичного комплексу України на період до 2035 року [7].

Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення [8].

Мета статті. Дослідження шляхів удосконалення системи резервного електроживлення пристроїв залізничної автоматики.

Виклад основного матеріалу. Приймачі першої категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел живлення й перерва їхнього електропостачання може бути допущена тільки на час автоматичного включення резервного живлення.

Для приймачів першої категорії необхідно передбачати додаткове електропостачання від третього незалежного джерела. Для цього використовують автоматизовані дизель-генератори або акумуляторні батареї [1, 2].

Саме тому задача модернізації системі резервного електроживлення пристроїв залізничної автоматики з метою підвищення надійності і якості електропостачання є актуальною.

Високовольтні лінії СЦБ поділяють на окремі ділянки – плечі живлення. Кожне плече повинно забезпечуватись двостороннім живленням від пунктів основного й резервного живлення, які розташовані по кінцям

дільниці. Це відноситься й до ліній поздовжнього електропостачання, які використовуються для резервного живлення пристроїв СЦБ.

У системі живлення змінним струмом довжина плеча не повинна бути більшою 50 км (рис. 1). Електроживлення кожного плеча ВЛ СЦБ та ВЛ ПЕ виконується роздільним і, крім того, електроживлення кожного плеча ВЛ СЦБ повинно проходити через ізолюючі трансформатори.

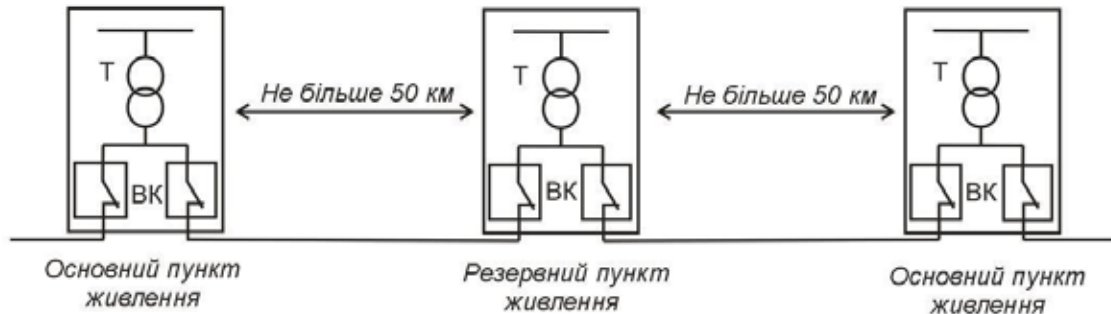


Рис. 1. Схема живлення ВЛ СЦБ при системі змінного струму

На ділянках з великою інтенсивністю руху, де суміжні пункти живлення не досить надійні або де при надійних пунктах живлення відстань між ними перевищує 50 км, для зменшення довжини лінії, що вимикається під час аварій, на кожен ділянку лінії доцільно подавати електричну енергію одночасно з обох боків назустріч один одному із розривом всередині та установкою пункту секціонування, який є резервним пунктом живлення (рис. 2) [1].

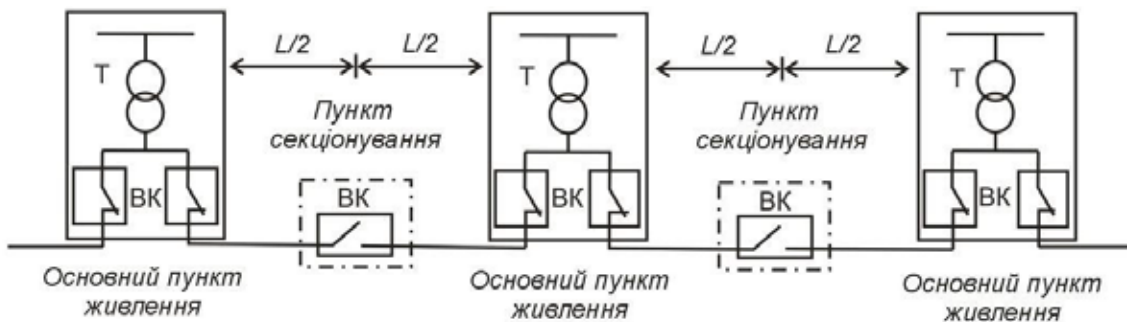


Рис. 2. Установка пункту секціонування на електрифікованих ділянках

Якщо пристрої АБ отримують електроживлення від телекерованих тягових підстанцій, фідерні вимикачі живильних пунктів автоблокування також вмикаються в загальну систему телекерування. По можливості пункти живлення автоблокування повинні мати однакову фазу та в необхідних ситуаціях допускати паралельну роботу трансформаторів.

У змішаній системі живлення, так само як і при системі змінного струму, всю високовольтну лінію ділять на окремі ділянки, тобто плечі живлення, кожне з яких отримує живлення з обох кінців (рис. 3). Довжина плеча живлення не може бути більшою 40 км.



Рис. 3. Схема електроживлення ВЛ СЦБ при змішаній системі

У разі неможливості дотримання значень довжин від наявних джерел енергії для електроживлення пристроїв СЦБ, між ними розміщують автоматизовані резервні електричні станції. Якщо відстань між

наявними пунктами живлення перевищує 40 км, то замість резервного пункту живлення допускається обладнати автоматичний пункт секціонування. Автоматичний пункт секціонування в нормальному режимі живлення високовольтної лінії ділить останню на дві частини, а при відключенні одного із суміжних з ним пунктів автоматично з'єднує обидві частини лінії, подаючи в них живлення з одного кінця [1].

Резервне живлення АБ відбувається від акумуляторних батарей, при цьому ємність акумуляторів приймається з урахуванням добового резерву. На основних пунктах живлення високовольтні фідери автоблокування, роблять роздільними для кожного плеча живлення й монтують на закритих підстанціях. На пунктах резервного живлення високовольтні фідери АБ можуть бути загальними на два плеча живлення з наступним їхнім розподілом на підстанціях або повітряних розподільних пунктах.

Передбачають по одному роз'єднувачу наприкінці кожного перегону в силовій опорі для живлення вхідного світлофора (з боку перегону). В середині включають ще один роз'єднувач, якщо довжина перегону буде більшою 10 км. Незалежно від системи електроживлення роз'єднувачі, які встановлені біля вхідних світлофорів з боку перегону й в середині перегону, обладнують електроприводами з дистанційним керуванням від чергового по станції або диспетчера.

Аналогічними є схеми пунктів живлення пристроїв диспетчерської централізації щодо розглянутих схем енергопостачання пристроїв АБ [1, 5].

Одні із важливих та необхідних елементів засобів залізничної автоматики та телемеханіки вважаються живильні панелі на постах ЕЦ. Тому у разі їх несправності може статися повна відмова в роботі пристроїв електричної централізації та масових затримок поїздів. Розглянуті можливі шляхи усунення недоліків, власних магнітним пускачів (контакторів) і схемами управління ними.

Відповідно до проведеного аналізу найчастіше виходять з ладу:

- 30,5 % – магнітні пускачі (контактори);
- 19,6 % – захисні автомати;
- 18,5 % – запобіжники;
- 13 % – монтаж;
- 7 % – зарядні пристрої;
- 5,4 % – тумблери і пакетні вимикачі [5].

Крім того, близько 40 % панелей електроживлення давно виробили свій термін експлуатації та потребують заміни.

До головних причин пошкоджень магнітних пускачів (контакторів) живильних панелей в порядку спадання за частотою відмов відносяться:

- зникнення електричного контакту в силових (внаслідок підгорання або зламу пружини) та допоміжних контактах;
- несправності магнітної системи через зношування контактуючих поверхонь або несправності короткозамкненого витка, що виражається в сильному гудінні і вібрації пристрою;
- пошкодження або злам котушки з причини згорання обмотки або міжвиткового замикання.

Незважаючи на конкретні конструктивні недоліки ці причини носять комплексний характер. Так, наприклад, зникнення електричного контакту в силових та допоміжних контактах відбувається через несвоєчасне їх очищення та регулювання. Крім цього, відкрита конструкція допоміжних контактів на тлі використання в конструкції наклепів звичайних матеріалів, які легко окислюються (міді, латуні та ін.) замість спеціалізованих сплавів у поєднанні з відсутністю можливості їх резервування теж знижують надійність. Це характерно практично для всіх типів магнітних пускачів (контакторів) [1, 5].

Без спеціально розроблених технічних рішень та застосування сучасної елементної бази підвищити надійність роботи силових комутуючих вузлів панелей електричного живлення не представляється можливим.

Перспективним є впровадження сонячних батарей на переїздах. Акумуляторні батареї забезпечують роботу електроприводів автошлагбаумів і резервування вогнів переїзних світлофорів при відключенні змінного струму. Для пристроїв переїзної сигналізації з автошлагбаумами використовуються батареї на 28 В, без автошлагбауму – на 14 В. Потужність пристроїв переїзної сигналізації з автошлагбаумом визначається потужністю двигуна постійного струму типу СЛ-571к, яка складає 95 Вт, або двигуна змінного струму типу АИР56В4Б 18 Вт та двох лампочок світлофору типу ЖС-12 30 Вт. Таким чином, необхідно передбачити резервування навантаження потужністю 125 або 48 Вт. Двигуни типу СЛ-571к є застарілими. Потужність пристроїв переїзної сигналізації без автошлагбауму враховує потужність двох ламп переїзної сигналізації та дзвінка при нарузі живлення 24 В – 9,6 Вт і при 12 В – 4,8 Вт. Тому потужність, яку необхідно резервувати, 40 або 35 Вт [1, 2, 6].

При розрахунках потужності сонячних панелей одним з головних факторів є рівень інсоляції місцевості. Найбільший рівень інсоляції у центральній та південній Україні, тому вигідніше буде застосовувати запропонований спосіб резервування електричного живлення на перегонах цієї місцевості. Найкращим вибором фотоелемента даної панелі буде монокристалічний тип, так як він має більшу потужність на одиницю площі ніж полікристалічний. Однак і коштує більше. Полікристалічні сонячні батареї коштують приблизно

40 центів за 1 Вт, а монокристалічні – до 60 центів за 1 Вт. Не менш важливим є температурний коефіцієнт потужності – зменшення потужності, при збільшенні температури навколишнього середовища. Коефіцієнт сильно залежить від якості фотоперетворювачів. На даний момент деякі панелі мають термін експлуатації до двадцяти років, за цей час вони встигнуть себе окупити і навіть принести прибуток [5].

На станціях даний спосіб резервування буде менш вигідним, оскільки загальне навантаження значно більше та складає близько 40...60 кВА, потужність пристроїв гарантованого живлення – 12...48 кВА в залежності від кількості стрілок на крупних станціях. Потужність пристроїв гарантованого живлення постійної напруги 700...850 Вт. Напруга живлення АБ 24 В, ємність 216...360 А-год. Тому потужність резервування, яку необхідно забезпечити, важко буде досягти одними сонячними панелями.

При безакумуляторній системі електроживлення ЕЦ від перетворювачів (інверторів) типу ИТ-0,3-24, установлених на панелі ПВПМ-ЕЦК, отримують живлення (у випадку відключення всіх джерел змінного струму) наступні навантаження гарантованого змінного струму: станційні блоки дешифраторів кодового АБ, прилягаючих до станції блок-ділянок; схеми зміни напрямку руху та контролю прилеглих перегонів (при організації двостороннього руху поїздів); схеми ДСН на прилеглих перегонах; схеми ДСН на станції; схеми огороження поїздів [6].

Номінальні (максимальні) потужності цих навантажень приведені в розрахунковій табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок навантажень перетворювачів

Навантаження	Вимірювач	Потужність навантаження		Кількість одиниць виміру	Максимальна потужність навантажень	
		P, Вт	Q, ВАр		P, Вт	Q, ВАр
Схема зміни напрямку (блок ДСПН-2)	Підхід	12,7	6,0	5	63,5	30
Схема ДСН	Пост ЕЦ	36,5	5,0	1	36,5	5
Станційні дешифратори автоблокування	Підхід	16,6	16,8	5	83	84
Схема ДСН на перегоні (блок ДСНП-2)	Підхід	12,7	6,0	5	63,5	30
Всього		–	–		246,5	149

Розрахунок потужності перетворювачів виконується за результатами розрахунку максимальної потужності навантажень S_m :

$$S_m = \sqrt{(\sum P_m)^2 + (\sum Q_m)^2}, \quad (1)$$

$$S_m = \sqrt{246,5^2 + 149^2} = 288,03 \text{ ВА.}$$

Приймаємо перетворювачі потужністю 300 Вт.

Треба мати на увазі, що навантажувальна здатність перетворювачів істотно залежить від коефіцієнта потужності навантаження:

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum P_m}{S_m}, \quad (2)$$

$$\cos \varphi_m = \frac{246,5}{288,03} = 0,856.$$

Реальний коефіцієнт потужності виявився меншим 0,9, тому навантаження на перетворювач повинно бути зменшене.

Допустимо в цьому випадку навантаження, яке можна підключити до перетворювача визначається за формулою:

$$P_{дон} = \frac{1,76 \cdot P_{ном}}{1 + \frac{1,57 \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_m}}{\cos \varphi_m}}, \quad (3)$$

$$P_{дон} = \frac{1,76 \cdot 300}{1 + \frac{1,57 \cdot \sqrt{1 - 0,856^2}}{0,856}} = 270,91 \text{ Вт.}$$

Оскільки потужність навантаження менша ніж $P_{дон}$, то залишаємо перетворювачі потужністю 300 Вт.

Коефіцієнт завантаження перетворювачів визначається за виразом:

$$K_n = \frac{P_n}{P_{ном}}, \quad (4)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність перетворювачів з урахуванням його настройки на максимальну потужність навантаження,

$$K_n = \frac{246,5}{300} = 0,822.$$

Коефіцієнт потужності впливає не тільки на використання встановленої потужності перетворювачів, але також і на їх коефіцієнт корисної дії (ККД). Тому ККД перетворювачів визначається з урахуванням коефіцієнта потужності η_ϕ та завантаження η_n :

$$\eta_n = \frac{\eta_\phi \cdot \eta_n}{0,82}, \quad (5)$$
$$\eta_n = \frac{0,77 \cdot 0,82}{0,82} = 0,77.$$

Із урахуванням величин P_n та η_n визначається струм перетворювачів I_n , який споживається перетворювачем від батареї, і складає:

$$I_n = \frac{P_n}{\eta_n \cdot U_6}, \quad (6)$$

де U_6 – номінальна напруга акумуляторної батареї, яка складає 24 В,

$$I_n = \frac{246,5}{0,77 \cdot 24} = 13,34 \text{ А.}$$

Зараз питання електропостачання постів ЕЦ та інших станційних приміщень, а також перегінних пристроїв СЦБ вирішуються згідно з вимогами нормативних документів, затверджених Міністерством інфраструктури України. У своїй основі ці документи базуються на вимогах ПУЕ. При цьому живлення передбачається від поєднаних або спеціальних комплексних трансформаторних підстанцій (КТП), а іноди і від власних фідерів 0,4 кВ [1, 4]. Станційні облаштування автоматики магістрального залізничного транспорту (пости ЕЦ) в основному отримують електроенергію від трифазних трансформаторних підстанцій з вторинною напругою 380/220 В і глухозаземленою нейтраллю. Проектування схем електропостачання і заземлення відбувається згідно з погодженими нормативними документами та діючими Державними стандартами [7, 8].

Принципово введення живлячої напруги відбувається наступним чином: від трансформаторної підстанції введення в постову будівлю здійснюється чотирижильним кабелем, який підключається до клем щита ввідного перемикачів (ЩВП), що призначених для знеструмлення приміщення при пожежній небезпеці. Далі напруга подається внутрішнім чотирижильним кабелем на ввідну панель ПВ1-ЕЦК, в якій по кожній фазі встановлені пристрої захисту. Корпуси ЩВП, ПВ1-ЕЦК і інших панелей електроживлення підключаються до нуля через четверту жилу кабелю, з'єднану з нейтраллю трансформатора (нульовий робочий провідник). Біля постової службово-технічної будівлі обладнується заземлювач, який з'єднаний з контурами магістралей заземлення в службових кімнатах (релейною, зв'язковою, генераторною), які заземлюються провідниками об'єднанні з корпусами стативів, панелей, ЩВП, пультом-табло. Через що створюється повторне заземлення устаткування. До цих же заземлюючих пристроїв (ЗП) підключені прилади захисту від перенапруги. Електроживлення пристроїв СЦБ (реле, світлофори, рейкові кола, контрольні і робочі кола стрілочних електроприводів) відокремлено від трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю розділовими трансформаторами, що розташовуються в закритих панелях живлення. Ізоляція джерел живлення пристроїв СЦБ безперервно контролюється сигналізаторами заземлення з питомою чутливістю 1 кОм/В. Через що напруга, що подається на стативи з апаратурою і на виконавчі пристрої СЦБ, ізолювана від землі, що дає можливість використати однополюсне розмикання кіл. Для підтримки нормального рівня ізоляції віддалені від поста навантаження змінного струму з номінальною напругою 220 В згруповані в окремі розділові трансформатори з максимальною потужністю 1,5 кВ-А [2, 6].

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших розвідок у даному напрямку. До споживачів першої категорії відносять пристрої електричної централізації за надійністю електроживлення. Найбільш вимогливих до надійності електроживлення виділяють групу серед усіх споживачів першої категорії. Споживачі цієї групи повинні мати третє незалежне джерело електроенергії – ДГА.

В системі живлення автоблокування змінним струмом сигнальні установки отримують електроенергію від двох трансформаторів, що приєднані до ліній основного (ВЛ СЦБ 6 (10) кВ) та резервного (ВЛ ПЕ 6 (10) кВ) електроживлення.

Надійним резервом для живлення пристроїв АБ при припиненні подачі електричної енергії від ВЛ СЦБ виступають лінії поздовжнього електропостачання, в свою чергу отримуючи живлення від тягових підстанцій. Резервування лінійних трансформаторів відбувається у випадку відсутності другого високовольтного кола.

Використання змішаної системи живлення передбачається тільки для залізничних ділянок з автономною тягою, а живлення системи змінним струмом від ВЛ СЦБ. У разі відключення джерела змінного струму, пристрої переходять на живлення від акумуляторів.

Одним із рішень для поліпшення параметрів якості електроенергії, полегшення умов праці обслуговуючого персоналу за рахунок модернізації системи резервного електропостачання пристроїв залізничної автоматики є запровадження сонячних батарей та акумуляторів нового покоління закритого типу на пристроях переїзної сигналізації.

На станціях із кількістю стрілок більше 30, є можливість забезпечити електропостачання пристроїв МРЦ по двох окремих лініях від двох незалежних джерел зовнішніх мереж змінного струму. В якості третього незалежного джерела живлення передбачається ДГА, і тоді електроживлення пристроїв МРЦ відбувається по безбатарейній системі [1, 5].

Для захисту від перенапружень (атмосферних і комутаційних) на високій і низькій стороні різних КТП передбачаються обмежувачі перенапружень, розрядники, іскрові проміжки, оскільки при дії на високовольтну обмотку трансформатора блискавки, 40 % перенапружень здатні навістись ємнісним шляхом. Вибір обмежувачів перенапруження (ОПН) робиться без урахування часу відключення однофазних коротких замикань, тобто по найбільшій робочій напрузі. Захист трансформатора з високої сторони відбувається високовольтними запобіжниками, які забезпечують тільки максимальний захист. Захист трансформатора по низькій стороні від струмів відбувається автоматичними вимикачами, але захист від неповно фазного режиму не передбачають, тому відключити трансформатор при такому виді ушкодження неможливо [6].

Варто додати, що робота обладнання при тривалих перенапруженнях утворює прискорене старіння ізоляції, що призводить до порушення ізоляції кабелів та обладнання, що може створити пожежу. До початку війни, на мережі залізниць експлуатувалось понад 5000 постів електричної централізації. Споруди і обладнання ЕЦ знаходяться в експлуатації різний проміжок часу, багато з них вже експлуатуються понад 50 років, тобто набагато більше нормативного терміну служби.

Список використаних джерел:

1. Гаврилюк, В. І. Електроживлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку: монографія / В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко, Т. М. Сердюк; за заг. ред. В. І. Гаврилюка; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2016. 193 с.

2. Characteristics of the electric power distribution in electrical measures of the secondary purpose: State standard DSTU EN 50160: 2014 (EN 50160: 2010, IDT). [Valid from 10.10.2014]. Kyiv (Ukraine). 2014. 27 p.

3. CENELEC CLC/TS 50238-2, (2010). Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems – Part 2: Compatibility with track circuits. CENELEC prEN 50238-2 (draft, Pr. 15360). (2009). Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems – Part 2: Compatibility with track circuits. 74.

4. CENELEC EN 50388. (2005). Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability.

5. Tetiana Serdiuk, «Electromagnetic Compatibility and Power Quality of Traction and Non-Traction Consumers», Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Date of Conference 23-25 Sept. 2020, INSPEC Accession Number: 20166733, DOI: 10.1109/EMCEUROPE48519.2020.9245735. Publisher: IEEE. Conference Location: Roma, Italy.

6. Serdiuk T., Kuznetsov V., Serdiuk K., Nikolenko A., Kuznetsova Ye., Kuznetsova A. «Improvement of technical service of track circuits», Published in: 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS); Date of Conference: April 17-19, 2019 Kyiv, Ukraine; IEEE Catalog Number: CFP19U02-USB; ISBN: 978-1-7281-2159-8. Publisher: IEEE. Conference Location: Kyiv, Ukraine. Pages: 28 – 32.

7. Ukraine's Energy Strategy for 2035: «Security, Energy Efficiency, Competitiveness» Approved by the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017. N 605-p. Kyiv, 2017. – 73 p. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.

8. Electric energy. Standards for the quality of electric energy in power supply systems of general purpose: GOST 13109-97. [Introduction 01.01.2000]. Kyiv: Publishing house of standards, 1998; Gosstandart of Ukraine, with ext. et al., 1999. 31 p.

References:

1. Gavrylyuk, V. I. [Elektrozhyvlennia system zaliznychnoi avtomatyky, telemekhaniky ta zviazku] Power supply of railway automation, telemechanics and communication systems: monograph / V. I. Gavrylyuk,

V. G. Sychenko, T. M. Serdyuk; in general ed. V.I. Havrylyuk; Dnipropetrovsk national Railway University transp. named after Acad. V. Lazaryan. Dnipropetrovsk, 2016. 193 c.

2. Characteristics of the electric power distribution in electrical measures of the secondary purpose: State standard DSTU EN 50160: 2014 (EN 50160: 2010, IDT). [Valid from 10.10.2014]. Kyiv (Ukraine). 2014. 27 p.

3. CENELEC CLC/TS 50238-2, (2010). Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems – Part 2: Compatibility with track circuits. CENELEC prEN 50238-2 (draft, Pr. 15360). (2009). Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems – Part 2: Compatibility with track circuits. 74.

4. CENELEC EN 50388. (2005). Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability.

5. Tetiana Serdiuk, «Electromagnetic Compatibility and Power Quality of Traction and Non-Traction Consumers», Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Date of Conference 23-25 Sept. 2020, INSPEC Accession Number: 20166733, DOI: 10.1109/EMCEUROPE48519.2020.9245735. Publisher: IEEE. Conference Location: Roma, Italy.

6. Serdiuk T., Kuznetsov V., Serdiuk K., Nikolenko A., Kuznetsova Ye., Kuznetsova A. «Improvement of technical service of track circuits», Published in: 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS); Date of Conference: April 17-19, 2019 Kyiv, Ukraine; IEEE Catalog Number: CFP19U02-USB; ISBN: 978-1-7281-2159-8. Publisher: IEEE. Conference Location: Kyiv, Ukraine. Pages: 28 – 32.

7. Ukraine's Energy Strategy for 2035: «Security, Energy Efficiency, Competitiveness» Approved by the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017. N 605-p. Kyiv, 2017. – 73 p. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.

8. Electric energy. Standards for the quality of electric energy in power supply systems of general purpose: GOST 13109-97. [Introduction 01.01.2000]. Kyiv: Publishing house of standards, 1998; Gosstandart of Ukraine, with ext. et al., 1999. 31 p.

Докієнко Л. М., кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри організації авіаційних робіт і послуг
Національного авіаційного університету
ORCID: 0000-0001-6528-6810

Лямзін А. О., доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри організації авіаційних робіт і послуг
Національного авіаційного університету
ORCID: 0000-0002-6964-845X

ОСОБЛИВОСТІ ТА КЛЮЧОВІ СКЛАДОВІ СЕРВІСНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ

У статті доведено, що якісно побудована система сервісного обслуговування в сучасній авіаційній галузі має першочергове значення. Визначено сутність та обґрунтовано особливості сервісної діяльності в авіаційній галузі, а саме: безпосередній контакт та взаємодія між споживачем і постачальником послуг на всіх етапах в сегменті B2C та B2B; висока роль персоналу; індивідуальний підхід до клієнтів; особлива увага до клієнтського досвіду; підтримка якості послуг; широке застосування технологій; орієнтація на результат; обов'язкове забезпечення авіа безпеки; наявність нестандартних ситуацій; зручність та технічна адекватність послуг; виважена цінова політика; високі вимоги до повноти та якості інформаційного забезпечення пасажирів.

Запропоновано розглядати сервісну діяльність в авіаційній галузі у контексті клієнтоорієнтованого підходу до обслуговування у розрізі двох складових: системи обслуговування пасажирів та системи обслуговування виробничої інфраструктури аеропорту та авіакомпанії в аеропорту.

До складу системи обслуговування пасажирів запропоновано включити: побудову клієнтоорієнтованого сервісу та використання сучасних технологій обслуговування і комунікації з клієнтами для якісного обслуговування пасажирів персоналом аеропорту та авіакомпанії. Складовими оцінки якості обслуговування в аеропорту визначено приміщення/інфраструктуру, процеси, та персонал, для яких розроблено систему критеріїв оцінювання. Оцінку обслуговування пасажирів авіакомпанією запропоновано здійснювати у розрізі наземного обслуговування, що включає перед польотом і після польотом обслуговування пасажирів та організацію авіаційної діяльності; і обслуговування пасажирів на борту повітряного судна з оцінкою роботи екіпажу борту та бортового продукту. Для кожної складової розроблено розширену систему критеріїв оцінювання.

До складу системи обслуговування виробничої інфраструктури аеропорту та авіакомпанії в аеропорту віднесено: послуги хендлінгових компаній, послуги з експлуатації та обслуговування аеродрому, послуги з організації забезпечення польотів та обслуговування авіа доставки вантажів і багажу. Для кожної складової розглянуто види послуг, що їх формують.

Ключові слова: сервісна діяльність, авіаційна галузь, аеропорт, авіакомпанія, якість обслуговування.

Dokienko L. M., Lyamzin A. O. Features and key elements of service activities in the aviation industry

The article proves that a well-built service system in the modern aviation industry is of primary importance. The essence and features of service activities in the aviation industry are substantiated: direct contact and interaction between the consumer and the service provider at all stages in the B2C and B2B segment; high role of personnel; individual approach to clients; special attention to customer experience; maintaining the quality of services; wide application of technologies; result orientation; mandatory provision of aviation security; presence of non-standard situations; convenience and technical adequacy of services; balanced pricing policy; high requirements for the completeness and quality of passenger information provision.

It is proposed to consider service activity in the aviation industry in the context of a client-oriented approach to service in terms of two components: the passenger service system and the service system for the production infrastructure of the airport and airlines at the airport.

The passenger service system is proposed to include: the construction of customer-oriented service and the use of modern technologies of service and communication with customers for high-quality passenger service by airport and airline personnel. The components of the assessment of service quality at the airport are defined as premises/infrastructure, processes, and personnel, for which a system of assessment criteria has been developed. The assessment of passenger service by the airline is proposed to be carried out in terms of ground service, which includes pre-flight and post-flight passenger service and organization of aviation activities; and passenger service on aircraft board with evaluation of the efficiency of the cabin crew and the on-board product. An extended system of evaluation criteria has been developed for each component.

The service system of the production infrastructure of the airport and airlines at the airport includes: services of handling companies, services for the operation and maintenance of the airfield, services for the organization of flight support and air cargo and baggage delivery services. For each component, the types of services that form them are considered.

Key words: *service activity, aviation industry, airport, airline, service quality.*

Постановка проблеми. Сучасні авіакомпанії вимушені функціонувати в середовищі постійних змін, зумовлених коливаннями ринків, частими злиттями та альянсами, нестабільними економічними факторами та викликами, постійно зростаючими потребами та очікуваннями клієнтів, технологічними змінами та необхідністю впровадження сучасних цифрових рішень. Основні гравці авіаринку – авіакомпанії та аеропорти вищого рівня – розуміють, що технології та швидко доступна повна інформація в руках клієнтів змінюють «правила гри», і на сьогодні вже недостатньо покладатися виключно на імідж бренду, присутність на ринку чи масштаб. Те, що вирізняє і вирізнятиме лідерів майбутнього – це якісний сервіс та першокласне обслуговування клієнтів.

Сучасна авіаційна галузь є одним із найбільш орієнтованих на клієнта секторів сучасної світової економіки, де забезпечення якісного обслуговування клієнтів стає все більш важливим для забезпечення конкурентоспроможності на ринку та прибутковості діяльності.

І, в даному контексті, правильно побудована система організації сервісної діяльності набуває першочергового значення. Замість зосередженості на традиційних операціях надання авіа послуг настав час застосувати підхід орієнтований на клієнта. Тобто, використання сервісу як ключової відмінності; взаємодія з клієнтами на основі їхніх потреб і цінності для компанії; прийняття рішень на основі клієнтського досвіду; охоплення нових каналів комунікації і створення клієнтоорієнтованої корпоративної культури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи сервісу та сервісної діяльності в цілому та за різними видами економічної діяльності (туризм, торгівля, готельно-ресторанна справа, транспорт) розглядалися у роботах Апопій В.В., Габи В.В., Григорак М.Ю., Грушевської Т.М., Карпунь О.В., Малюк Л.П., Міщенко В.І., Оніщук Н.В., П'ятницької Г.Т., Рудюк М.В., Савченко Л.В., Ткаченко Т.І., Угоднікової О.І. та інших.

Щодо авіаційної галузі, то в останні роки в центрі уваги як вітчизняних, так і зарубіжних досліджень домінували праці присвячені проблемам оцінювання і забезпечення якості обслуговування в авіаційній галузі як складової сервісної діяльності [1–7], а також впливу якості обслуговування на рівень прибутковості авіа бізнесу, рівень задоволеності та лояльності пасажирів [8–11].

В той же час, на сьогодні недостатньо обґрунтованими є теоретичні аспекти організації сервісної діяльності в авіаційній галузі, особливо з врахуванням всіх суб'єктів, що задіяні у формуванні та наданні авіатранспортних послуг.

Метою статті є обґрунтування особливостей сервісної діяльності в авіаційній галузі, формування і характеристика системи її ключових складових з позиції клієнтоорієнтованого сервісу.

Виклад основного матеріалу. Обслуговування клієнтів в авіаційній галузі відіграє ключову роль у її успіху. Бізнес всіх компаній, що задіяні у наданні авіатранспортних послуг, зосереджується на рівні обслуговування, що надається клієнтам. Якісне обслуговування клієнтів має вирішальне значення і є глобальним трендом в авіа бізнесі, оскільки воно дозволяє, з одного боку, забезпечити задоволеність клієнтів, збільшити кількість лояльних клієнтів, «утримувати» їх в довгостроковій перспективі, а, з іншого боку, забезпечує і ефективне функціонування авіакомпанії (аеропорту) з високим рівнем прибутковості та їх конкурентоспроможність на авіаринку.

Сервісна діяльність у класичному розумінні являє собою процес налагодження довготривалих взаємозв'язків виробника товарів та послуг із індивідуальним (кінцевим) споживачем; це діяльність, пов'язана із наданням послуги і спрямована на задоволення потреб споживачів [12].

Оскільки, авіатранспортні послуги є особливою категорією послуги зі специфічним набором параметрів якості, форма прояву яких властива тільки авіаційному транспорту і пов'язана як з процесами формування і надання послуг, так і з врахуванням сприйняття цього виду послуг клієнтами, то і сервісна діяльність в авіаційній галузі має свої характерні особливості.

Сервісна діяльність в авіації – це система обслуговування, що включає комплекс послуг, необхідних для задоволення потреб пасажирів при авіап перевезенні та створенні для нього максимально комфортних умов у відповідності із сучасними міжнародними авіаційними стандартами. Сервісна діяльність в авіації – це не лише безпека, пунктуальність, надійність, але і постійна робота з як пасажирами, що включає рекламу та просування, спілкування та якісне обслуговування в процесі авіа перевезень, так і з обслуговуючими компаніями, які забезпечують формування і надання авіаційної послуги.

Сервісній діяльності в авіаційній галузі, на думку авторів, притаманні наступні *особливості*:

– безпосередній контакт та взаємодія між споживачем та постачальником послуг на всіх етапах надання авіа послуги як в сегменті B2C, так і в сегменті B2B: аеропорт – авіакомпанія; клієнт-авіакомпанія і обслуговуючі компанії (хендлінгова, кейтерингова, туристична тощо); клієнт-аеропорт та обслуговуючі компанії (орнітологічні, метеорологічні, аеронавігаційні, протипожежні послуги тощо);

– дуже висока роль персоналу в процесі обслуговування. 79% авіа пасажирів вважають, що спілкування з сервісним агентом в аеропорту чи бортпроводниками на борту повітряного судна для них дуже важливе і це основний критерій оцінки якості обслуговування в аеропорту чи на борту повітряного судна, що включений до основних авіа рейтингів;

– необхідність індивідуального підходу до кожного клієнта. Зацікавлені та лояльні клієнти витрачають на авіаційні та неавіаційні послуги на 30% більше; 80% клієнтів з більшою ймовірністю придбають продукт або послугу від бренду, який забезпечує персоналізований досвід, а персоналізовані рекомендації впливають на 92% покупців в Інтернеті [13];

– особлива увага до клієнтського досвіду, адже за статистикою понад 50% покупок базуються на позитивному ставленні до клієнта. З позиції клієнтського авіа досвіду найбільш важливими є наступні стандарти обслуговування: відповідати на запити клієнтів (61%), брати відповідальність за свої помилки (60%), робити все, щоб вирішити проблему клієнта (59%), бути доступними для клієнта (55%) та залишатися позитивними і доброзичливими під час взаємодії з клієнтами (54%) [14];

– важливість підтримки якості. 62% споживачів зазначили, що припинили співпрацю з брендом після поганого обслуговування клієнтів; споживачі вдвічі частіше діляться своїм поганим досвідом обслуговування клієнтів (54%), ніж говорять про позитивний досвід (33%) [15]. І тут орієнтиром високої якості обслуговування в авіаційній галузі можуть стати основні рейтинги: “SkyTrax” “World Airline Awards” / “World Airport Awards”, “Air Help Score”, “Airline Ratings”, “Avia Tickets Ratings”;

– широке застосування технологій для обслуговування пасажирів: мобільні додатки, надійні CRM платформи, інтелектуальні засоби зв'язку, розпізнавання мовлення та аналіз дзвінків, рішення для управління даними, хмарне програмне забезпечення, Інтернет речей, розширена реальність. Важливість цифровізації обслуговування зумовлена, наприклад, тим, що 81% клієнтів намагаються вирішити проблему самостійно, перш ніж звернутися до консультанта, 84% споживачів довіряють он-лайн оглядам так само, як особистим рекомендаціям, та 68% споживачів люблять чат-боти, тому що вони швидко відповідають [14, 15]. А також використання цифрових інструментів для обслуговування аеропорту та авіакомпаній: авіаційна безпека та розумне обслуговування повітряних суден, управління польотами та інтелектуальна кабіна пілотів, паливна ефективність та захист довкілля, система безпеки аеропорту та впровадження біометрії тощо;

– орієнтація на результат, адже збільшення кількості лояльних клієнтів на 5% збільшує прибуток до 95%, а збільшення рівня задоволеності пасажирів на 1% генерує в середньому зростання неавіаційних доходів на 1,5% [16];

– обов'язкове забезпечення авіа безпеки як основний пріоритет надання авіа послуги;

– наявність великої кількості нестандартних ситуацій в процесі обслуговування;

– обов'язковість надання пасажиром комплексу послуг в аеропортах та на борту повітряного судна (згідно авіаційних правил) та необов'язковість використання пасажиром всіх запропонованих сервісних (додаткових) послуг;

– зручність та технічна адекватність сервісних послуг;

– необхідність формування виваженої цінової політики, що зумовлено високим рівнем конкуренції в авіаційній галузі;

– високі вимоги до повноти та якості інформаційного забезпечення пасажирів у процесі сервісного обслуговування.

Авіаційний бізнес сьогодні – це і ідеально налагоджена робота з авіакомпаніями, тобто, в рамках бізнес моделі “B2B”, і якісна модель роботи “B2C”, адже сьогодні пасажир є центром діяльності аеропорту, а клієнтоорієнтованість – основа діяльності більшості сучасних авіакомпаній.

Відповідно, і сервісна діяльність в авіаційній галузі не повинна обмежуватися лише обслуговуванням пасажирів в процесі надання авіаційної послуги, а включати також і систему обслуговування виробничої інфраструктури аеропорту та авіакомпаній в аеропорту (рис. 1).

Безперечно, **система обслуговування пасажирів**, що базується на формуванні, вивченні та удосконаленні клієнтського досвіду, є ключовим фактором успіху в авіаційному бізнесі, оскільки він відіграє важливу роль в задоволенні клієнтів, їх утриманні та підтримці лояльності. Авіапасажири стають більш вимогливими до якості обслуговування і, відповідно, основні гравці на авіа ринку – авіакомпанії та аеропорти – повинні зосередитися на покращенні обслуговування клієнтів (пасажирів), щоб залишатися прибутковими та конкурентоспроможними на ринку.

Взаємозв'язок між якісним обслуговуванням пасажирів і рівнем прибутковості доведено, адже існує позитивний зв'язок між загальним рівнем задоволення пасажирів і неавіаційними доходами: збільшення пасажиропотоку на 1% призводить до зростання неавіаційних доходів від 0,7% до 1%, збільшення розміру комерційної зони в аеропорту на 1% призводить до зростання неавіаційних доходів на 0,2% [16].

Клієнтоорієнтований сервіс на сьогодні є не лише основою сервісної діяльності, а й основним принципом функціонування сучасного аеропорту та авіакомпанії. В авіаційному бізнесі клієнтоорієнтований сервіс передбачає:



Рис. 1. Складові сервісної діяльності в авіаційній галузі

Джерело: авторська розробка

1) Знання свого пасажирів: формування «портрету» пасажирів; вивчення скарг; використання побажань пасажирів, щоб спробувати нові способи надання послуг; розмовляти зі своїми клієнтами та широко їх слухати; розуміти та задовольняти потреби пасажирів; персоналізувати клієнтський досвід.

2) Розуміння потреб пасажирів: розуміння того, що пасажирів вважають хорошим обслуговуванням; визначити очікування пасажирів та наскільки вони відрізняються від реальності; слідкувати як за позитивними, так і негативними відгуками та коментарями пасажирів; постійно шукати шляхи покращення рівня обслуговування пасажирів.

3) Оцінювання якості обслуговування пасажирів: опитування та форми зворотного зв'язку; «таємні покупці»; моніторинг коментарів у соціальних мережах та відгуків на професійних авіа-сайтах і власному сайті.

4) Формування програми обслуговування пасажирів – дозволяє формалізувати рівень обслуговування клієнтів, який ви прагнете надати, і те, які практичні дії ви будете робити, щоб досягти цього та підвищити лояльність клієнтів і утримати їх, та програми лояльності для постійних пасажирів – утримання пасажирів залежить від їх лояльності та задоволення сервісом, адже часто знайти нового клієнта дорожче, ніж утримати поточного.

Тобто, клієнтоорієнтований сервіс в авіаційному бізнесі – це вміння «перевтілюватися у пасажирів», думати і оцінювати як пасажир, ставити собі питання як пасажир, а також думати про довгострокову перспективу з позиції того, що «клієнт – це на все життя».

Реалізація клієнтоорієнтованого підходу до побудови сервісної діяльності в авіаційній галузі не можлива без використання сучасних технологій обслуговування та комунікації з клієнтами, які повинні охоплювати використання різних каналів комунікації, збір та аналіз даних, впровадження систем управління взаємодією з клієнтами, автоматизацію процесів обслуговування клієнтів за допомогою сучасних цифрових рішень.

В сучасному авіаційному бізнесі прийнято застосовувати принцип омніканальності, тобто використання одночасно кількох комунікаційних каналів, об'єднаних у єдину екосистему зі збереженням усієї історії спілкування з цільовою аудиторією. Найбільш поширеними є наступні канали комунікації в авіаційному бізнесі: автоматизація процесів, чат-боти, голосові роботи, мобільні реєстрації, системи он-лайн бронювання, технічна підтримка, управління чергою, програми лояльності, служба багажу, робота з претензіями та відшкодування, підтримка екіпажів. А найбільш популярними технологіями є: Block chain, доповнена і віртуальна реальність, штучний інтелект, робототехніка, біометрія, Інтернет речей, Big data та аналітика, мобільні рішення [17].

Щодо найбільш популярних каналів залучення клієнтів, то за результатами опитування сервісу “HubSpot” у 2022 році до них увійшли: маркетинг у соціальних мережах та месенджери (SMM), веб-сайт та блог, E-mail, пошукова оптимізація (SEO), Інтернет реклама, контент-маркетинг (Content Marketing), партнерський маркетинг (Affiliate Marketing), «сарафанне радіо» (WOM Marketing), маркетинг впливу (Influence Marketing) та просування за допомогою заходів (Event Marketing) [18].

Якщо ж розглядати саме організацію сервісної діяльності та якісне обслуговування пасажирів, то, на думку авторів, ключовими елементами системи обслуговування пасажирів в авіаційній галузі є наступні (рис. 2).



Рис. 2. Ключові елементи обслуговування пасажирів в авіаційній галузі

Джерело: авторська розробка

Відповідно, *сервісна діяльність в аеропорту* – це скоординована діяльність, спрямована на виконання встановлених вимог до якості відділами та структурами аеропорту, яка характеризується результатами різноманітних процесів у його структурних підрозділах. Сервісна діяльність в аеропорту (пасажирському терміналі) щодо обслуговування пасажирів повинна включати наступні елементи, що формують рівень якості обслуговування:

1. Приміщення аеропорту та його інфраструктура:

- якість послуги (атмосфера терміналів, екрани інформації про польоти, вказівники для орієнтування, клімат-контроль, якість освітлення, рівень шуму, чистота, комфортабельність тощо);
- якість інфраструктури (громадський транспорт, таксі, паркування; ступінь доступності аеропорту з міста; реєстрація пасажирів, час очікування в черзі, простота проходження процедур);
- якість безпеки (ефективність контролю безпеки та інформаційних стійок, час проходження формальностей: авіаційна безпека, митний та прикордонний контроль; час видачі багажу та його стан тощо);
- функціональна якість (транспортні засоби для інвалідів і людей похилого віку, послуги з догляду за дітьми без нагляду).

2. Процеси аеропорту:

- он-лайн сервіси (інформативність та зручність користування веб-сайтом аеропорту; зручність он-лайн замовлення послуг аеропорту; робота контактного центру тощо);
- якість продажу квитків (швидкість оформлення квитків, переоформлення, контроль та повернення коштів);
- якість комфорту (управління чергами, доступ до Інтернету та його швидкість, зручніші ігрові приміщення, ціни в магазинах, вартість паркінгу автомобілів в аеропорту; вартість транспортування в аеропорт; кількість та якість сервісу для неавіаційних послуг; зручність розкладу; зручність трансферу через аеропорт; ціна перевезень; кількість маршрутів).

3. Персонал аеропорту: рівень кваліфікації персоналу, трудова дисципліна, вмотивованість працівників; ввічливість персоналу, етика і культура обслуговування пасажирів; рівень якості надання неавіаційних послуг тощо.

Всі послуги, які надає авіакомпанія пасажиром в процесі обслуговування взаємопов'язані, а якість їх надання в сукупності формує імідж авіакомпанії та її конкурентоспроможність, тому *сервісну діяльність авіакомпанії* варто розглядати з позиції двох складових:

1. Наземне обслуговування пасажирів авіакомпанією:

– якість перед польотного обслуговування: сайт авіакомпанії: зручність та легкість користування, інформативність, зрозумілість; он-лайн бронювання квитків: наявність, зручність; он-лайн реєстрація на рейс: наявність, зручність; політика щодо перевезення багажу / ручної поклажі; можливість самостійної реєстрації на рейс; процедури перед посадкою; ефективність та зручність посадки; персонал авіакомпанії: привітність, оперативність; зал очікування та лаундж авіакомпанії: зручності для пасажирів, гостинність персоналу;

– якість після польотного обслуговування: послуги трансферу; послуги по прибуттю в аеропорт призначення; багаж пасажирів: збереженість, доставка; існує чітка схема/правила компенсації щодо втрати або пошкодження багажу;

– якість організації авіаційної діяльності: вчасність/пунктуальність відправлення/прибуття рейсів; кількість рейсів; зручність стикування рейсів; доступність квитків; акції на квитки за різними напрямками; співвідношення ціна/якість послуг; програми лояльності для постійних клієнтів; якість роботи з претензіями; до офісів авіакомпаній легко дістатися.

2. Обслуговування пасажирів на борту літака:

– якість роботи екіпажу на борту: привітність обслуговування та гостинність; уважність та оперативність обслуговування; допомога при посадці на борт літака; знання мов персоналом борту; чуйне ставлення екіпажу та постійна допомога; приділення однакової уваги всім пасажиром; якість та точність оголошень; достатність та своєчасність інформації на борту; достатність знань екіпажу для відповідей на запитання пасажирів; навички вирішення проблем та конфліктних ситуацій; допомога сім'ям з дітьми, мало мобільним пасажиром; зовнішній вигляд екіпажу борту;

– якість обслуговування на борту (бортовий продукт): комфорт сидіння; чистота салону, сидінь, туалету; освітлення кабіни / атмосфера на борту; температура салону, робота кондиціонера; комфорт і зручності в салоні; матеріали для читання / журнал авіакомпанії; Wi-Fi / Fly Net; екран і інтерфейс бортових TV; вибір розваг на борту; якість та підбір страв, різноманітність меню; кількість їжі; вибір напоїв; ціни на борту; співвідношення ціни та якості на борту.

Друга складова сервісної діяльності в авіаційній галузі – це **система організації обслуговування виробничої інфраструктури аеропорту та авіакомпаній**, тобто, зазвичай, невидима для пасажира робота, яка постійно виконується в аеропорту та на борту повітряного судна задля організації роботи і забезпечення якісного і безпечного надання авіа послуги.

Ринок B2B в авіаційній галузі є важливою та невід'ємною частиною, адже він дає змогу широкому спектру компаній співпрацювати разом, щоб постачати авіакомпаніям, виробникам літаків та іншим підприємствам товари та послуги. Цей ринок є вигідним як для споживачів, так і для компаній, оскільки він дає змогу ефективно та безперервно здійснювати операції та покращує загальну якість подорожей. Сектор B2B в авіації відноситься до операцій між компаніями і охоплює широкий спектр виробників літаків; авіакомпаній; постачальників послуг з технічного обслуговування та ремонту; операторів аеропортів, що відповідають за управління та експлуатацію аеропортів, контроль повітряного руху, наземне обслуговування, авіаційну безпеку; постачальників неавіаційних послуг для пасажирів (роздрібна торгівля, ресторани та кафе, готельний бізнес).

До системи обслуговування виробничої інфраструктури аеропорту та авіакомпаній автори пропонують віднести:

1. Послуги хендлінгових компаній для авіакомпаній. Хендлінгова компанія – це обслуговуюча компанія, що здійснює комплексне організаційне забезпечення комерційного та технічного обслуговування повітряних суден, обслуговування пасажирів, багажу та екіпажів в аеропортах та містах перебування за маршрутом польоту. Це агент підприємств аеропортового комплексу, що працює з авіаперевізниками, заключаючи договір на організацію аеропортового та наземного обслуговування. Зазвичай, до складу основних послуг з обслуговування хендлінгової компанії входять:

– обслуговування повітряних суден на пероні: роботи по зустрічі-випуску повітряного судна; координація, контроль завантаження; внутрішнє прибирання повітряних суден; вантажно-розвантажувальні роботи; транспорт для пасажирів та екіпажів; буксирування; наземне джерело живлення; обслуговування туалетних систем; заправка питною водою; роботи з видалення та захисту від обмерзання повітряних суден;

– термінальне обслуговування пасажирів: реєстрація пасажирів; зустріч та посадка; перевірка документів (верифікація); бронювання і продаж авіаперевезень; пошук загубленого багажу та інші послуги, пов'язані з роботою по втраченому, знайденому або пошкодженому майну пасажирів, забезпечення доставки багажу, що відстав; обслуговування дітей без супроводу та пасажирів з обмеженими можливостями;

– операції з адміністрування: контроль обслуговування пасажирів та повітряних суден на пероні; взаємодія з контролюючими органами і службами; організація роботи представництв та станцій; віддалений розрахунок центрування повітряного судна; організація отримання дозволів на виконання польотів; формування, відправка звітів та статистики; верифікація документів; пере бронювання квитків; розміщення пасажирів у готелі; організація доставки бортового харчування.

2. Послуги з експлуатації та обслуговування аеродрому:

– послуги з підтримки елементів аеродромних покриттів в експлуатаційній готовності;
– забезпечення протипожежної безпеки в зоні аеродрому наземними засобами;
– послуги орнітологічного обслуговування польотів, що включають комплекс заходів із захисту від впливу потенційно небезпечних для польотів повітряних суден птахів на аеродромах;
– забезпечення охорони навколишнього середовища в зоні аеродрому та аеропорту;
– послуги збереження авіа палива та мастил.

3. Організацію роботи із забезпечення польотів:

– послуги з медичного забезпечення польотів, які передбачають підтримку професійного здоров'я, оптимізацію функціонального стану організму і підвищення працездатності льотного складу, операторів з керування безпілотними авіаційними комплексами, персоналу з управління повітряним рухом, інженерно-технічного складу з метою ефективного та безпечного виконання ними завдань за призначенням;

– метеорологічне обслуговування польотів, що включає послуги із забезпечення метеорологічними прогнозами, консультаціями і спостереженнями, а також іншу метеорологічну інформацію та послуги, що надаються суб'єктам авіаційної діяльності;

– обслуговування повітряного руху: диспетчерське обслуговування; польотно-інформаційне обслуговування; аварійне обслуговування;

– організація харчування льотного складу під час виконання польотів: послуги щодо повсякденного (перед польотного) харчування в наземних умовах; бортове харчування під час тривалих польотів; аварійне харчування екіпажу.

4. Обслуговування авіа доставки багажу (обробка багажу перед вильотом, комплектування багажу в аеропорту, система сортування багажу, що відправляється, в аеропорту, обробка багажу, що прибуває) і вантажів (упаковка та маркування вантажів, митне оформлення вантажів, вантажно-розвантажувальні послуги, відстеження маршруту вантажу, послуги складського зберігання, документальне забезпечення авіаперевезень вантажів).

І, насамкінець, обов'язкова складова сервісної діяльності в авіаційній галузі, яка є основою і для системи обслуговування пасажирів, і для системи обслуговування виробничої інфраструктури аеропорту та авіакомпаній – управління якістю обслуговування в авіаційній галузі. Управління якістю обслуговування в авіаційній галузі передбачає цілеспрямований процес впливу на фактори і умови, які забезпечують створення авіаційних послуг оптимальної якості; це скоординована діяльність, спрямована на виконання всіма підрозділами та структурами, що формують авіаційну послугу встановлених вимог до високої якості її надання. Відповідно, узагальненою характеристикою якості обслуговування в авіаційній галузі є задоволеність або незадоволеність авіапасажира / клієнта цією послугою за тими параметрами, що були описані вище.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Сучасний авіаринок є висококонкурентним та швидко змінним, і кожен його учасник прагне виділитися та стати фаворитом. І, зазвичай, чи не єдиною відмінністю компаній, що формують авіа послугу, є рівень якості обслуговування. Саме тому, як доведено у статті, якісно побудована система сервісного обслуговування в авіаційній галузі набуває першочергового значення.

Авторами запропоновано розглядати сервісну діяльність в авіаційній галузі з позиції двох складових: системи обслуговування пасажирів (в аеропорту та на борту повітряного судна) на основі принципів клієнтоорієнтованого сервісу та з використанням сучасних технологій комунікацій і системи обслуговування виробничої інфраструктури аеропорту та авіакомпаній, що включає послуги хендлінгових компаній, послуги з експлуатації та обслуговування аеродрому, послуги з організації забезпечення польотів та обслуговування авіа доставки вантажів і багажу.

В перспективі важливим аспектом досліджень є питання управління та оцінювання якості сервісної діяльності в авіаційній галузі у розрізі виділених складових з використанням відповідної системи критеріїв і показників.

Список використаних джерел:

1. Дудник, І., Борисюк, О., Сайчук, В. Особливості менеджменту якості авіаційних послуг в туризмі. *Економіка та суспільство*. 2023. № 51. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-62>

2. Dokiienko L., Osmak V., Triukhan O. Passenger service on the aircraft board as a component of the airline's image and competitiveness. *Economy: realities of time*. 2023. № 2 (66). С. 26-35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8154926>

-
3. Law C.C. A practical guide to airline customer service: From airline operations to passenger service. Publisher: Brown Walker Press, 2019. 302 p. URL: <http://www.bookpump.com/bwp/pdf-b/7346937b.pdf>
 4. Lawrence H.A. Airport customer experience performance and standards manual. 2021. 168p. <https://www.panynj.gov/content/dam/airports/pdfs/cx-performance-standards-manual.pdf>
 5. Li L., Wu Y., Han R. & Li C. Airline service quality: a variance assessment method based on complaint statistics. *Journal of Service Science and Management*. 2022. № 15. P.416-436. <https://doi.org/10.4236/jssm.2022.154025>
 6. Логістичні концепції розвитку аеропортів: монографія / за наук. ред. М.Ю. Григорак та Л.В. Савченко. – К.: Логос, 2017. – 384 с.
 7. Sukwadi R., Susanto A. & Liang Y.C. Airline service quality evaluation for Indonesian low-cost carriers based on Extenics innovation theory. *Archives of Transport*. 2021. 58(2). P.7-20. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.8794>
 8. Al Awadh M. Assessing the Quality of Sustainable Airline Services Utilizing the Multicriteria Decision-Making Approach. *Sustainability*. 2023. № 15 (9). P.1-19. <https://doi.org/10.3390/su15097044>
 9. Kungwola K. Airline service quality improvement approach for Thai Airways during the rehabilitation. *Web of Conferences*. 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338905012>
 10. Namukasa J. The influence of airline service quality on passenger satisfaction and loyalty: The case of Uganda airline industry. *The TQM Journal*. 2013. № 25 (5). P.520-532. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2012-0092>
 11. Park S., Lee JS., & Nicolau JL. Understanding the dynamics of the quality of airline service attributes: Satisfiers and dissatisfiers. *Tourism Management*. 2020. № 81. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104163>
 12. Ведмідь Н.І. Термінологічні підходи до визначення категорії «Сервіс» та його роль в економіці країн. *Економічний часопис-XXI*. 2012. Випуск 3-4. С. 49-52.
 13. Patel S. Ways on How to Increase Customer Loyalty. URL: <https://www.revechat.com/blog/increase-customer-loyalty/>
 14. Chinn A. The Top 5 Most Important Customer Service Standards, According to Consumers. URL: <https://blog.hubspot.com/service/customer-service-standards#:~:text=Be%20responsive%20to%20customer%20inquiries.,of%20consumers%20value%20the%20most.>
 15. An exploratory research study: customer experience and customer self-support. URL: <https://www.higherlogic.com/blog/15-customer-self-service-and-experience-stats-to-know-2020/>
 16. Airports Council International. URL: <https://www.aci-europe.org>
 17. Share of airports worldwide expecting to trial new technologies in the next three years. URL: <https://www.statista.com>
 18. Кононенко О. 11 маркетингових каналів для отримання клієнтів у 2022 році. URL: <https://iampm.club/ua/blog/11-marketingovih-kanaliv-dlya-otrimannya-kljektiv-u-2022-roczj/>

References:

1. Dudnyk I., Borysiuk O. & Saichuk V. (2023). Specific features of quality management of aviation services in tourism. *Economy and society*, 51. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-62>
2. Dokiienko L., Osmak V. & Triukhan O. (2023). Passenger service on the aircraft board as a component of the airline's image and competitiveness. *Economy: realities of time*. 2(66). pp. 26-35. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8154926>
3. Law C.C. A practical guide to airline customer service: From airline operations to passenger service. Publisher: Brown Walker Press, 2019. 302 p. URL: <http://www.bookpump.com/bwp/pdf-b/7346937b.pdf>
4. Lawrence H.A. Airport customer experience performance and standards manual. 2021. 168p. <https://www.panynj.gov/content/dam/airports/pdfs/cx-performance-standards-manual.pdf>
5. Li L., Wu Y., Han R. & Li C. (2022). Airline service quality: a variance assessment method based on complaint statistics. *Journal of Service Science and Management*. 15. pp. 416-436. <https://doi.org/10.4236/jssm.2022.154025>
6. Logistical concepts of airport development: monograph / by science. ed. M. Yu. Hryhorak and L. V. Savchenko. Kyiv: Logos, 2017. 384 p.
7. Sukwadi R., Susanto A. & Liang Y.C. (2021). Airline service quality evaluation for Indonesian low-cost carriers based on Extenics innovation theory. *Archives of Transport*. 58(2). pp.7-20. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.8794>
8. Al Awadh M. (2023). Assessing the Quality of Sustainable Airline Services Utilizing the Multicriteria Decision-Making Approach. *Sustainability*, 15(9), pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/su15097044>
9. Kungwola K. (2023). Airline service quality improvement approach for Thai Airways during the rehabilitation. *Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338905012>
10. Namukasa J. (2013). The influence of airline service quality on passenger satisfaction and loyalty: The case of Uganda airline industry. *The TQM Journal*. 25(5). pp.520-532. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2012-0092>
11. Park S., Lee JS. & Nicolau JL. (2020). Understanding the dynamics of the quality of airline service attributes: Satisfiers and dissatisfies. *Tourism Management*. 81. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104163>

-
12. Vedmid' N.I (2012). Terminological approaches to the definition of the "Service" category and its role in the economy of countries. Economic magazine-XXI, Issue 3-4, pp. 49-52.
 13. Patel S. (2023). Ways on How to Increase Customer Loyalty. URL: <https://www.revechat.com/blog/increase-customer-loyalty/>
 14. Chinn A. The Top 5 Most Important Customer Service Standards, According to Consumers. URL: <https://blog.hubspot.com/service/customer-service-standards#:~:text=Be%20responsive%20to%20customer%20inquiries.,of%20consumers%20value%20the%20most.>
 15. An exploratory research study: customer experience and customer self-support. URL: <https://www.higherlogic.com/blog/15-customer-self-service-and-experience-stats-to-know-2020/>
 16. Airports Council International. URL: <https://www.aci-europe.org>
 17. Share of airports worldwide expecting to trial new technologies in the next three years. URL: <https://www.statista.com>
 18. Kononenko O. 11 marketing channels for obtaining customers in 2022. URL: <https://iampm.club/ua/blog/11-marketingovih-kanaliv-dlya-otrimannya-klijentiv-u-2022-roczy/>

УДК 656.13(075)

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.10>

Леснікова І. Ю., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0002-2750-6031

Халіпова Н. В., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0001-5605-6781

Кузьменко А. І., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0001-7278-3647

Разгонов С. А., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій та міжнародної логістики
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0002-1244-2047

Лесніков П. В., магістрант факультету інноваційних технологій
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0009-0009-0657-6303

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Стаття призначена удосконалення пасажирських перевезень на міському електричному транспорті. Розроблено оптимізаційну модель, яка дозволяє оптимально розподілити наявний рухомий склад по маршрутах міста, що дозволить перевезти якомога більше пасажирів, зменшити витрати на експлуатацію та збільшити комфорт для пасажирів на тролейбусних маршрутах м. Дніпро. Проаналізовано ефективність від впровадження даної моделі.

Важливість якості обслуговування пасажирів збільшується в умовах формування ринкового середовища і розвитку конкуренції (між окремими видами транспорту). З розвитком ринку транспортних послуг у споживача (пасажирів) з'явилась можливість вибору найбільш якісного, зручного і безпечного виду перевезень. Пасажир буде обирати той вид транспорту, де якість обслуговування (гарантії ввічливості, доброзичливості, комфортності, швидкості, безпеки і т.д.) найвищі. Вибрані за такими критеріями транспортні підприємства будуть мати більші доходи, прибутки, будуть найбільш конкурентоспроможні.

Мета роботи: розробка заходів з підвищення ефективності перевезення пасажирів на міському електричному транспорті.

У процесі написання статті були виконані наступні завдання: проаналізовано статистичні дані пасажирських перевезень міським електричним транспортом в Україні та в м. Дніпро; розроблено модель оптимального розподілу рухомого складу на маршрутах міського електричного транспорту; розв'язано задачу оптимізації та проаналізовано результати розв'язку.

Розроблена оптимізаційна модель дає змогу оптимізувати кількість рухомого складу, який перевозить наявний пасажиропотік на маршрутах, зменшити експлуатаційні витрати та збільшити рівень комфорту для пасажирів. Також було розраховано основні характеристики деяких маршрутів тролейбусів м. Дніпро; розраховано основні експлуатаційні характеристики цих маршрутів, за якими було визначено інтервали руху тролейбусів, час обертів на маршруті.

В результаті розрахунку оптимізаційної моделі, отримали, що необхідно 52 одиниці рухомого складу, замість 56 (на 8%), середній коефіцієнт комфортності збільшити на 15,7%, вартість години роботи зменшити на 3273,7 грн (8%). Слід зазначити, що зменшення рухомого складу впливає на інтервал руху тролейбусів, але це зменшення відбувається на маршрутах, де велика кількість рухомого складу. Інтервал підвищиться в середньому на 1,5 хвилини, що є прийнятним для очікування пасажирів. Також можна взяти заходи для збільшення швидкості руху тролейбусів, наприклад, виділення смуги для громадського транспорту по пр. Слобожанському.

Ключові слова: пасажирські перевезення, задача оптимізації, міський електричний транспорт.

© І. Ю. Леснікова, Н. В. Халіпова, А. І. Кузьменко, С. А. Разгонов, П. В. Лесніков, 2023

Lesnikova I. Yu., Khalipova N. V., Kuzmenko A. I., Razghonov S. A., Lesnikov P. V. Development of a mathematical model for optimization of technical and operational parameters of urban electric transport

The article is intended to improve passenger transportation by urban electric transport. An optimization model has been developed, which allows to optimally distribute the available rolling stock along the city routes, which will allow transporting as many passengers as possible, reducing operating costs and increasing comfort for passengers on trolleybus routes in Dnipro. The efficiency of the implementation of this model is analyzed.

The importance of the quality of passenger service increases in the context of the formation of a market environment and the development of competition (between individual modes of transport). With the development of the transport services market, the consumer (passenger) has the opportunity to choose the most high-quality, convenient and safe type of transportation. The passenger will choose the mode of transport where the quality of service (guarantees of politeness, friendliness, comfort, speed, safety, etc.) is the highest. Transport companies selected according to such criteria will have higher incomes, profits, and will be the most competitive.

The purpose of the work: development of measures to improve the efficiency of passenger transportation in urban electric transport.

In the process of writing the article, the following tasks were performed: statistical data of passenger transportation by urban electric transport in Ukraine and in the city of Dnipro were analyzed; a model of optimal distribution of rolling stock on the routes of urban electric transport has been developed; The optimization problem has been solved and the results of the solution have been analyzed.

The developed optimization model makes it possible to optimize the number of rolling stock that carries the available passenger traffic on routes, reduce operating costs and increase the level of comfort for passengers. The main characteristics of some trolleybus routes in the city of Dnipro were also calculated; The main operational characteristics of these routes are calculated, according to which the intervals of movement of trolleybuses, the time of rotation on the route were determined.

As a result of the calculation of the optimization model, it was obtained that it is necessary to have 52 units of rolling stock, instead of 56 (by 8%), to increase the average comfort coefficient by 15.7%, to reduce the cost of an hour of work by 3273.7 UAH (8%). It should be noted that the decrease in rolling stock affects the interval of movement of trolleybuses, but this decrease occurs on routes where there is a large number of rolling stock. The interval will increase by an average of 1.5 minutes, which is acceptable for passengers to wait. Measures can also be taken to increase the speed of trolleybuses, for example, the allocation of a lane for public transport on Ave. Slobozhansky.

Key words: passenger transportation, optimization problem, urban electric transport.

Постановка проблеми. Міський електричний транспорт є складовою частиною транспортної мережі України. На сьогоднішній день парк рухомого складу нараховує декілька тисяч одиниць трамваїв та тролейбусів, більшість з яких відпрацювали свій ресурс, а в деяких містах цей показник досягає майже 100%. За останні півтора десяти років кількість рухомого складу міського електротранспорту України зменшився на третину, у зв'язку з чим в окремих містах України відбулося скорочення мережі трамвайних і тролейбусних ліній, при чому потреби міського населення в перевезеннях необхідно задовольняти, адже в Україні міський електротранспорт обслуговує більше 50% внутрішньоміських пасажирських перевезень. Протягом року послугами міського електротранспорту користується більше 2000 млн. пасажирів, з них 50–60% – пільговики різних категорій. При цьому об'єми пасажирських перевезень міським електротранспортом з кожним роком зменшуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розроблення ключових проблем у сфері організації транспортного обслуговування пасажирів зробили М. Д. Блатнов, Г. А. Варелопуло, Є. П. Володін, В. К. Доля, І. С. Єфремов, О. С. Ігнатенко, Ю. С. Лігум, Л. Б. Міротін, Д. С. Самойлов, В. В. Скалецький, І. В. Спірін, М. Б. Островський, А. В. Панішев, В. П. Поліщук, Г. М. Юн та інші вчені [1].

Проблему розподілу пасажирських переміщень по вулично-дорожній мережі міста досліджували низка вчених, серед яких Грановський Б. І., Горбачов П. Ф., Гецович Є. М., Любий Є. В., Гончаренко С. Ю., Ю. Шеффі, Н. Оппенхайм, Ж. Ортусар та ін. [2–5].

Актуальність даної статті обумовлена тим, що в сучасних умовах потреба населення в переміщеннях задовольняється не повністю і пояснюється такими факторами: великі затрати часу пасажирів на переміщення, потрібне покращення рівня комфортності поїздок і вирішення важливіших актуальних проблем технічного та технологічного забезпечення міського електричного транспорту. Велика тривалість очікування, різке подорожання проїзду, викликають нарікання у місцевого населення.

Мета статті. Метою даної статті є розробка заходів з підвищення ефективності перевезення пасажирів на міському електричному транспорті у м. Дніпро.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізовано статистичні дані пасажирських перевезень міським електричним транспортом в Україні та в м. Дніпро;
- розроблено модель оптимального розподілу рухомого складу на маршрутах міського електричного транспорту;
- розв'язано задачу оптимізації та проаналізовано результати розв'язку.

Важливість якості обслуговування пасажирів збільшується в умовах формування ринкового середовища і розвитку конкуренції (між окремими видами транспорту). З розвитком ринку транспортних послуг

у споживача (пасажира) з'явилась можливість вибору найбільш якісного, зручного і безпечного виду перевезень. Пасажир буде обирати той вид транспорту, де якість обслуговування (гарантії ввічливості, доброзичливості, комфортності, швидкості, безпеки і т.д.) найвищі. Вибрані за такими критеріями транспортні підприємства будуть мати більші доходи, прибутки, будуть найбільш конкурентоспроможні.

Раціональне використання рухомого складу на маршрутах є основним показником ефективності роботи підприємств, адже це є і економічна ефективність роботи підприємства, і перевезення пасажирів в комфортних умовах, недопущення переповненості рухомого складу. Для вирішення такої задачі застосовується оптимізаційна задача з системами обмежень. Щоб створити таку задачу наближену до реальності, необхідно розглянути кожний маршрут окремо, а потім всю систему цілком.

Виклад основного матеріалу. Оптимізацію логістичних рішень здійснюють на основі всебічного аналізу комплексу взаємозалежних чинників, визначення та порівняльної оцінки можливих альтернатив і допустимих планів дій [5].

Для знаходження розв'язку оптимізаційної логістичної задачі використовують економіко-математичні методи моделювання та оптимізації, а також обчислювальну техніку та необхідне програмне забезпечення.

Процес оптимізації логістичних рішень із використанням економіко-математичного інструментарію складається з таких основних етапів: усвідомлення проблемної ситуації, формулювання цілі та визначення обмежень; розробка економіко-математичної моделі; вибір методів і програмних засобів для проведення розрахунків; підготування вихідної інформації; пошук і аналіз варіантів рішення; ухвалення рішення та затвердження плану його реалізації; контроль за виконанням рішення й оцінка результатів; підсумковий аналіз проблемної ситуації та її переосмислення (з поверненням до першого етапу).

Отже, оптимізацію логістичних рішень слушно розглядати скоріше як циклічний процес, що постійно відновлюється, а не лише як окремий акт цього процесу. Знаходять розв'язок оптимізаційної логістичної задачі з використанням спеціальних математичних методів оптимізації, комп'ютерних програм та засобів обчислювальної техніки на основі належної вихідної інформації.

Найчастіше оптимізаційні логістичні задачі є багатовимірними та в узагальненій формі мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} y = f(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \max (\min) \\ g_i(x_1, \dots, x_n) \leq 0, \quad i = \overline{1, m} \\ h_k(x_1, \dots, x_n) = 0, \quad k = \overline{1, p} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де x_1, \dots, x_n та y – дійсні змінні (керовані параметри), перші n з яких є основними та утворюють план $x = (x_1, \dots, x_n)$ задачі, а остання показує відповідне значення цільової функції; $f, g_i, i = \overline{1, m}, h_k, k = \overline{1, p}$, – числові функції змінних x_1, \dots, x_n .

Характеристики маршрутів які підлягають дослідженню

Для визначення характеристик тролейбусних маршрутів було взято маршрути, які обслуговує тролейбусне депо № 1 м. Дніпра. Це маршрути: 2, 3, 47, 10, 12, 14, 15, 17, 20. Основні характеристики маршрутів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики тролейбусних маршрутів

№ маршруту	2	3	7	10	12	14	17	20
Характеристика								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розташування першої кінцевої зупинки	вул. Глінки	вул. Холодильна	вул. Холодильна	пл. Соборна	вул. Глінки	вул. Глінки	ж/м Калинівський6	ж/м Лівобережний3
Розташування другої кінцевої зупинки	ж/м Парус2	пл. Старомостова	вул. Глінки	ж/м Перемога5	ж/м Перемога5	ж/м Сонячний	вул. Глінки	вул. Глінки
Максимальний пасажиропотік у годину "пік", $Q, z_{j,1}$	840	742	161	405	708	216	407	1208
Довжина прямого маршруту	6,14	5,67	4,32	3	4,57	2,2	4,7	6,1
Довжина зворотного маршруту	6,3	5,67	4,65	3,22	4,77	2,05	4,6	5,8
Довжина маршруту	12,44	11,34	8,97	6,22	9,34	4,25	9,3	11,9
Довжина прямої повітряної ділянки	10,36	6,91	7,12	4,37	6,08	2,42	6,41	7,55

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість зупинок прямого маршруту	19	17	14	13	18	6	15	19
Кількість зупинок зворотного маршруту	18	16	12	12	17	6	16	18

Схеми маршрутів наведено на рис. 1–8.



Рис. 1. Схема маршруту № 2

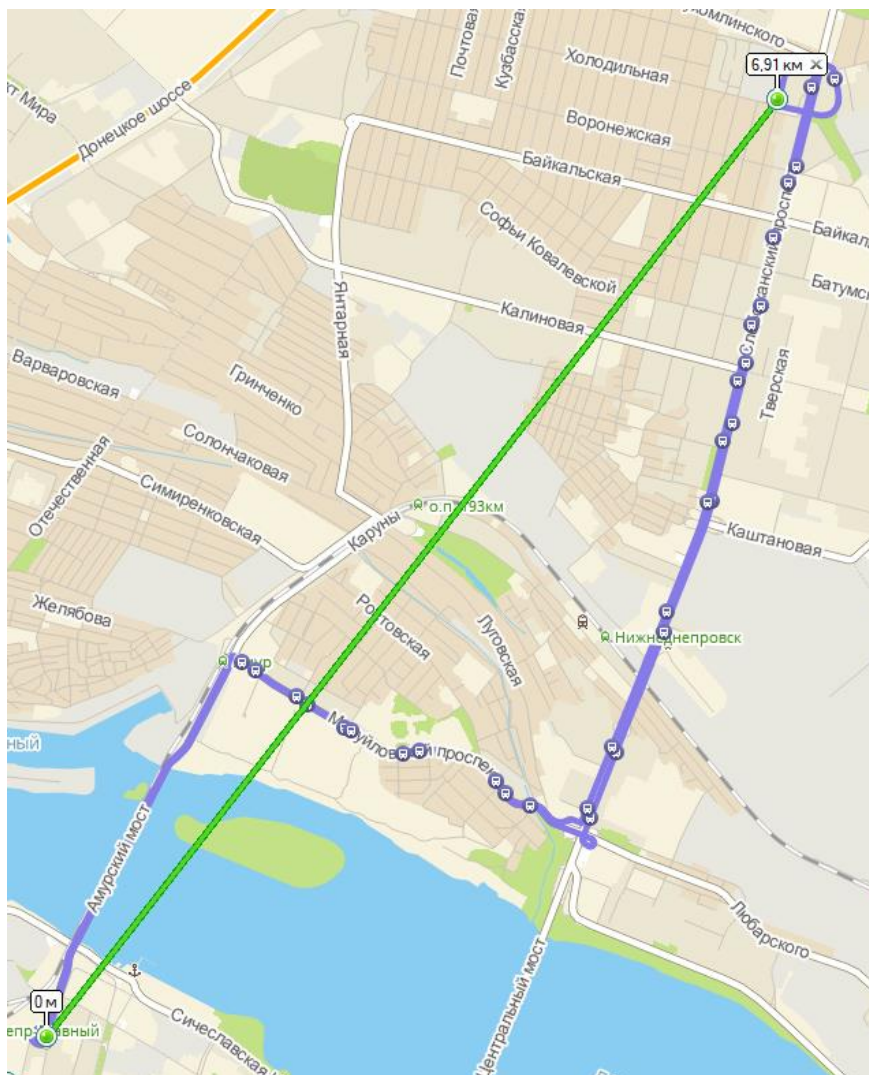


Рис. 2. Схема маршруту № 3

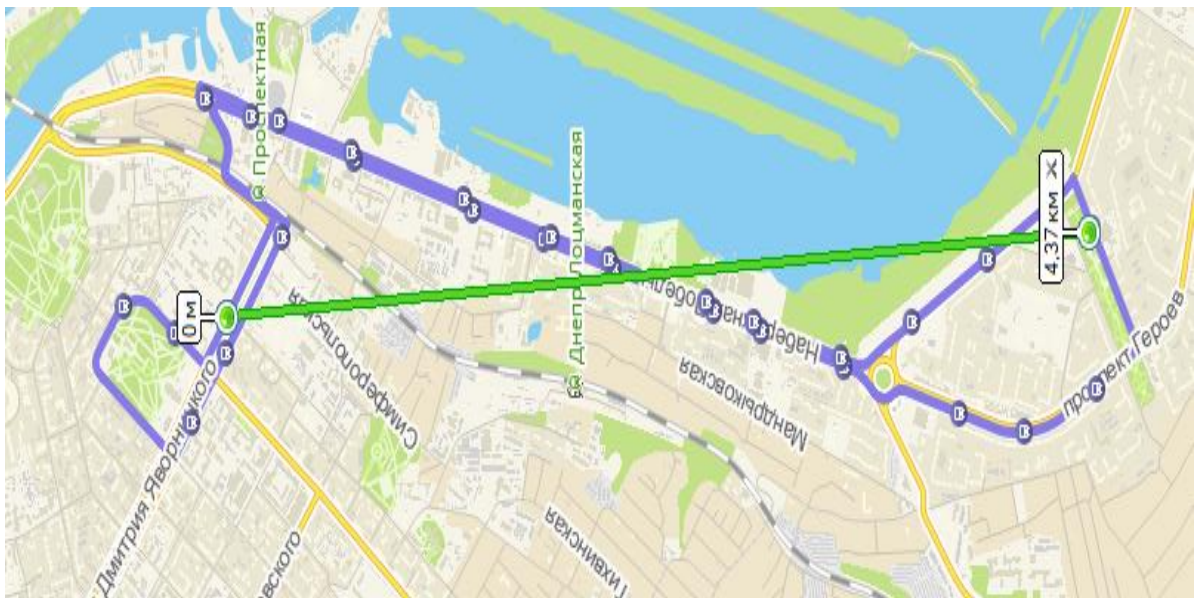


Рис. 3. Схема маршруту № 7



Рис. 4. Схема маршруту № 10



Рис. 5. Схема маршруту № 12

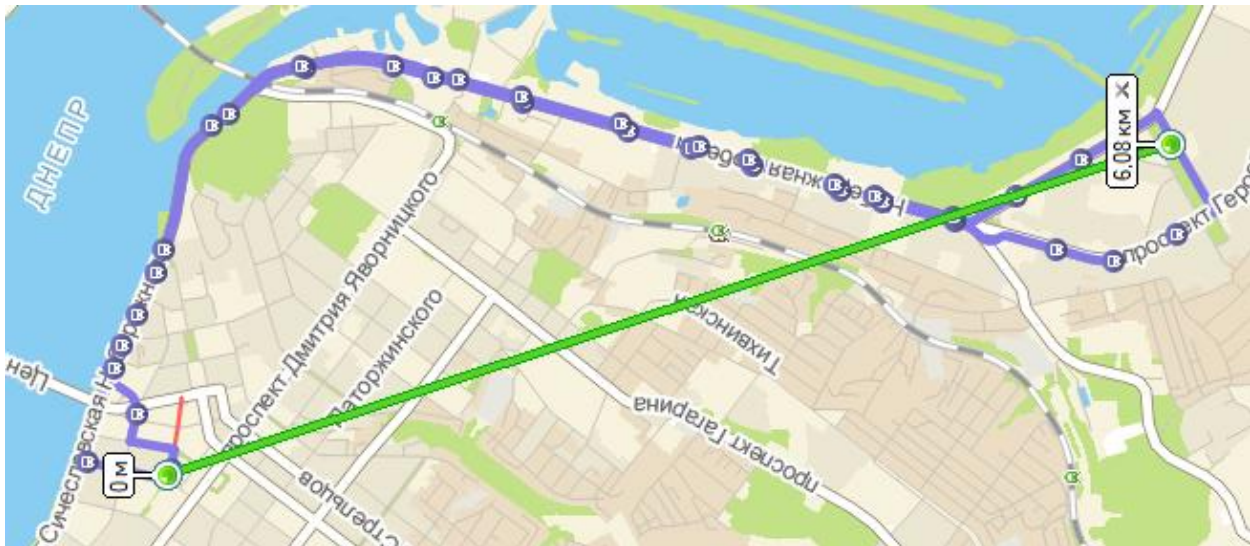


Рис. 6. Схема маршруту № 14

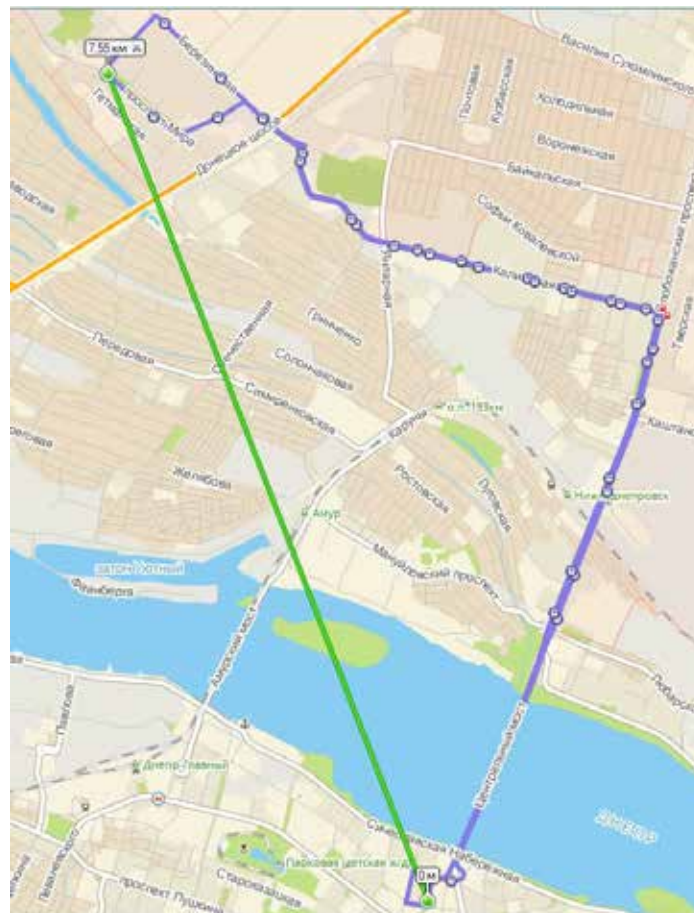


Рис. 7. Схема маршруту № 17

До основних експлуатаційних характеристик маршруту належить:
1. Коефіцієнт непрямолінійності маршруту:

$$k_{\text{непр}} = \frac{L_M}{L_{\text{вл}}}, \quad (2)$$

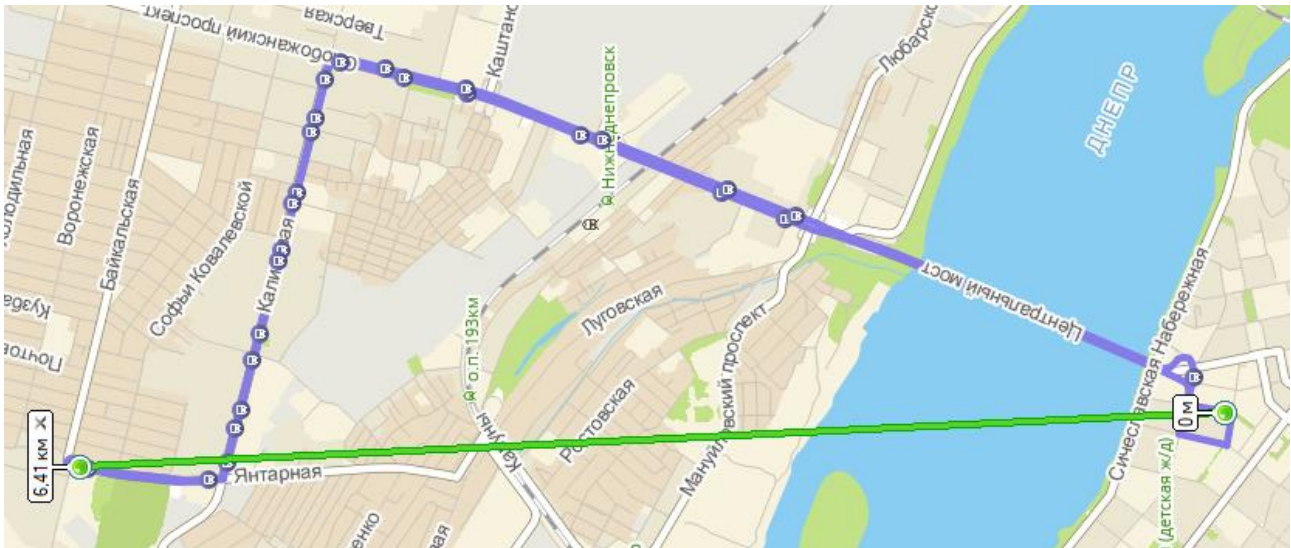


Рис. 8. Схема маршруту № 20

де $L_{вл}$ – відстань між кінцевими пунктами по повітряю, км.

2. Час рейсу тролейбуса в прямому $np\ tp$ та зворотному $tp\ зв$ напрямку розрахувати за залежністю, хв.:

$$t_p^{np} = \frac{60 \cdot L_{нз}^{np}}{V_m} + n_{нз}^{np} \cdot t_{нз} + t_{кз}, \quad (3)$$

$$t_p^{зв} = \frac{60 \cdot L_{нз}^{зв}}{V_m} + n_{нз}^{зв} \cdot t_{нз} + t_{кз}, \quad (4)$$

де V_m – технічна швидкість тролейбуса, км/год.;

$n_{нз}^{np}, n_{нз}^{зв}$ – кількість проміжних зупинок на маршруті відповідно упрямому та зворотному напрямках, од.;

$t_{нз}$ – час простою на проміжній зупинці, хв.;

$t_{кз}$ – час простою на кінцевій зупинці, хв.

3. Час оборотного рейсу тролейбуса дорівнює, хв.:

$$t_{об} = t_p^{np} + t_p^{зв}. \quad (5)$$

4. Час сполучення за оборотний рейс, хв.:

$$t_c^{об} = t_{об} - 2 \cdot t_{кз}. \quad (6)$$

5. Експлуатаційна швидкість V_e тролейбуса, км/год.:

$$V_e = \frac{60 \cdot (L_M^{np} + L_M^{зв})}{t_{об}}. \quad (7)$$

6. Швидкість сполучення V_c тролейбуса, км/год.:

$$V_c = \frac{60 \cdot (L_M^{np} + L_M^{зв})}{t_c^{об}}. \quad (8)$$

7. Необхідна кількість тролейбусів A на маршруті у годину «пік», од.:

$$A = \frac{Q_{max} \cdot t_{об}}{60 \cdot q_n}, \quad (9)$$

де Q_{max} – максимальний пасажиропотік у годину «пік», пас.;

q_n – номінальна пасажиромісткість тролейбуса, пас. (табл. 2)

8. Інтервал руху тролейбусів I у годину «пік», хв.:

$$I = \frac{t_{об}}{A} \quad (10)$$

Результати розрахунків основних експлуатаційних характеристик

№ маршруту	2	3	7	10	12	14	17	20
Характеристика								
Коефіцієнт непрямолінійності	1,20	1,64	1,26	1,42	1,54	1,76	1,45	1,58
t пр р, хв	46,03	42,26	34,20	28,25	39,14	18,25	36,63	45,88
t зв р, хв	45,63	41,26	33,44	28,08	38,89	17,69	37,25	43,75
t об, хв	91,65	83,53	67,64	56,33	78,03	35,94	73,88	89,63
t с об, хв	83,65	75,53	59,64	48,33	70,03	27,94	65,88	81,63
V е, км/год	8,14	8,15	7,96	6,63	7,18	7,10	7,55	7,97
V с, км/год	8,92	9,01	9,02	7,72	8,00	9,13	8,47	8,75
A, штук	7	7	3	6	9	3	4	14
I, хв	13,09	11,93	22,55	9,39	8,67	11,98	18,47	6,40

Системи лінійних нерівностей представляють собою кількісні характеристики пасажиропотоків на маршрутах, місткість різних типів рухомого складу, їх комфортність, вартість години роботи. Для кожного маршруту будується окрема система лінійних нерівностей, виходячи з даних, а потім об'єднуються в одну.

Функція мети показує нам мінімізацію кількості рухомого складу тролейбусів на маршрутах у відповідності до заданих обмежень

$$F = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \rightarrow \min$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{21} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{22} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{23} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{31} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{32} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{33} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{41} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{42} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{43} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{71} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{72} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{73} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{101} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{102} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{103} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{121} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{122} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{123} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{141} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{142} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{143} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{151} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{152} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{153} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{171} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{172} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{173} \\ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \geq z_{201} \\ b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \leq z_{202} \\ c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 \geq z_{203} \\ x_1 \leq 45; \\ x_2 \leq 25 \\ x_3 \leq 13 \\ x_4 \leq 5 \\ x_5 \leq 3 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \in Z \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0 \end{array} \right.$$

де x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – кількість рухомого складу, де x_1 – кількість тролейбусів моделі ЮМЗ Т2, наявних в тролейбусному депо № 1; x_2 – кількість тролейбусів моделі Дніпро Т203, наявних в тролейбусному депо № 1; x_3 – кількість тролейбусів моделі БКМ-321, наявних в тролейбусному депо № 1; x_4 – кількість тролейбусів моделі Дніпро Т103, наявних в тролейбусному депо № 1; x_5 – кількість тролейбусів моделі ЗіУ-682Г, наявних в тролейбусному депо № 1

a_i – місткість i -го типу рухомого складу (5 чол/м²). $i=1$ – місткість тролейбусу моделі ЮМЗ Т2, $i=2$ – місткість тролейбусу моделі Дніпро Т203, $i=3$ – місткість тролейбусу моделі БКМ-321, $i=4$ – місткість тролейбусу моделі Дніпро Т103, $i=5$ – місткість тролейбусу моделі ЗіУ-682Г. Дані отримані з технічних характеристик тролейбусів (табл. 2).

b_i – вартість години роботи i -го типу рухомого складу для кожної моделі тролейбусу [6].

c_i – коефіцієнт комфортності i -го типу рухомого складу для кожної моделі тролейбусу [6].

$z_{j,1}$ – пасажиропотік на j -му маршруті (табл. 2.1).

$z_{j,2}$ – вартість роботи на j -му маршруті [6].

$z_{j,3}$ – коефіцієнт комфортності на j -му маршруті [6].

Підставимо отримані з розрахунків дані у формулу 2.1, отримаємо економіко-математичну модель:

$$F = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \rightarrow \min$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 840 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 13406,4 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 12,1 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 742 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 11842,32 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 9,5 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 156 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 2489,76 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 2,6 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 161 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 2569,56 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 2 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 405 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 6463,8 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 7 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 708 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 11299,68 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 9,1 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 216 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 3447,36 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 4,1 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 90 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 1436,4 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 1 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 407 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 6495,72 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 4 \\ 100x_1 + 100x_2 + 115x_3 + 108x_4 + 98x_5 \geq 1208 \\ 1187,9x_1 + 954,1x_2 + 871,5x_3 + 1082,9x_4 + 1085,7x_5 \leq 19279,68 \\ x_1 + 1,5x_2 + 1,5x_3 + 1,3x_4 + x_5 \geq 14,6 \\ x_1 \leq 45; x_2 \leq 25; x_3 \leq 13; x_4 \leq 5; x_5 \leq 3 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \in Z \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0 \end{array} \right. \quad (12)$$

№ п/п	Коефіцієнти при x					Одержані обмеження	Задані обмеження	Маршрут
	x1	x2	x3	x4	x5			
1	100	100.00	115	108	98	908	840	
2	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	8715.7	13406.4	
3	1	1.5	1.5	1.3	1	13	12.1	2
4	100	100.00	115	108	98	777	742	
5	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	6946	11842.32	
6	1	1.5	1.5	1.3	1	10	9.5	3
7	100	100.00	115	108	98	230	156	
8	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	1743	2489.76	
9	1	1.5	1.5	1.3	1	3	2.6	4
10	100	100.00	115	108	98	198	161	
11	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	2040	2569.56	
12	1	1.5	1.5	1.3	1	3	2	7
13	100	100.00	115	108	98	560	405	
14	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	4674	6463.8	
15	1	1.5	1.5	1.3	1	7	7	10
16	100	100.00	115	108	98	713	708	
17	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	6728	11299.68	
18	1	1.5	1.5	1.3	1	10	9.1	12
19	100	100.00	115	108	98	300	216	
20	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	2862	3447.36	
21	1	1.5	1.5	1.3	1	5	4.1	14
22	100	100.00	115	108	98	115	90	
23	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	872	1436.4	
24	1	1.5	1.5	1.3	1	2	1	15
25	100	100.00	115	108	98	415	407	
26	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	4435	6495.72	
27	1	1.5	1.5	1.3	1	5	4	17
28	100	100.00	115	108	98	1213	1208	
29	1187.9	954.1	871.5	1082.9	1085.7	11966	19279.68	
30	1	1.5	1.5	1.3	1	17	14.6	20

Рис. 9. Вихідні дані в середовищі MS Excel (Скрин екрана)

Параметри розв'язувача

Оптимізувати цільову функцію:

До: Максимум Мінімум Значення:

Змінюючи клітинки змінних:

Підлягає обмеженням:

\$C\$40:\$G\$40 = ціле
 \$C\$40:\$G\$49 = ціле
 \$C\$50 <= 45
 \$D\$50 <= 25
 \$E\$50 <= 13
 \$F\$50 <= 5
 \$G\$50 <= 3
 \$H\$10 <= \$I\$10
 \$H\$11 >= \$I\$11
 \$H\$12 >= \$I\$12
 \$H\$13 <= \$I\$13
 \$H\$14 >= \$I\$14
 \$H\$15 >= \$I\$15

Зробити необмежені змінні не від'ємними

Виберіть метод розв'язання:

Метод розв'язання
 Для розв'язання гладких нелінійних задач виберіть розв'язувач нелінійних задач за методом зведеного градієнта. Для розв'язання лінійних завдань виберіть розв'язувач за симплекс-методом, для негладких завдань виберіть розвиваний розв'язувач.

Довідка

Рис. 10. Розв'язання задачі в середовищі MS Excel (Скрин екрана)

Функція мети		1	1	1	1	1	52
		X1	X2	X3	X4	X5	
1	2	0	8	0	1	0	9
2	3	0	0	3	4	0	7
3	4	0	0	2	0	0	2
4	7	0	1	0	0	1	2
5	10	1	0	4	0	0	5
6	12	0	5	1	0	1	7
7	14	0	3	0	0	0	3
8	15	0	0	1	0	0	1
9	17	3	0	1	0	0	4
10	20	2	8	1	0	1	12
		6	25	13	5	3	

Рис. 11. Результат розрахунку в середовищі Excel

Порівняємо результати з наявним станом. Порівняння наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняння

Номер маршруту	Дані 01.12.2021 [6]			Оптимізація		
	Кількість од.	$Z_{i,z}$, середній коефіцієнт комфортності	Вартість години роботи, грн	Кількість од.	Середній коефіцієнт комфортності	Вартість години роботи, грн
2	10	1,33	13090,7	9	1.37	8715.7
3	8	1,17	10013.5	7	1.38	6936
3	1	1,3	1082.9	2	1.5	1733
7	2	1	2375.8	2	1.25	2030
10	5	1,3	5003.3	5	1.3	3673
12	8	1,28	7277.9	7	1.32	6728
13	3	1,33	3076.8	3	1.5	2862
15	1	1	1178.9	1	1.5	875.1
17	5	1	7127.3	3	1.12	3335
20	13	1,21	17122	12	1.38	11966
Всього	56	1.203	55259.5	52	1.392	50983.8



Рис. 12. Порівняння отриманих результатів

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Виходячи з розрахунків завдяки оптимізації на всіх маршрутах можна скоротити кількість рухомого складу на 3 одиниці (на 8%), середній коефіцієнт комфортності збільшити на 15,7%, вартість години роботи зменшити

на 3273,7 грн (8%). Слід зазначити, що зменшення рухомого складу впливає на інтервал руху тролейбусів, але це зменшення відбувається на маршрутах, де велика кількість рухомого складу. Різниця між інтервалами наведена в таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняння інтервалів руху тролейбусів

Маршрут	Дані на 01.12.2021			Після оптимізації		
	Кількість одиниць, шт.	Час оборотного рейсу, хв	Інтервал, хв	Кількість одиниць, шт.	Час оборотного рейсу, хв	Інтервал, хв
2	10	92	9,2	9	92	10
3	8	83	10,5	7	83	12
12	8	78	10	7	78	11
17	5	73	15	3	73	19
20	13	90	7	12	90	7,5

Відповідно до розрахунків інтервал підвищиться в середньому на 1,5 хвилини, що є прийнятним для очікування пасажирів. Також можна вжити заходи для збільшення швидкості руху тролейбусів, наприклад, виділення смуги для громадського транспорту по пр. Слобожанському.

Розглянемо структуру рухомого, який виходить на маршрут та після оптимізації (табл 5, рис. 13, 14).

Таблиця 5

Рухомий склад

Маршрут	На 01.12.2021					Після оптимізації				
	ЮМЗ Т2	ДНІ-ПРО Т203	АКСМ-321	ДНІ-ПРО Т-103	ЗіУ-682	ЮМЗ Т2	ДНІ-ПРО Т203	АКСМ-321	ДНІ-ПРО Т-103	ЗіУ-682
2	3	6	3	0	0	0	8	0	1	0
3	5	2	0	2	0	0	0	3	3	0
3	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0
7	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1
10	1	3	0	0	0	1	0	3	0	0
12	2	3	0	0	1	0	5	1	0	1
13	0	2	0	1	1	0	3	0	0	0
15	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
17	6	0	0	0	0	3	0	1	0	0
20	9	3	3	0	0	2	8	1	0	1
Всього	30	22	6	3	2	6	25	13	5	3



Рис. 13

Розподіл рухомого складу після оптимізації

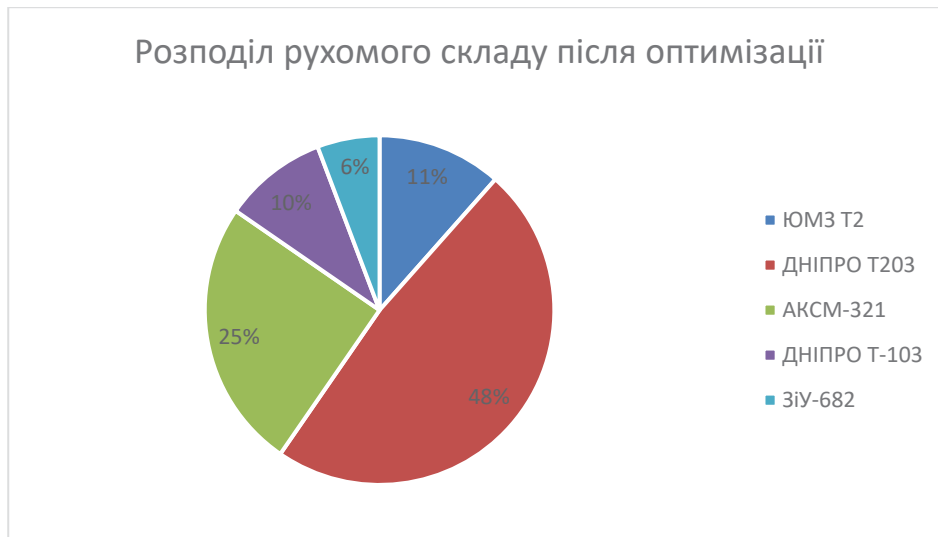


Рис. 14

Виходячи з графіків можна побачити, що зараз старий рухомий склад (тролейбуси ЗІУ-682 і ЮМЗ Т2) складає 50%, за підсумками оптимізації маємо, що старий рухомий склад складає 17%, це означає, що новий рухомий склад необхідно випускати максимум, який наявний в депо, а старий рухомий склад використовувати, як підмінний рухомий склад, якщо який тролейбус зламався або йому потрібні регламентні роботи (ТО-1, ТО-2, СР, КР).

Дана оптимізаційна модель дуже гнучка і може легко змінюватись у зв'язку з невизначеністю пасажиропотоків у місті (сезонність, дні тижня, карантинні обмеження), невизначеність економічної ситуації (зміна вартості енергоносіїв, зміна вартості імпортованих запчастин для рухомого складу, інфляційні процеси), що впливає на собівартість перевезень.

Список використаних джерел:

1. Григорова Т. М. Теоретичні основи організації маршрутних автобусних перевезень у приміському сполученні: дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: 05.22.01. Харків, Харків. держав. ун-т міськ. гос-ва ім. О.М. Бекетова, Григорова Тетяна Михайлівна, 2016, 348 с.
2. Горбачов П. Ф. Нова концепція моделювання потреб населення у трудових пересуваннях міським пасажирським транспортом. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ. 2009. № 27. С. 210–214.
3. Любий Є. В. Підхід щодо формування транспортної моделі системи пасажирського транспорту в малих містах. Вісник економіки транспорту і промисловості: Проблеми транспортного комплексу України. Харків. 2016., № 55. 191 с. URL : <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CoWg5ynzuiEJ:btie.kart.edu.ua/article/download/83395/78750+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=ua> (дата звернення 13.10.21)
4. Sheffi Y. Urban Transportation Networks. : Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 1985. 415 p. сайт. URL : http://web.mit.edu/sheffi/www/selectedMedia/sheffi_urban_trans_networks.pdf (дата звернення 11.09.21)
5. Леснікова І.Ю., Халіпова Н.В., Кузьменко А.І., Разгонов С.А., Новицький Є.М., Лесніков П.В., Чіхун Д.А., Шевчук К.А., Єрмакова Л.П., Горуля М.М., Черніков Д.О. Розробка методики розрахунку техніко-економічних показників роботи електротранспорту на маршруті. Грааль науки: SCIENTIFIC VECTOR OF VARIOUS SPHERE' DEVELOPMENT: REALITY AND FUTURE TRENDS, 2023. № 33. С. 221–243. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.10.11.2023.37>
6. Статистика транспорту Дніпра. URL: <http://kstat.pp.ua/dpstat/?action=list&date=2021-12-01>.

References:

1. Hryhorova, T. M. (2016). Teoretychni osnovy orhanizatsii marshrutnykh avtobusnykh perevezen u prymyskomyu spoluchenni: dys. na zdobuttia nauk. stupenia dokt. tekhn. nauk: 05.22.01. Kharkiv, Kharkiv. derzhav. un-t misk. hos-va im. O.M. Beketova, Hryhorova Tetiana Mykhailivna, 348 s.
2. Horbachov, P. F. (2009). Nova kontseptsiia modeliuвання potreb naseleння u trudovykh peresuvanniakh miskym pasazhyrskym transportom. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*. Dnipropetrovsk. № 27. S. 210–214.
3. Liubiy, Ye. V. (2016). Pidkhid shchodo formuvannya transportnoi modeli systemy pasazhyrskoho transportu v malykh mistakh. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti: Problemy transportnoho kompleksu Ukrainy*.

Kharkiv. № 55. 191 s. URL: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CoWg5ynzuiEJ:btie.kart.edu.ua/article/download/83395/78750+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=ua> (last accessed 13.10.21)

4. Sheffy, Y. (1985). *Urban Transportation Networks. : Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 415 p. URL : http://web.mit.edu/sheffi/www/selectedMedia/sheffi_urban_trans_networks.pdf (last accessed 11.09.21)

5. Lesnikova I.Iu., Khalipova N.V, Kuzmenko A.I., Razghonov S.A., Novytskyi Ye.M., Lesnikov P.V, Chikhun D.A., Shevchuk K.A., Yermakova L.P., Horulia M.M., Chernikov D.O. Rozrobka metodyky rozrakhunku tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv roboty elektrotransportu na marshruti. Hraal nauky: SCIENTIFIC VECTOR OF VARIOUS SPHERE' DEVELOPMENT: REALITY AND FUTURE TRENDS, 2023. № 33. S. 221–243. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.10.11.2023.37>

6. Statystyka transportu Dnipra. URL: <http://kstat.pp.ua/dpstat/?action=list&date=2021-12-01>.

UDC 656.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.11>

Nesterenko H. I., Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Management
of Operational Work
Ukrainian State University of Science and Technologies
ORCID: 0000-0003-1629-0201

Muzykin M. I., Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Technologies
and International Logistics
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0003-2938-7061

Strelko O. H., Doctor of Historical Sciences, Professor,
Dean of the Faculty of Management of Railway Transport
University of Infrastructure and Technologies
ORCID: 0000-0003-3173-3373

Bibik S. I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Technologies
and Management of Transportation Processes
University of Infrastructure and Technologies
ORCID: 0000-0002-5832-6949

Aleksieieva A. O., 4th year Student
Specialties 275 Transport Technologies
University of Customs and Finance

ANALYSIS OF POSSIBILITIES FOR INTEGRATING THE TRANSPORT SYSTEM OF UKRAINE INTO THE EUROPEAN TRANSPORT NETWORK

This article is devoted to the analysis of transport networks of such European countries as Ukraine, Hungary, and Romania. The article provides an analysis of the peculiarities in the movement organization in these countries. The transport systems of these countries were researched since during the war the issue of the interaction of the automobile transport networks exactly in these countries became particularly relevant. After all, there are incredibly long queues at the checkpoints in Poland because of strikes by Polish customs officers. And, therefore, the routes through Romania and Hungary are the most realistic both during the export of goods from Ukraine and to import humanitarian goods.

The joint use of Europe's integrated systems is a necessary component in the organization of the effective operation of road transport, as it ensures increased efficiency in the use of the motor vehicle fleet and personnel; reduction of costs for maintenance, fuel, lubricants due to optimization of routes and reduction of non-productive vehicle mileage; reduction of the need to expand the motor vehicle fleet; clearer prospective planning of work based on objective information about the real mileage of each vehicle unit and reduction of losses related to repairs and expansion of the range of services and prompt response to requests.

It is advisable to conduct further research in the direction of adapting the use of augmented reality technology in the driver's navigation systems.

Key words: traffic rules, mandatory vehicle equipment, system of fines.

© H. I. Nesterenko, M. I. Muzykin, O. H. Strelko, S. I. Bibik, A. O. Aleksieieva, 2023

Нестеренко Г. І., Музикін М. І., Стрелко О. Г., Бібік С. І., Алексєєва А. О. Аналіз можливостей інтеграції транспортної системи України в європейську транспортну мережу

Дана стаття присвячена аналізу транспортних мереж таких європейських країн, як Україна, Угорщина та Румунія. Стаття містить аналіз особливостей організації руху в цих країнах. Досліджувались транспортні системи саме цих країн через те, що під час війни набули особливої актуальності питання взаємодії автомобільних транспортних мереж саме цих країн. Адже на пунктах пропуску із Польщею неймовірно великі черги через страйки польських митників. А, отже, шляхи через Румунію та Угорщину є найбільш реальними як під час експорту товарів з України так і з метою ввезення гуманітарних вантажів.

Ефективність інтеграційних процесів під час входження транспортної системи України в європейську транспортну мережу – важливий чинник, що впливає на розвиток економіки країни, відіграє важливу роль під час воєнних дій, сприяє підвищенню культури та освіченості населення, підвищує ефективність праці, а також має велике політичне значення. Одним з основних способів підвищення ефективності роботи автомобільного транспорту України на цьому шляху є адаптація вітчизняних транспортних мереж до транспортних систем сусідніх країн.

Сумісне використання інтегрованих систем Європи є необхідною складовою в організації ефективної роботи автомобільного транспорту, адже при цьому забезпечуються підвищення ефективності використання наявного парку транспорту і персоналу; зменшення витрат на технічне обслуговування, паливо, мастильні матеріали за рахунок оптимізації маршрутів і зниження непродуктивного пробігу автотранспорту; зниження потреби в розширенні парку автотранспорту; більш чітке перспективне планування роботи на основі об'єктивної інформації про реальний пробіг кожної одиниці автотранспорту і зниження витрат, пов'язаних з ремонтом і розширення спектра послуг і оперативного реагування на запити.

Подальші дослідження доцільно проводити в напрямку адаптації використання технології доповненої реальності в навігаційних системах водія.

Ключові слова: правила дорожнього руху, обов'язкове обладнання автомобіля, система штрафів.

Formulation of the problem. The effectiveness of integration processes during the entry of the transport system of Ukraine into the European transport network is an important factor that affects the development of the country's economy, plays an important role during military operations, contributes to the improvement of culture and education of the population, increases labor efficiency, and is also of great political importance. One of the main ways to increase the efficiency of road transport of Ukraine on this path is the adaptation of domestic transport networks to the transport systems of neighboring countries, as well as the application of modern navigation systems and their development [1].

Today, owing to truck downtime at the borders with Poland, a large share of international transportation between Ukraine and European countries is carried out to Romania and Hungary. It is very important to know the peculiarities in the organization of vehicle traffic on the transport highways of these countries because it is a guarantee of traffic safety and timely delivery of goods and passengers [2]. Such transportation has become especially relevant since the beginning of full-scale military operations, which caused a decrease in the volume of maritime transport in Ukraine, and the only transport that can bring goods to the ports of European countries is by road.

In addition, ensuring safety must be a management responsibility on par with production functions. Safety must be ensured by setting achievable objectives while simultaneously planning the goal, and organizing continuous control. In line with this principle, the importance of safety is equated to the factors of transportation quality, cost, and quantity [3]. In this connection, the question arises of the need to combine the reliability factor to manage international road transport.

Analysis of recent research and publications. Ukrainian and foreign scientists such as O.P. Holykov, V.H. Shynkarenko, A.I. Abramov, A.V. Velmozyn, A.I. Vorkut, B.L. Heronimus, Ye.A. Zhukov, V.N. Ivanov, V.Ye. Kanarchuk, L.V. Kantorovych, and other devoted their research to highlighting problems and finding ways to economic issues in the development of the transport industry. Scientists comprehensively studied the issue of the development of the transport complex, gave recommendations, and proposed ways to ensure the effective functioning of this important sphere of the country's national and economic complex. At the same time, the path of European integration of Ukraine and the formation of our state as a full-fledged member of the European Community requires the development of new means and methods of traffic management in the context of cooperation with leading international transport organizations and participation in the implementation of relevant projects and programs [2]. Despite the recognition of transport as a priority sphere of activity that must be supported by the state, financed, and developed to meet international standards at the appropriate level, several problems hinder the development of road transport and the process of European integration.

Purpose of the article: to analyze transport highways and peculiarities in the organization of road transport in Ukraine, Romania, and Hungary to find ways to integrate Ukrainian roads into the European transport network.

Statement of basic materials. International road freight transport plays an important role in the country's economy and significantly affects the development of market relations. They have many advantages compared to other modes of transport – these are the speed of delivery, relatively lower financial costs compared to other modes of transport, safety, and delivery at the exact time and point [5].

The efficient movement of goods is the basis of the functioning of any economy and company. Thanks to the possibility of fast and safe transportation of goods, production processes are possible, and consumers have access to a wide range of products [6].

Among the three standard modes of transport – sea, air, and road – road transport is the most common mode of freight transportation. An extensive network of expressways is required for its effective functioning.

There are also types of road transport depending on the type of freight being transported. They include:

- automobile transportation of maritime containers;
- oversized transport;
- transportation of heavy goods;
- transportation of medicines;
- refrigerated transport and much more.

The above-mentioned advantages and possibilities of road transport make it an ideal solution for any company that sends any freight to any part of the country or Europe [6].

Transportation of goods outside the European Union requires customs clearance. To drive through other European countries, it is necessary to observe the current traffic rules (for example, in the field of exhaust gas emissions). A license for international transportation in Europe is a type of international permission document issued by the European Road Transport Inspectorate, which gives the owner the right to carry out road transportation of goods in all countries of the European Union. It gives the right to carry out bilateral, transit transportation or transportation to third countries near EU member states [6]. Issuance of licenses for international road transport is regulated by Regulation (EC) No. 1072/2009 of the European Parliament and the Council of October 21, 2009, on general rules for access to the international road transport market ("Regulation No. 1072/2009").

First, the highway network was analyzed. The length of state highways in Ukraine is 169.5 thousand km. The network of main routes is spread throughout the country and connects all major cities of Ukraine (see Fig. 1), and also provides cross-border routes with neighboring countries. Of these, 165.8 thousand km are with hard surfaces. The State Highway Agency of Ukraine is responsible for the condition of these roads [7].



Fig. 1. Highways of Ukraine on the map of the country [8]

The basic traffic rules and speed regime in Ukraine are as follows. For example, the speed of movement outside populated areas is 90 km/h; on a road with single carriageways separated from each other by a dividing strip is 110 km/h; on the highway is 130 km/h [9]. There are fines for violating the speed limit:

- for exceeding the speed from 20 to 50 km/h – a fine is of 340 hryvnas.
- for exceeding the speed by more than 50 km/h – 1.700 hryvnias.
- For passing through a public transport lane – 680 hryvnias.
- For passing through an intersection at a "red" traffic light – 425–510 hryvnias.

The maximum permissible level of alcohol in the blood is 0.00 ‰.

The permissible level of alcohol in a driver's blood in Ukraine must not exceed 0.2 ppm (permillage).

In Ukraine, the permissible level of alcohol content in a driver's blood is 0.2 ppm. The fine for drunken driving is UAH 10,200, in addition, the violator is revoked a driver's license for a year. The same actions, committed more than twice a year, are punishable by a fine of UAH 40,800 and revocation of rights for 10 years. A dipped beam is mandatory 24 hours a day throughout the year.

The fine for not turning on the dipped beam in Ukraine ranges from 425 to 510 hryvnias. During the specified period, daytime running lights must be turned on on all mechanical vehicles outside populated areas, and in the case of their absence in the vehicle structure, dipped beam headlights.

A child car seat, also a children's car seat is a seat that is installed in a car for the safe transportation of children from the moment of birth to approximately the age of 12 years (until the child reaches a weight of 36 kg and grows taller than 1.45 meters). The official name of a child's car seat in Ukrainian legislation is "special means that make it possible to fasten a child with the help of safety belts." The fine for the first violation of the rules for transporting children will be UAH 510; for repeated violations within a year is 850 hryvnias.

In Ukraine, according to the Traffic Rules, the use of seat belts is mandatory for the driver and all passengers, including those in the back seat. The fine for violating the rules for using seat belts is 510 hryvnias.

If a police officer notices a driver talking on the phone while holding it while driving, she/he has every right to stop and prosecute him/her. If the conversation on the phone did not lead to any consequences, the driver faces a fine of UAH 510.

Average fuel prices in Ukraine as of December 1, 2023, are shown in Table 1.

Table 1

Average fuel prices in Ukraine in 2023

Type of fuel price	Price (UAH)
A-95 premium gasoline	57.57
Gasoline A-95	54.33
Gasoline A-92	51.65
Diesel fuel	54.28
Automobile gas	36.74

At the next stage of the research, the highway network of Hungary was analyzed. According to the report of Állami Autópályakezelő Zrt. ("State Highway Administration"), the total length of the Hungarian highway system is 1.400 kilometers (see Fig. 2).

The number of Hungary's border crossings with a motorway link may double by the year 2022, the national daily Magyar Hírlap said. Over the past 20 years six such facilities have been built, to be followed by another six over the next five years, the national development ministry told the paper. The government decided to build 900 kilometres of motorways and dual carriageways, and earmark a total of 2.500 billion forints (8.2 billion euros) for road construction until 2022, it said. The M4 motorway to connect Budapest with Oradea (Nagyvárad) in western Romania will be completed with the inauguration of the last 30 km section on the Hungarian side of the border by early 2020. The construction of the dual carriageway M30 between Miskolc and Kosice (Kassa) in eastern Slovakia is scheduled to start next year but its Tornyosnémeti border crossing will be inaugurated before this year is over [10].

As far as links to Austria are concerned, the border sections of M8 at Rábafüzes (in the direction of Graz) and M85 at Sopron (in the direction of Vienna) will be completed in the coming five years. The last section of motorway M6 between Bóly and the Croatian border will probably be opened in late 2020 pending environmental permits. The construction of the last section of motorway M3 between Vásárosnamény and the Ukrainian border is scheduled to start in early 2021 [10].

The basic rules of the road and the speed regime for Hungary are: in populated areas is 50 km/h; outside the populated areas is 90 km/h, a car with a trailer is 70 km/h; on the road for cars is 110 km/h, a car with a trailer is 80 km/h (follow the signs); on the highway is 130 km/h, a car with a trailer is 80 km/h; cars with installed anti-skid chains is 50 km/h.

Exceeding the speed limit of up to 15 km/h is subject to a fine of up to 30,000 forints (€100.00) or a verbal warning is imposed (at the police's discretion depending on the specific road situation). Further, every 15 km/h excess is added to this amount by 15,000 forints (€50.00), and starting from 45 km/h of excess is 30,000 forints (€100.00) fine.

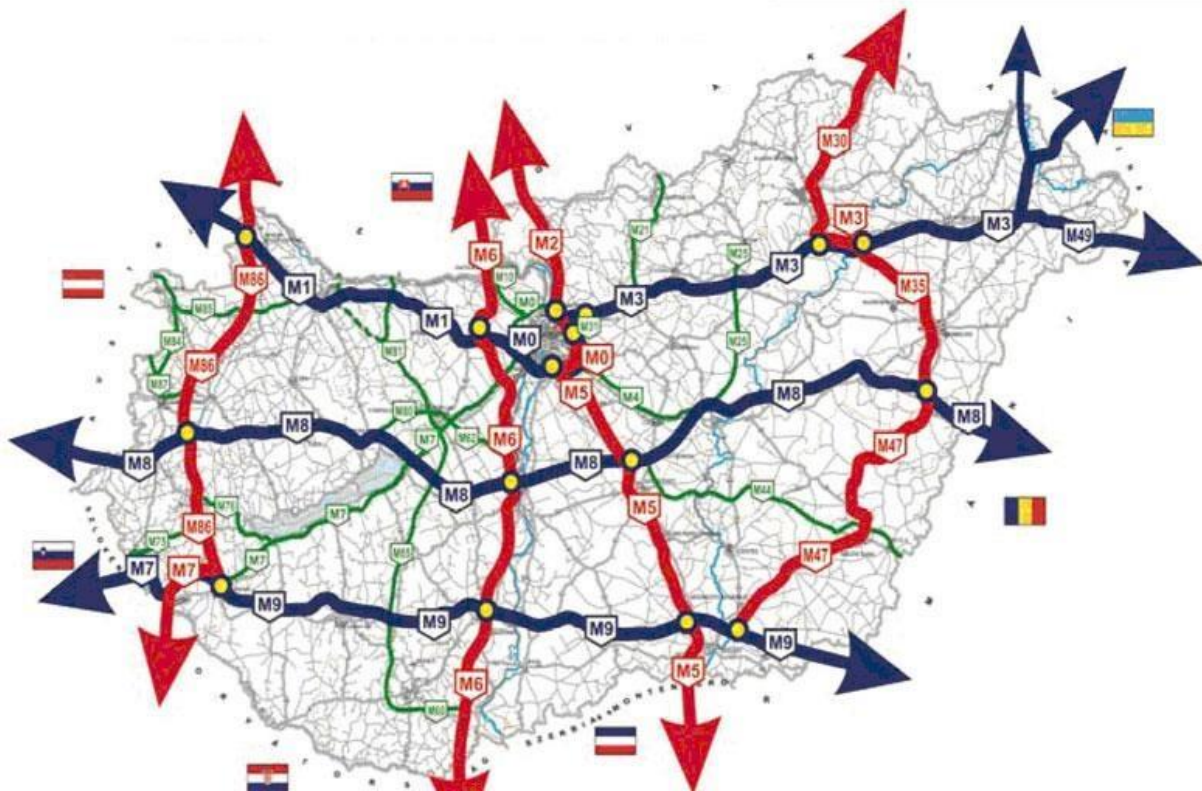


Fig. 2. Highways of Hungary on the country map [10]

The maximum amount of HUF 300.000 (€1,000.00) is charged for exceeding the permitted speed by more than 75 km/h in a populated area, outside it by 105 km/h. The maximum permissible level of alcohol in the blood is 0.00 ‰. If the level of alcohol in the blood is up to 0.5 ‰, then the fine will be 150.000 forints (€500.00). For a blood alcohol level between 0.5 ‰ and 0.8 ‰, the fine is HUF 200,000 (€750.00). If the level of alcohol in the blood exceeds 0.8 ‰, then the fine will be 300.000 forints (€1.000.00).

A dipped beam is mandatory 24 hours a day throughout the year. For non-compliance with rules is a fine of up to 10,000 forints (€33.00). For driving only with fog lights, the fine is HUF 5,000 (€17.00).

Using a telephone without a technical device that allows for hands-free conversations while driving is prohibited. Fines are from HUF 10,000 (€33.00) in the populated area and to HUF 20,000 (€66.00) on the highway.

The official price of fuel at gas stations in Hungary since November 2021 is HUF 480 per liter (about UAH 40). This year, due to the war in Ukraine, it has slightly increased. For cars and trucks, the price is HUF 661 per liter of gasoline (UAH 54.2) and HUF 679 per liter (UAH 55.7) per liter of diesel fuel.

The car must have a first-aid kit, a warning triangle, and a reflecting vest, which is mandatory for every pedestrian who is on the road or roadside outside a populated area in the dark, as well as in case of poor visibility. The fine is up to 30.000 forints (€100.00). Studded tires are prohibited. Anti-skid chains are allowed in difficult weather conditions (an appropriate international road sign is installed), and the use of a radar detector is not prohibited.

The next stage in the analysis was the research of the peculiarities of the transport network in Romania. In December 2018, Romania had 806.7 km of motorways, and another 148.6 km were under construction. In recent years, a national highway master plan has been developed, and many works have begun across the country leading to significant changes in 2022 (see Fig. 3).

To travel on roads in Romania outside the cities, you must pay a toll. In Romania, there is an electronic system for issuing vignettes (rovinieta). Vignettes can be purchased at gas stations, large shopping centers, and any post office. When paying the fee, the operator enters the license plate of the car for which the vignette is purchased, as well as the type of vehicle and the validity period of the vignette into the electronic database and issues a receipt with the above-mentioned data.

The information in the database is stored throughout the validity period of the vignette. The fee depends on the category of the vehicle and the validity period.

The cost of a vignette in Romania for trucks and vans weighing up to 3.5 tons is: for 7 days – €6.00; for 30 days – €16.00; for 90 days – €36.00; for 1 year – €96.00.



Fig. 3. Highways of Romania on the country map [11]

Control of the presence of vignettes is monitored either automatically at fixed points where the system's cameras are installed, or on the road, using mobile terminals, by police crews and employees of the National Road Company of Romania. The verification is carried out by reading the vehicle's license plate and comparing it with the database. In the absence of a vignette, a fine is charged (250–500 lei (€55.00–110.00) for a passenger car and 750–1250 (€167.00–278.00) lei for a van or minibus up to 3.5 tons), and in addition to this, compensation for road damage is (130 lei (€28.00) for a car and 430 (€95.00) for a van). Bridges (€6.00) and ferry crossings (€12.00) across the Danube both within Romania and between Romania and Bulgaria are additionally paid.

From November 1 to March 31, the use of summer tires on cars is prohibited. In case of violation, there is a fine from 2,500 to 4,000 lei (€555.00–889.00). Studded tires are prohibited.

The speed regime for cars is as follows: in the populated area is 50 km/h; outside the populated area is 100 km/h; on the highway is 130 km/h.

Cars with a trailer and motorhomes with a total weight of more than 3.5 tons are subject to the following speed regime: in a populated area is 50 km/h; outside the populated area is 90 km/h; on the highway is 120 km/h (110 for motorhomes). Even though the speed limit outside populated areas is set at 100 km/h, this applies only to those roads that have the status of national expressways or European roads (E85). A limit of 90 km/h has been set for the rest of the roads outside populated areas.

For drivers with experience of less than 1 year, the maximum speed is set at 20 km/h lower than the maximum permitted speed of vehicles of this category.

The following fines are imposed for violating the speed limit:

- 10–20 km/h – 134 lei (€30.00);
- 21–30 km/h – 201 lei (€45.00);
- 31–40 km/h – 268 lei (€60.00);
- 41–50 km/h – 402 lei (€90.00);
- over 50 km/h is 603–1340 lei (€134.00–300.00).

The maximum level of alcohol in the blood is 0.00 ‰. If the level of alcohol in the blood is less than 0.8 ‰, then the fine will be from 603 to 1340 lei (€134.00–300.00), and the driver's license revocation for up to 90 days. If the level of alcohol in the blood exceeds 0.8 ‰, then the driver faces imprisonment from 1 to 5 years.

During the movement of the vehicle, the dipped beam must be turned on regardless of the time of day throughout the year. A fine of 135 lei (€30.00) is imposed for the lack of a dipped beam or improper use of a high beam. For using fog lights in the absence of fog, there is a fine of 200 lei (€45.00).

It is forbidden to use a telephone communication device that is not equipped with a technical device that allows for hands-free conversations while the vehicle is in motion. The fine is 134 lei (€30.00).

As a rule, in Romania (as well as in Ukraine), the parking fee is charged by employees of companies that service parking lots. Parking costs range from 2.5 lei (€0.50) to 12 lei (€1.50) per hour. A receipt is issued upon payment. Violation of parking rules is 201 lei (€45.00).

The use of a video recorder is allowed in Romania.

At the final stage of the research, the main criteria taken into account in the process of integrating the transport system of Ukraine into the European transport network were compared. The results are shown in Tables and Figures.

Table 2

Comparing the length of the highway network, km

	Ukraine	Hungary	Romania
Length of roads	170000	203601	198930
Length of roads with hard surface	165800	77087	49873
Length of highways	169500	281	8067

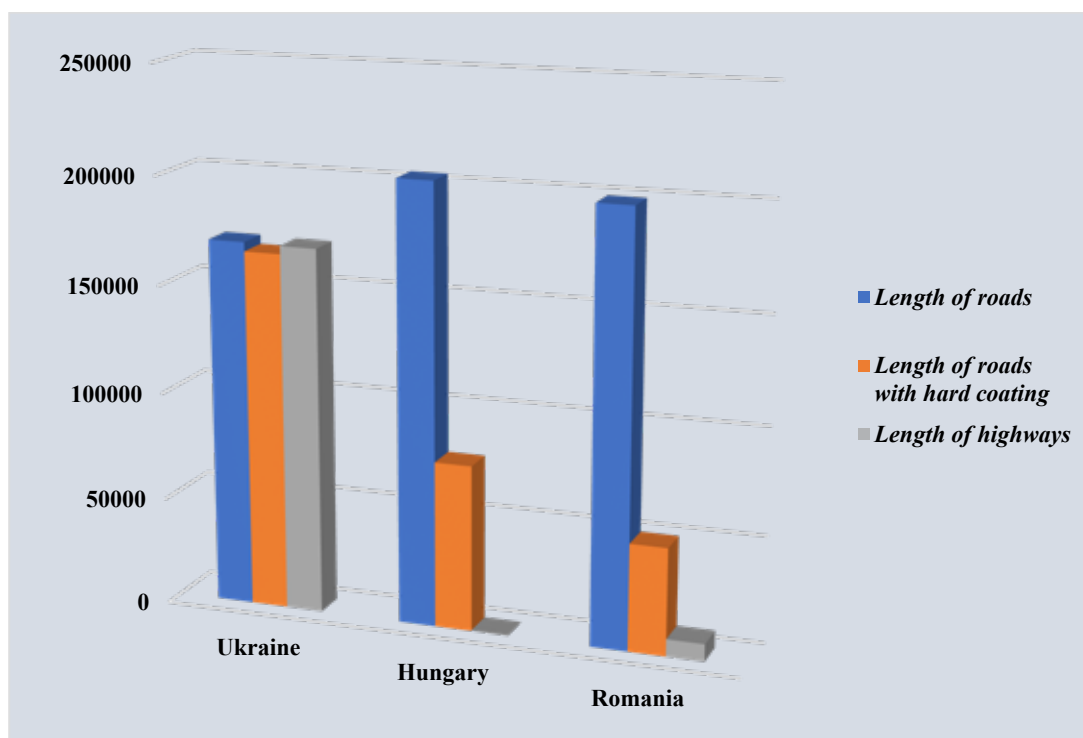


Fig. 4. Comparing the length of the highway network, km

Table 3

Comparing the standard speed limits in Ukraine, Hungary and Romania, km/h

	Ukraine	Hungary	Romania
In the city	50	50	50
Out of the city	90	70	100
On the highway	130	130	130

From the comparison Table, it can be concluded that the speed limits in the city and on the highway are the same. Restrictions outside the city vary considerably.

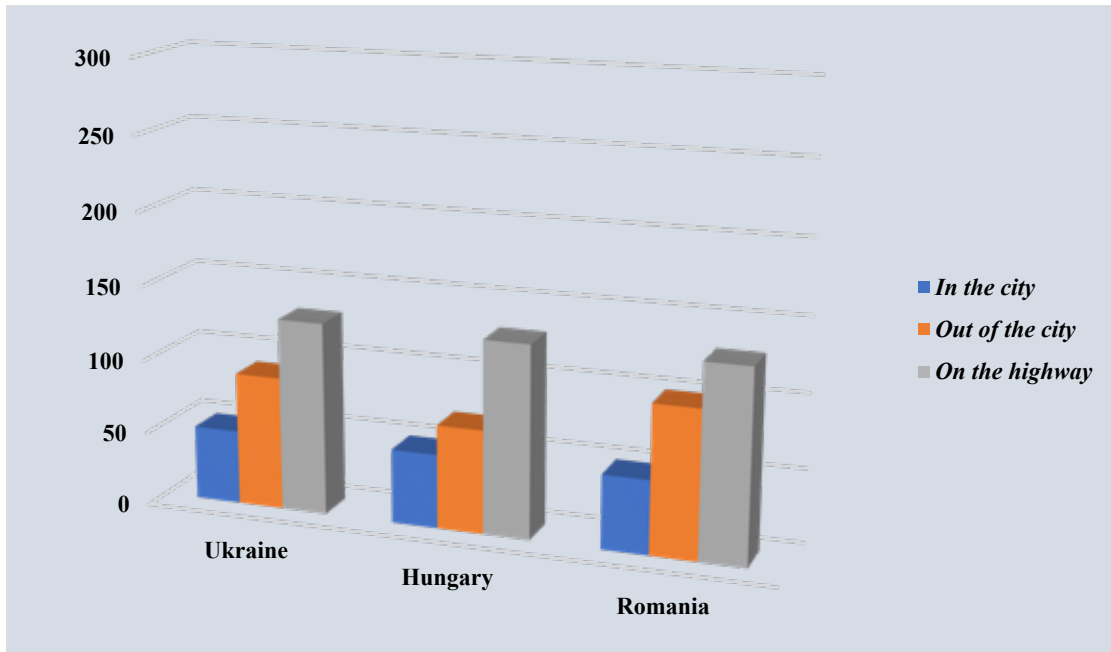


Fig. 5. Comparing the standard speed limits in Ukraine, Hungary, and Romania, km/h

Table 4

Comparing the standard speed limits in Ukraine, Hungary and Romania, km/h

	Ukraine	Hungary	Romania
A95(liter)	€1.33	€1.67	€1.69
A98(liter)	€1.61	€1.70	€1.81
Diesel (liter)	€1.32€	€1.71	€1.81
Gas	€0.92€	€0.98	€1.34

The comparative Table shows that the lowest price for all types of fuel is in Ukraine/Poland, and the most expensive fuel is in Romania.

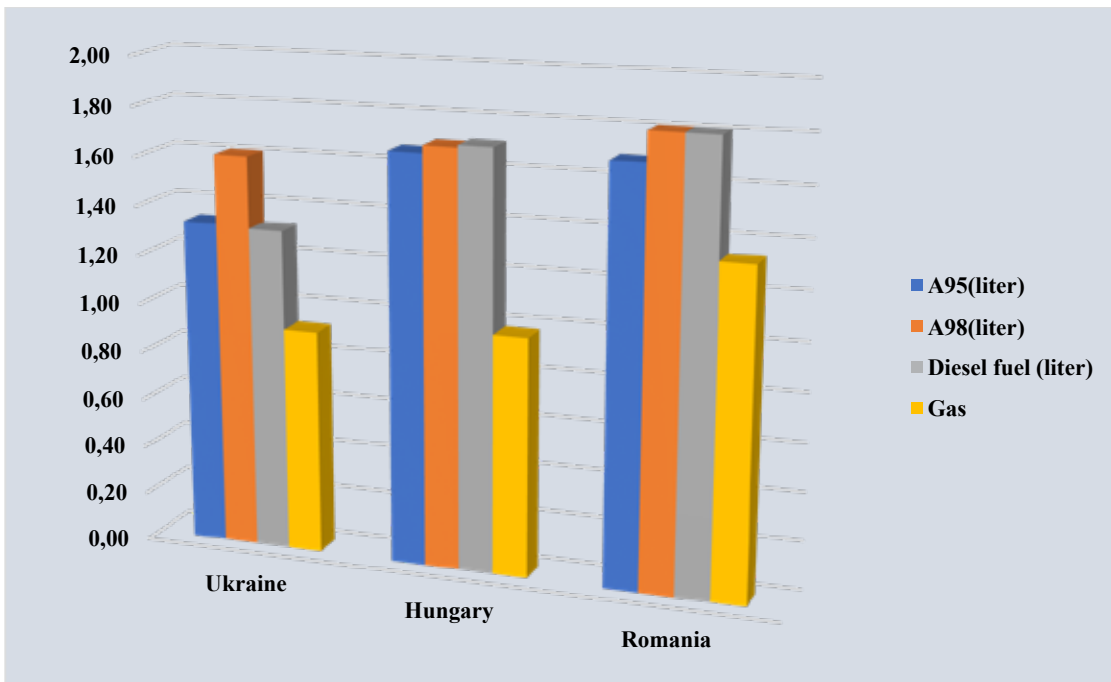


Fig. 6. Comparison of fuel costs in Ukraine, Hungary and Romania, €

Table 5

Comparing the validity period of the electronic vignette

Validity of electronic vignette	Ukraine	Hungary	Romania
10 days	€0.00	€11.00	€23.00
1 month	€0.00	€14.00	€7.00
1 year	€0.00	€130.00	€28.00

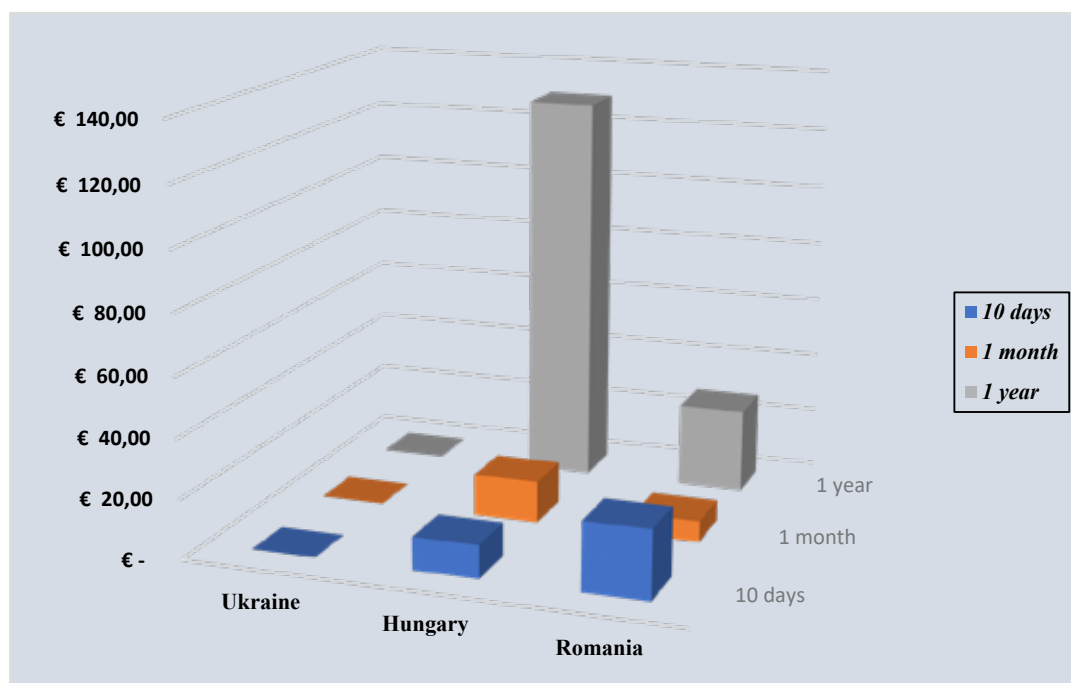


Fig. 7. Comparing the validity period of the electronic vignette

Table 6

Comparing the car parking costs in the researched countries

	Ukraine	Hungary	Romania
Parking cost of 1 hour	€0.55	€1.60	€1.50

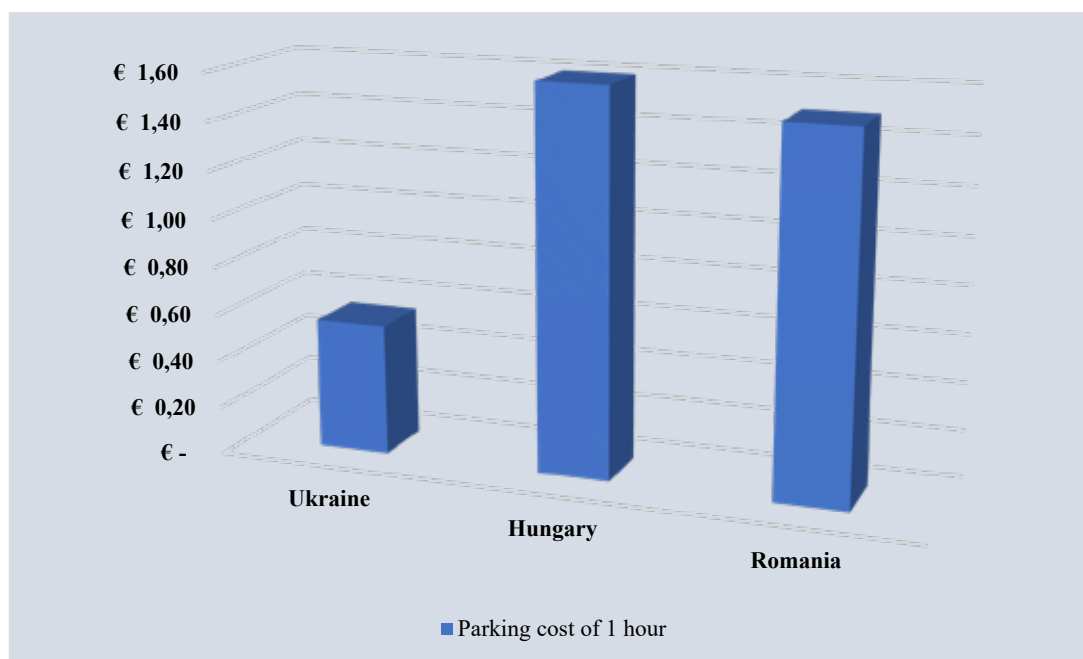


Fig. 8. Comparing the car parking costs in the researched countries

Table 7

Comparing the standard fines in Ukraine, Hungary and Romania

	Ukraine	Hungary	Romania
Overspeeding (on average)	€25.60	€408.30	€109.80
Alcohol in the blood (on average)	€851.60	€750.00	€217.00
Dipped beam headlights turned off outside the city (on average)	€11.70	€25.00	€37.50
Unbuckled seat belt	€12.80	€92.50	€30.00
Talking on the phone while driving	€12.80	€50.00	€30.00
Improper children transportation	€13.50	€150.00	€217.00
Average value of fines	€154.7	€246.0	€106.9

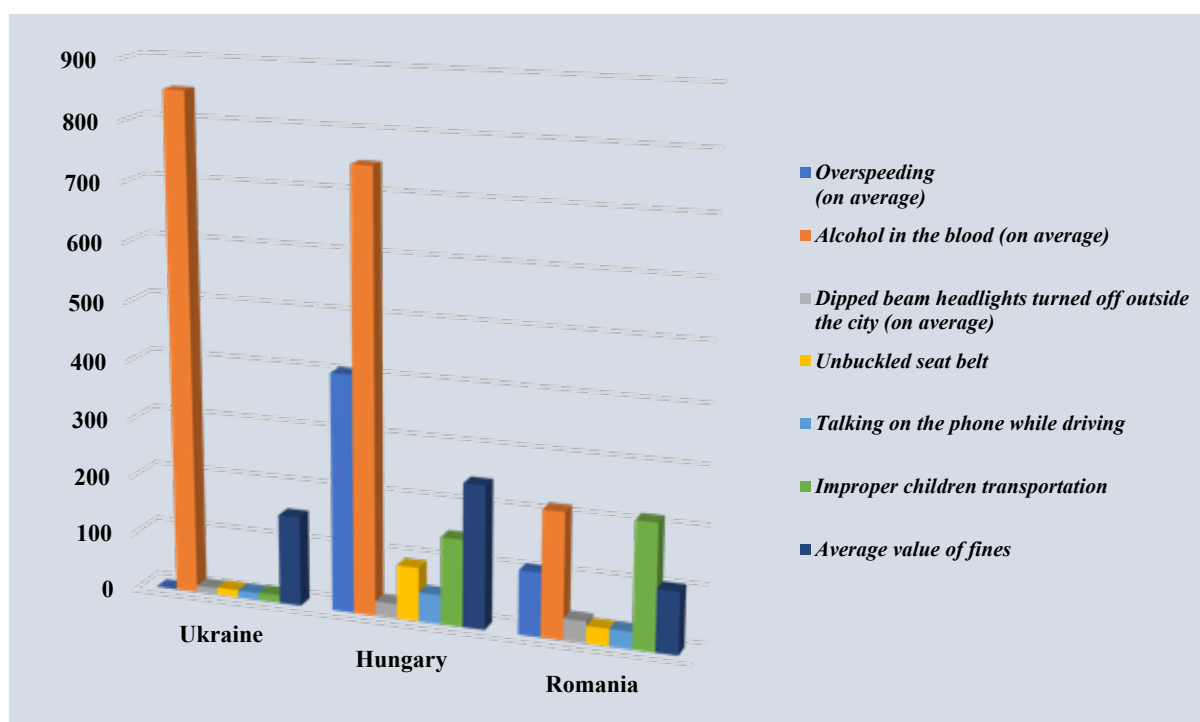


Fig. 9. Comparing the standard fines in Ukraine, Hungary, and Romania, €

Conclusions from this research and prospects for further surveys in this direction. After analyzing the data of the comparative charts constructed in the course of the research, it can be concluded that the speed limits in cities and on highways of all countries that were accepted for comparison are almost the same. Restrictions outside the city vary considerably.

The lowest price for all types of fuel, despite the war, is in Ukraine; the most expensive fuel is in Romania. Hungary has the highest fines, followed by Ukraine, and Romania has the smallest fines.

Thus, it can be said that the conditions in the transport networks of the analyzed countries are favorable for the integration of the transport system of Ukraine into the European transport network.

Bibliography:

1. Музикін М., Нестренко Г., Стрелко О., Клочкова Н. Роль навігаційних систем в організації ефективної роботи автомобільного транспорту. *2022 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE)*, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, Nov. 29–30, 2022, pp. 82–85.

2. Нестренко, Г. І., Музикін, М. І., Бібік, С. І., & Швайко, А. Ю. (2023). Аналіз транспортних мереж та організації автомобільних перевезень в країнах Європи. *Системи та технології*, 63(1), 88–99. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.1-63.7>

3. Нестеренко Г. І., Музикін М. І., Бібік С. І. Аналіз впливу людського фактору на виникнення транспортних ризиків. *Збірник доповідей Міжнародної науково-методичної конференції «Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг»*. Маріуполь: ПДТУ, 2021, стор. 299–303.
4. Науменко А. П., Макаревич Д. О. Розвиток міжнародних автомобільних перевезень в рамках транспортних коридорів Європи та України. URL: <https://jrnل.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/view/468/456>
5. Нестеренко Г. І., Музикін М. І., Сакаль О. М., Жабокрик В. В., Цьомка Р. О. Дослідження економічної доцільності автомобільних перевезень. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті»*. Северодонецьк: СЧУ ім. В. Даля, 2020, стор. 126–129.
6. Особливості автомобільних вантажних перевезень у Європі. URL: <https://www.cargosupport.com.ua/ua/osoblivosti-avtomobilnih-vantazhnih-perevezen-u-evropi/>
7. Автомобільні шляхи України. URL: https://tsdea.archives.gov.ua/usefond/f_23/153-05/stoj/uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96_%D1%88%D0%BB%D1%8F%D1%85%D0%B8_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.html
8. Roads in Ukraine. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Roads_in_Ukraine#/media/File:Ukraine_Major_Roads.png
9. Що потрібно знати про швидкісний режим в Україні. URL: <https://thepage.ua/ua/news/shvidkisnij-rezhim-ukrayina-2021-sho-potribno-znati-pro-dozvolenu-shvidkisti>
10. Highway To Anywhere – Number Of Hungary’s Highway Border Crossings May Double By 2022. URL: <https://hungarytoday.hu/wp-content/uploads/2017/08/6.jpg>
11. Romania – Road Map. URL: <https://markthepretender.tripod.com/id37.html>

References:

1. Muzikin M., Nestrenko H., Strelko O., Klochkova N. (2022). Rol navihatsiinykh system v orhanizatsii efektyvnoi roboty avtomobilnoho transportu [The role of navigation systems in the organization of efficient operation of road transport]. *International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE)*, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, Nov. 29–30, 2022, pp. 82–85. [in Ukrainian]
2. Nesterenko H. I., Muzykin M. I., Bibik S. I., Shvaiko A. Yu. (2023). Analiz transportnykh merezh ta orhanizatsii avtomobilnykh perevezen v krainakh Yevropy [Analysis of transport networks and road transport organization in European countries]. *Systems and Technologies*. 63(1). 2023. P. 88–99. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.1-63.7>. [in Ukrainian]
3. Nesterenko H. I., Muzikin M. I., Bibik S. I. (2021) Analiz vplyvu liudskoho fактору na vynyknennia transportnykh ryzykiv [Analysis of the influence of the human factor on the occurrence of transport risks]. *Collection of reports of the International scientific and methodical conference "Engineering of crises and risks of transport services"*. Mariupol: PNTU, 2021. P. 299–303. [in Ukrainian]
4. Naumenko A. P., Makarevich D. O. Rozvytok mizhnarodnykh avtomobilnykh perevezen v ramkakh transportnykh korydoriv Yevropy ta Ukrainy [The development of international road transportation within the framework of the transport corridors of Europe and Ukraine]. URL: <https://jrnл.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/view/468/456> [in Ukrainian]
5. Nesterenko H. I., Muzikin M. I., Sakal O. M., Zhabokrik V. V., Tsomka R. O. (2020) Doslidzhennia ekonomichnoi dotsilnosti avtomobilnykh perevezen [Study of the economic feasibility of automobile transportation]. *Collection of scientific works of the scientific and practical conference "Logistics management and traffic safety in transport"*. Severodonetsk: ENU named after V. Dallya, 2020. P. 126–129. [in Ukrainian]
6. Osoblyvosti avtomobilnykh vantazhnykh perevezen u Yevropi [Peculiarities of road freight transportation in Europe]. URL: <https://www.cargosupport.com.ua/ua/osoblivosti-avtomobilnih-vantazhnih-perevezen-u-evropi/> [in Ukrainian]
7. Avtomobilni shliakhy Ukrainy [Automobile roads of Ukraine]. URL: https://tsdea.archives.gov.ua/usefond/f_23/153-05/stoj/uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96_%D1%88%D0%BB%D1%8F%D1%85%D0%B8_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.html [in Ukrainian]
8. Roads in Ukraine. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Roads_in_Ukraine#/media/File:Ukraine_Major_Roads.png
9. Shcho potribno znaty pro shvydkisnyi rezhym v Ukraini [What you need to know about the speed mode in Ukraine]. URL: <https://thepage.ua/ua/news/shvidkisnij-rezhim-ukrayina-2021-sho-potribno-znati-pro-dozvolenu-shvidkisti> [in Ukrainian]
10. Highway To Anywhere – Number Of Hungary’s Highway Border Crossings May Double By 2022. URL: <https://hungarytoday.hu/wp-content/uploads/2017/08/6.jpg>
11. Romania – Road Map. URL: <https://markthepretender.tripod.com/id37.html>

Семченко Н. О., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг
Національного авіаційного університету
ORCID: 0000-0002-5946-0402

Український Є. О., кандидат технічних наук,
доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг
Національного авіаційного університету
ORCID: 0000-0002-4552-2174

ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ АВІАПІДПРИЄМСТВАМИ В АЕРОПОРТОВИХ КОМПЛЕКСАХ

Для підвищення конкурентоспроможності аеропортових комплексів на світовому ринку авіатранспортних послуг підприємствам доводиться особливу увагу приділяти питанням якості. Першочерговими показниками якості послуг в авіаційній діяльності є авіаційна безпека, регулярність польотів та сервісне обслуговування. Але спектр потреб користувачів авіаційних послуг постійно розширюється і зростають вимоги до забезпечення їх якості. Пасажир, оцінюючи рівень авіаційного сервісу, сприймає послугу в комплексі, незалежно від того, хто її надає – авіаперевізник чи аеропорт, та ототожнює виключно з результатами діяльності авіакомпанії. Отже удосконаленням сервісу, наземного та в процесі польоту, займаються авіакомпанії.

Стаття присвячена визначенню факторів, що впливають на якість обслуговування пасажирів в аеропортових комплексах як складової забезпечення конкурентоспроможності авіакомпаній.

Подано критерії оцінювання якості обслуговування пасажирів в аеропортових комплексах, включаючи послуги на борту літака.

Розроблено методіку оцінки якості послуг аеропортового комплексу, що передбачає опитування пасажирів з метою отримання особової та загальної інформації щодо якості наданих послуг, виявлення недоліків в обслуговуванні пасажирів в аеропортових комплексах і подальшого удосконалення якості їх роботи. Також опитування дозволить визначити основні напрями роботи керівництва щодо покращення якості роботи аеропортового комплексу задля підвищення економічних показників його діяльності.

Практична значущість результатів дослідження полягає у можливості їх використання як інструменту управління системою якості послуг аеропортового комплексу. Окремі положення можуть бути використані авіакомпаніями для комплексного розвитку наявного конкурентного потенціалу та досягнення успішного їх функціонування на ринку.

Ключові слова: обслуговування пасажирів, якість обслуговування, конкурентоспроможність, авіакомпанія, аеропортовий комплекс.

Semchenko N. O., Ukrainyskyi Ye. O. Passengers service quality by airlines in airport complexes

In order to increase the competitiveness of airport complexes on the world market of air transport services, enterprises have to pay special attention to quality issues. The primary indicators of the quality of services in aviation are aviation safety, regularity of flights and service. But the range of needs of aviation service users is constantly expanding and the requirements for ensuring their quality are growing. When evaluating the level of aviation service, the passenger perceives the service as a whole. For him, it is not important who provides these services – the airline or the airport. The passenger equates the provision of services exclusively with the results of the airline's activities. Therefore, airlines are engaged in improving the service, both on the ground and during the flight.

The article is devoted to the determination of factors affecting the quality of passenger service in airport complexes. The quality of services is a component of ensuring the competitiveness of airlines.

The article presents criteria for evaluating the quality of passenger service in airport complexes, including services on board the plane.

A methodology for assessing the quality of airport complex services has been developed. The methodology involves surveying passengers with the aim of obtaining personal and general information about the quality of services provided, identifying shortcomings in passenger service in airport complexes and further improving the quality of their work. Also, the survey will allow to determine the main directions of the management's work to improve the quality of the airport complex. This, in turn, will lead to an increase in the economic performance of the airport complex.

The practical significance of the research results lies in the possibility of using them as a management technique for the service quality system of the airport complex. Separate provisions can be used by airlines for the comprehensive development of the existing competitive potential and the achievement of their successful functioning on the market.

Key words: passenger service, quality of service, competitiveness, airline, airport complex.

Постановка проблеми. Для підвищення конкурентоспроможності аеропортових комплексів на світовому ринку авіатранспортних послуг авіакомпаніям доводиться особливу увагу приділяти питанням якості. Пасажир, оцінюючи рівень авіаційного сервісу, сприймає послугу в комплексі, незалежно від того, хто її надає – авіаперевізник чи аеропорт, та ототожнює виключно з результатами діяльності авіакомпанії. Отже удосконаленням сервісу, наземного та в процесі польоту, займаються авіакомпанії. Першочерговими показниками якості послуг в авіаційній діяльності є авіаційна безпека, регулярність польотів та сервісне обслуговування. Але спектр потреб користувачів авіаційних послуг постійно розширюється і зростають вимоги до забезпечення їх якості. Проведений аналіз послуг аеропортових комплексів показав, що в галузі діяльності, наземної і на борту літака, ці питання досліджено ще недостатньо, особливо в частині розробки єдиної методики та моделі для оцінки рівня якості аеропортових послуг. Цим пояснюється актуальність дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням ринку послуг з обслуговування в аеропортових комплексах займалися вітчизняні і закордонні науковці, такі як В. В. Запорожець, М. П. Шматко [1], О. О. Федяєва [2], В. Ю. Павелко [3], К. В. Марінцева [4], Д. О. Бугайко, А. В. Терещенко [5], N. Halpern, D. Mwesiumo [6], A. Parasuraman [7], G. C. L. Bezerra, C. F. Gomes [8], V. Bogicevic [9, 10], N. Kano [11], S. G. Abdelaziz, A. Elabbassy [12], I. Kovynyov, R. Mikut [13] та ін.

Попри наявності великої кількості ґрунтовних наукових праць, проблема якості обслуговування в аеропортових комплексах України розкрита недостатньо і потребує подальшого вивчення.

Мета статті: розробка методики збору інформації і оцінки стану якості наземного і повітряного обслуговування в аеропортових комплексах України та надання рекомендацій щодо його поліпшення.

Виклад основного матеріалу. З початку розвитку авіаційної промисловості на початку 20 століття авіакомпанія була транспортною компанією, яка пропонувала клієнтам послуги з повітряного перевезень. Головною метою авіакомпанії в ті часи було безпечне перевезення клієнтів з одного місця в інше. Через низький ринковий попит більшість авіакомпаній того часу були або засновані урядом, або частково фінансувалися урядом.

У міру розвитку авіаційної індустрії та удосконалення технологій авіаційні перельоти з часом стали найбезпечнішим способом перевезення пасажирів і вантажів. І в теперішній час авіаційні перевезення є важливою складовою в транспортній системі світу.

Авіакомпанія є установою, що здійснює свою діяльність у сфері послуг. Тому, після дерегуляції авіаційної галузі у другій половині 20 століття, уряди мінімізували свій контроль над державними авіакомпаніями та дозволили приватним компаніям створювати власні нові авіакомпанії. Таким чином, почала створюватися конкуренція на ринку авіаційних послуг, яка з роками тільки загострюється. На початку безпечна робота аеропортових комплексів була основним очікуванням клієнтів. Оскільки показники безпеки авіакомпаній набагато покращилися, клієнти почали очікувати від авіакомпаній більшого. Сьогодні, окрім елементарних потреб безпеки (авіаційної безпеки і безпеки польотів), регулярності польотів, клієнти також вимагають якісного сервісного обслуговування: комфорту та першокласних послуг. Отже для підвищення конкурентоспроможності аеропортових комплексів на світовому ринку авіатранспортних послуг підприємствам доводиться особливу увагу приділяти питанням якості. Але спектр потреб користувачів авіаційних послуг постійно розширюється і, відповідно, зростають вимоги до забезпечення їх якості.

Для підвищення конкурентоспроможності аеропортових комплексів на світовому ринку авіаперевезень в наукових роботах вітчизняних та закордонних дослідників пропонуються різні методи і моделі оптимізації технологічних процесів. Так у роботі Марінцевої К. В. визначено, що моделювання технологічних процесів в аеропортових комплексах повинне містити в собі три основні напрямки: моделювання процесів, пов'язаних з поведінкою авіапасажира, моделювання технологічних процесів у системі цивільної авіації, формування технології обслуговування пасажирів [4].

Одним з перших дослідників потреб споживачів послуг і їх впливу на мотивацію трудової діяльності був А. Маслоу, який створив теорію ієрархії потреб. На основі тих же принципів існує ієрархія очікувань клієнтів від діяльності авіакомпаній (рис. 1).

В теперішній час клієнти мають широкий вибір авіакомпаній для здійснення перельотів. Але всі вони вимушені в боротьбі за клієнта пропонувати стандартизовані продукти – подібні продукти з точки зору атмосфери в салоні, харчування, дизайну сидінь, розваг у польоті та комунікаційних технологій.

Сучасні авіакомпанії, щоб отримати конкурентні переваги і вплинути на вибір клієнтів, зосереджуються на обслуговуванні, використовуючи різні стратегії утримання своїх існуючих клієнтів і залучення нових. Основна мета полягає в тому, щоб задовольнити клієнтів, переконати їх в доцільності вкладених ними коштів і тим самим змусити їх повертатися знову і знову.

Клієнти в свою чергу мають певні очікування від авіакомпаній (рис. 2): основні і додаткові.

Клієнти постійно оцінюють обслуговування авіакомпанії сумою грошей, яку вони заплатили за квитки. Як правило, клієнти, які заплатили більше, потребують вищого рівня послуг порівняно з тими, хто заплатив менше.



Рис. 1. Ієрархія потреб клієнтів авіакомпанії

Джерело: побудовано авторами на основі власних досліджень



Рис. 2. Очікування від авіакомпаній

Джерело: побудовано авторами на основі власних досліджень

Окрім мінімального набору очікувань, додаткові включають різноманітність пропонованих заходів і пропозицій в обслуговуванні, якість наданих послуг, швидкість дій в вирішенні питань та програми лояльності (заохочення) в якості вдячності.

Рівень задоволеності клієнтів можна представити як відношення продуктивності авіакомпанії до очікувань клієнтів. Якщо рівень задоволеності клієнтів дорівнює одиниці, то авіакомпанія виправдовує очікування клієнтів. Якщо рівень задоволеності клієнтів більше одиниці, це означає, що показники авіакомпанії перевищують очікування клієнтів, і якщо менше одиниці, то навпаки.

Очікування клієнтів зазвичай визначаються ринком послуг, який є дуже мінливим: новий продукт (додаткова послуга), що запропонований в одній авіакомпанії, невдовзі з'являється вже в інших і стає основним. Тому клієнти надалі будуть знову очікувати відмінностей в обслуговуванні, тим самим підвищуючи свої вимоги до послуг авіакомпанії і сприяючи зростанню конкуренції на ринку авіаційних послуг.

В авіаційній галузі рівень задоволеності клієнта базується на поєднанні матеріальних і нематеріальних послуг (рис. 3).

Технологія обслуговування пасажирів в аеропортових комплексах включає ряд процедур, що впливають на якісну оцінку з боку споживачів авіаційних послуг (рис. 4).

Питанням управління якістю послуг присвячені праці закордонних вчених: Е. Демінга, Д. Джурана, К. Ісікави, Н. Кано, Ф. Кросбі, Г. Тагуті, А. Фейгенбаума, У. Шухарта та інших. Однак у цих роботах у необхідній мірі не було відображено питання оцінки та управління якістю послуг у сфері діяльності в аеропортових комплексах.

Наукові підходи зарубіжних авторів до оцінки якості послуг поділяються на дві точки зору визначення якості послуг:

1) у вигляді зіставлення її показників із встановленими вимогами, вираженими у кількісному значенні (Ф. Кросбі);

2) як ступінь задоволення потреб та очікувань споживачів внаслідок надання послуг (Е. Демінг, А. Фейгенбаум, У. Шухарт).

Найбільш поширеною концепцією оцінки якості послуг, що ґрунтується на визначенні ступеня задоволеності споживачів, є п'ятиступінчаста модель якості послуг (GAP модель – модель розходження якості послуги), розроблена американськими вченими А. Парасураманом, В. Зейтамлем та Л. Беррі [7].



Рис. 3. Рівень задоволеності клієнта

Джерело: побудовано авторами на основі власних досліджень



Рис. 4. Технологія обслуговування пасажирів в аеропортових комплексах

Джерело: побудовано авторами на основі власних досліджень

Керівництво авіакомпанії використовує різні методи для відстеження якості обслуговування клієнтів і всебічно залучає персонал аеропортових комплексів до цього процесу.

Значні кошти інвестуються у проведення маркетингових досліджень з метою виявлення рівня задоволеності клієнтів та потенційних проблем, оцінки якості обслуговування пасажирів та його подальшого вдосконалення. Авіакомпанії на постійній основі беруть участь у програмах, рейтингах та аудитах, що проводяться міжнародними асоціаціями та спеціалізованими рейтинговими агенціями для вивчення, аналізу, забезпечення і підтвердження відповідного рівня надання послуг.

Деякі авіакомпанії використовують програми таємних покупців для збору даних для вимірювання якості обслуговування. Зворотній зв'язок, отриманий за допомогою таких програм, зазвичай містить деталі, які неможливо отримати за допомогою звичайних опитувань. При цьому таємними покупцями можуть бути

не тільки клієнти авіакомпаній, а і самі працівники. Таємні покупці спостерігають за поведінкою агентів з обслуговування, ставлять запитання та можуть навіть створювати складні ситуації, наприклад, подавати необґрунтовані скарги, щоб оцінити здатність працівників авіакомпанії вирішити ці проблеми. Потім таємні покупці документують отриману під час перевірки інформацію і авіакомпанії розробляють стратегії коригувальних заходів. Таємних споживачів серед клієнтів залучають в обмін на матеріальну компенсацію їх подорожей, витрат або на елементи програм лояльності.

Для відстеження якості обслуговування клієнтів все більшої популярності набуває впровадження передових інноваційних та інформаційних систем, здатних забезпечити в тому числі і ефективний зворотний зв'язок з клієнтом. При вдосконаленні сервісу аеропортових комплексів, завдяки високому рівню розвитку інформаційних технологій, розробляються додатки для мобільних пристроїв і соціальних мереж, використовуючи інтелектуальні технології і геолокаційні системи [14]. Ці мобільні додатки використовуються для надання персоналізованих послуг клієнтам, а також для спостерігачів за якістю надання послуг. В мобільних додатках користувачі можуть пройти анкетування, оцінивши етапи обслуговування як на рівні продукції, так і на рівні надання послуг, надати свої письмові і відео- (фото-)коментарі, залишити свої пропозиції. Так як і таємним споживачам, їм пропонують різноманітні заохочення. На відміну від програми таємного покупця, використання мобільних додатків забезпечує оперативність, регулярність і гнучкість надання результатів аудиту.

Деякі авіакомпанії формують фокус-групи для отримання детальної інформації від різних типів клієнтів про їх задоволеність послугами та продуктами підприємства. На зустрічі модератор ставить учасникам групи кілька запитань і ці клієнти діляться своїми думками під час обговорень. Поглиблене індивідуальне інтерв'ю з окремими клієнтами є ще одним способом, який дозволяє авіакомпанії отримати більше інформації про вимоги клієнтів і рівень їх задоволеності.

Соціальні мережі також допомагають авіакомпаніям збирати інформацію від клієнтів через онлайн-фориуми та соціальні медіа-платформи. Клієнти часто пишуть дописи щодо своїх подорожей, де дають оцінку деталям обслуговування. Авіакомпанії виділяють персонал для моніторингу таких веб-сайтів та соц.мереж, щоб збирати як позитивні, так і негативні відгуки. Такий моніторинг допомагає керівництву авіакомпаній краще зрозуміти як відбувається повсякденна діяльність авіакомпанії та зрозуміти очікування клієнтів. В соц.мережах навіть можна відстежити якісь особисті дані та певні звички клієнтів, що полюбують подорожувати.

Для забезпечення безперебійності, виконання мінімальних стандартних вимог щодо обслуговування клієнтів та підвищення ефективності технологічних процесів фахівці з якості самостійно чи спільно із зовнішніми аудиторами розробляють методики контролю якості аеропортового обслуговування та забезпечують його моніторинг, здійснюють постійну взаємодію з персоналом аеропорту з питань покращення рівня сервісу. Так в центрі обслуговування клієнтів приділяється особлива увага часу очікування клієнта, перш ніж агент з обслуговування відповість на дзвінок; тривалості розмови з кожним клієнтом; професіоналізму агента з точки зору знань і ставлення до обслуговування; на стійці реєстрації – часу очікування клієнтів у холі; часу оформлення реєстрації; професіоналізму агента з точки зору знань і ставлення до обслуговування; в кімнаті відпочинку – чистоті; доступності видів закусок та кількості прохолодних напоїв; на виході на посадку – необхідному часу посадки, професіоналізму агента з точки зору знань і ставлення до обслуговування; під час польоту – чистоті салону, недолікам в інтер'єрі і зручностях, пропонованим стравам та напоєм, професіоналізму екіпажу з точки зору знань і ставлення до обслуговування; при прибутті і видачі багажу – частоті невідповідності і пошкодження багажу.

Опитування дозволяють авіакомпанії зрозуміти її поточну ефективність і відповідність очікуванням клієнтів, відстежувати зміни попиту. Для отримання вимірювання рівня задоволення очікувань і потреб клієнтів в анкетах є питання щодо конкретного продукту і характеристики його якості (рис. 5).

Шкала балів рівня задоволення (потрібності) може бути визначена за оціночною таблицею по методу Н. Кано [15]:

- 1 – повністю задовольняє (нагальна потреба),
- 2 – задовольняє більшою мірою (це потрібно),
- 3 – нейтрально (не важливо),
- 4 – терпимо (іноді потрібно),
- 5 – повністю не задовольняє (абсолютно не потрібно).

Система контролю якості – один з основних інструментів аналізу та оцінки технологічних процесів аеропортового обслуговування при прийнятті управлінських рішень щодо їх оптимізації та вдосконалення. Дана система, заснована на зворотному зв'язку споживачів послуг (пасажирів, відвідувачів, вантажних агентів та ін.) та контактної аудиторії (концесіонерів, державних органів тощо) з менеджментом аеропортового комплексу, сприяє: локалізації незадоволеності клієнтів, яка потребує коригувального впливу, виявленню та запобіганню можливих ризиків, зумовлених відхиленням від заданих параметрів в технологічних процесах, і, як наслідок, оптимізації витрат аеропортового комплексу.

Клієнт	<ul style="list-style-type: none"> - стать - вік - ціль поїздки - клас обслуговування на борту літака - частота подорожей - подорож з дітьми - наявність багажу - спосіб реєстрації - лояльність до авіакомпанії 	<ul style="list-style-type: none"> жіноча, чоловіча шкала градації навчання, робота, відпочинок, туризм, з іншими цілями I клас, бізнес-клас, економ-клас шкала градації кількості подорожей на рік так, ні так, ні мобільний додаток, інтернет-сайт, стійка реєстрації перший раз, час від часу, постійний клієнт 		
Процес доставки	<ul style="list-style-type: none"> - транспортна доступність аеропорту - швидкість процесу реєстрації - швидкість посадки на рейс - швидкість доставки багажу після прибуття - якість обслуговування в процесі реєстрації - якість обслуговування в процесі посадки на рейс - якість обслуговування на борту - якість обслуговування в процесі видачі багажу - якість збереження багажу - контроль безпеки (догляд) на вході до аеровокзалу - контроль безпеки (догляд) перед польотом 	<ul style="list-style-type: none"> - вид транспорту - задоволення зручністю доставки (частота руху громадського транспорту, затори на дорогах) - час доставки 	<ul style="list-style-type: none"> особистий, таксі, громадський так, ні, коментар шкала градації часу 	
Персонал	<ul style="list-style-type: none"> - доступність обслуговуючого персоналу - наявність достатньої кількості персоналу - вчасність обслуговування - знання обслуговуючого персоналу - ставлення персоналу до клієнта - ефективність розгляду скарг - професіоналізм персоналу 			
Аеропортовий комплекс	<ul style="list-style-type: none"> - комфортність і зручність привокзальної площі - комфортність і зручність аеровокзалу - інформаційний сервіс 	<ul style="list-style-type: none"> - парковка - достатність багажних візків - достатність кількості стійок реєстрації - достатність кількості залів очікування - достатність кількості місць для сидіння при очікуванні - сервіс для пасажирів з дітьми - сервіс для маломобільних пасажирів - зручність орієнтації - об'ява рейсів - інформаційне табло - бюро довідок - сервіс call-центру - сервіс Internet-сайту - сервіс інформації для іноземців 		шкала балів рівня задоволення
Авіакомпанія	<ul style="list-style-type: none"> - навколишнє середовище - репутація авіакомпанії - ефективність роботи з клієнтами - ефективність управлюючих дій - комерційна діяльність 	<ul style="list-style-type: none"> - кількість послуг, що доступні пасажирам - послуга пакування багажу - аптечні пункти - асортимент закладів харчування - доступ до інтернету - наявність банків і банкоматів - наявність поштових відділень і послуг зв'язку - рівень цін на продукцію, що реалізується 		
Ціна	<ul style="list-style-type: none"> - співвідношення ціни та якості - вартість авіаквитків у порівнянні з іншими авіакомпаніями, що пропонують подібні послуги 			
Додаткові платні послуги	<ul style="list-style-type: none"> - доставка багажу - оренда транспортного засобу - бронювання готелю - виклик таксі - обслуговування в лаунж-залі - інше 			відмітити потрібність за наданою шкалою
Пропозиції щодо поліпшення якості обслуговування в аеропортовому комплексі				

Рис. 5. Опитування клієнтів

Джерело: побудовано авторами на основі власних досліджень

Інтегральний показник Q для оцінки рівня якості роботи аеропортового комплексу, якому притаманна велика кількість показників різних за виміром, величиною, характером виконання і т. ін., можна представити:

$$Q = f(Q_d, Q_n, Q_{ak}, Q_a, Q_{ci}, Q_{dii}) = \sum_{j=1}^6 a_j Q_j \quad (1)$$

де Q_d – група показників якості процесу доставки;

Q_n – група показників якості обслуговування клієнтів персоналом, що показує професіоналізм персоналу;

Q_{ak} – група показників якості інфраструктури аеропортового комплексу;

Q_a – група показників якості авіакомпанії;

Q_{ci} – група показників якості ціноутворення;

Q_{dii} – група показників якості додаткових послуг;

a_j – вагові коефіцієнти груп показників, $\sum_{j=1}^6 a_j = 1$.

Для визначення інтегрального показника якості роботи аеропортового комплексу необхідно спочатку всі показники згрупувати за категоріями з однаковими властивостями (значеннями). Після угруповання показників визначається комплексний показник якості кожної групи Q_j . Для цього необхідно визначити для кожного показника одиничний показник якості (q_j) та ваговий коефіцієнт (c_j). Для визначення одиничних показників якості (q_j) потрібно провести факторний аналіз.

Після визначення комплексних показників якості обслуговування пасажирів аеропортового комплексу за групами визначається інтегральний показник якості обслуговування пасажирів всього аеропортового комплексу за формулою (1).

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Для отримання значення інтегрального показника передусім необхідно провести опитування респондентів, щоб конкретизувати групи факторів, розробити відповідні рейтингові шкали для вимірювання споживачами сприйняття кожного фактору, а також, можливо, зменшити набір факторів, прибравши найменш значимі з них, щоб створити надійний і вичерпний, але стислий інструмент для вимірювання якості обслуговування в аеропортових комплексах. А також потрібно підтвердити корисність проведеної сегментації клієнтів на основі їх очікувань щодо якості наданих послуг. Визначення одиничних показників якості (q_j) і вагових показників (a_j, c_j) потребує розробки відповідної методики.

Інтеграція всіх елементів системи дозволить постійно проводити дослідження споживчих переваг з метою формування та пропозицій клієнтоорієнтованих аеропортових послуг.

У сукупності, впровадження системи контролю якості обслуговування пасажирів в аеропортовому комплексі дозволить підвищити їх ефективність, а також конкурентоспроможність вітчизняних організацій аеропортового комплексу до світового рівня.

Основне завдання для менеджменту аеропортових комплексів полягає у задоволенні потреб клієнтів та якісному наданні послуг. Результати дослідження дозволять керівництву авіакомпаній приймати обґрунтовані рішення для підвищення якості обслуговування клієнтів та конкурентоспроможності аеропортових комплексів.

Список використаних джерел:

1. Запорожець В. В., Шматко М. П. Аеропорт: організація, технологія, безпека: навч. посіб. Київ: Дніпро, 2002. 168 с.
2. Федяєва О. О. Аналіз світового досвіду фінансування аеропортів. *Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту*. Чернівці, 2014. № 1 (53). С. 73-81.
3. Павелко В. Ю. Ринок послуг з наземного обслуговування в аеропортах України та практичні напрями його реформування. *Modern Economics*. 2022. № 36(2022). С. 103-107. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V36\(2022\)-15](https://doi.org/10.31521/modecon.V36(2022)-15).
4. Марінцева К. В. Оптимізація технології обслуговування пасажирів в аеропортах. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2012. № 4. С. 65-69.
5. Бугайко Д. О., Терещенко А. В. Взаємодія суб'єктів транспортного ринку в міжнародних аеропортах. *Наукоємні технології*. 2009. № 2. С. 29-32.
6. Halpern N., Mwesiumo D. Airport service quality and passenger satisfaction: The impact of service failure on the likelihood of promoting an airport online. *Research in Transportation Business & Management*. 2021. Vol. 41, 100667. С. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100667>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221053952100050X> (дата звернення: 25.11.2023).
7. Parasuraman A., Zeithaml V. A., Berry L. L. A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of Marketing*. 1985. Vol. 49, Iss. 4. Pp. 41-50. DOI: <https://doi.org/10.1177/002224298504900403>. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/002224298504900403> (дата звернення: 25.11.2023).

-
8. Bezerra G.C.L., Gomes C.F. Measuring airport service quality: A multidimensional approach. *Journal of Air Transport Management*. 2016. Vol. 53. Pp. 85-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.02.001>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096969971530048X?via%3Dihub> (дата звернення: 25.11.2023).
 9. Bogicevic V., Bujisic M., Bilgihan A., Yang W., Cobanoglu C. The impact of traveler-focused airport technology on traveler satisfaction. *Technological Forecasting and Social Change*. 2017. Vol. 123. Pp. 351-361. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.038>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517304596?via%3Dihub> (дата звернення: 25.11.2023).
 10. Bogicevic V., Yang W., Bilgihan A., Bujisic M. Airport service quality drivers of passenger satisfaction. *Tourism Review*. 2013. Vol. 68, № 4. Pp. 3-18. DOI: <https://doi.org/10.1108/TR-09-2013-0047>. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/TR-09-2013-0047/full/html> (дата звернення: 25.11.2023).
 11. Kano N., Nobuhiku S., Fumio T., Shinichi T. Attractive quality and must-be quality. *Journal of the Japanese Society for Quality Control*. 1984. Vol. 14, Iss. 2. Pp. 147-156. DOI: https://doi.org/10.20684/quality.14.2_147. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/quality/14/2/14_KJ00002952366/_article/-char/en (дата звернення: 25.11.2023).
 12. Abdelaziz S. G., Hegazy A. A., Elabbassy A. Study of airport self-service technology within experimental research of check-in techniques. *International Journal of Computer Science Issues*. 2010. Vol. 7, Iss. 3, № 1. Pp. 17-26. URL: https://www.researchgate.net/publication/46093545_Study_of_Airport_Selfservice_Technology_within_Experimental_Research_of_Check-in_Techniques_Case_Study_and_Concept
 13. Kovynyov I., Mikut R. Digital technologies in airport ground operations. *Netnomics*. 2019. Vol. 20. Pp. 1-30. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11066-019-09132-5>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11066-019-09132-5> (дата звернення: 25.11.2023).
 14. Passenger IT Insights 2019. SITA. URL: <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/passenger-it-insights-2019/> (дата звернення: 25.11.2023).
 15. Berger C., Blauth R., Boger D., Bolster C., Burchill G., DuMouchel W., Pouliot F., Richter R., Rubinoff A., Shen D., Timko M., Walden, D. Kano's Methods for Understanding Customer-defined Quality. *Center for Quality Management Journal*. 1993. Vol. 2, № 4. Pp. 3-36. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/KANO%E2%80%99S-METHODS-FOR-UNDERSTANDING-CUSTOMER-DEFINED-Berger-Blauth/4fe74e5d7220a50662b272330e2f9ffc4e46d3ee> (дата звернення: 25.11.2023).

References:

1. Zaporozhets V. V. & Shmatko M. P. (2002). *Airport: organization, technology, safety*. Kyiv: Dnipro.
2. Fedyeva O. O. (2014). Analysis of international experience of financing airports development. *Bulletin of Chernivtsi Trade and Economics Institute*, (1 (53)), 73-81.
3. Pavelko V. Yu. (2022). Ground handling market at the Ukrainian airports and practical ways of its reformation. *Modern Economics*, (36 (2022)), 103-107. [https://doi.org/10.31521/modecon.V36\(2022\)-15](https://doi.org/10.31521/modecon.V36(2022)-15).
4. Marintseva K. V. (2012). Optimization of passenger service technology at airports. *Transport systems and transport technologies*, (4), 65-69.
5. Bugayko D. O. & Tereshchenko A. V. (2009). Interaction of transport market subjects at international airports. *Science-based technologies*, (2), 29-32.
6. Halpern N. & Mwesiumo D. (2021). Airport service quality and passenger satisfaction: The impact of service failure on the likelihood of promoting an airport online. *Research in Transportation Business & Management*, (41 (100667)), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100667>. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221053952100050X>
7. Parasuraman A., Zeithaml V. A. & Berry L. L. (1985) A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of Marketing*, (49), 41-50. <https://doi.org/10.1177/002224298504900403>. Retrieved from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/002224298504900403>
8. Bezerra G.C.L. & Gomes C.F. (2016). Measuring airport service quality: A multidimensional approach. *Journal of Air Transport Management*, (53), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.02.001>. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096969971530048X?via%3Dihub>
9. Bogicevic V., Bujisic M., Bilgihan A., Yang W. & Cobanoglu C. (2017). The impact of traveler-focused airport technology on traveler satisfaction. *Technological Forecasting and Social Change*, (123), 351-361. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.038>. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517304596?via%3Dihub>
10. Bogicevic V., Yang W., Bilgihan A. & Bujisic M. (2013). Airport service quality drivers of passenger satisfaction. *Tourism Review*, (68 (4)), 3-18. <https://doi.org/10.1108/TR-09-2013-0047>. Retrieved from: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/TR-09-2013-0047/full/html>
11. Kano N., Nobuhiku S., Fumio T. & Shinichi T. (1984). Attractive quality and must-be quality. *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, (14 (2)), 39-48. https://doi.org/10.20684/quality.14.2_147. Retrieved from: https://www.jstage.jst.go.jp/article/quality/14/2/14_KJ00002952366/_article/-char/en

-
12. Abdelaziz S. G., Hegazy A. A. & Elabbassy A. (2010) Study of airport self-service technology within experimental research of check-in techniques. *International Journal of Computer Science Issues*, (7(3)). Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/46093545_Study_of_Airport_Selfservice_Technology_within_Experimental_Research_of_Check-in_Techniques_Case_Study_and_Concept
 13. Kovynyov I. & Mikut R. (2019). Digital technologies in airport ground operations. *Netnomics*, (20). <https://doi.org/10.1007/s11066-019-09132-5>. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11066-019-09132-5>
 14. Passenger IT Insights (2019). SITA. Retrieved from: <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/passenger-it-insights-2019/>
 15. Berger C., Blauth R., Boger D., Bolster C., Burchill G., DuMouchel W., Pouliot F., Richter R., Rubinoff A., Shen D., Timko M. & Walden, D. (1993) Kano's Methods for Understanding Customer-defined Quality. *Center for Quality Management Journal*, 4, 3-36. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper/KANO%E2%80%99S-METHODS-FOR-UNDERSTANDING-CUSTOMER-DEFINED-Berger-Blauth/4fe74e5d7220a50662b272330e2f9ffc4e46d3ee>

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

UDC 621.372.544

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.13>

Semenov A. O., Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Information Radioelectronic
Technologies and Systems
Vinnytsia National Technical University
ORCID: 0000-0001-9580-6602

Stalchenko O. V., Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Infocommunication Systems
and Technologies
Vinnytsia National Technical University
ORCID: 0000-0003-4764-1502

Khloba A. A., Master Student at the Department of Information
Radioelectronic Technologies and Systems
Vinnytsia National Technical University
ORCID: 0009-0007-6743-2456

Pinaiev B. O., Postgraduate Student at the Department of Information
Radioelectronic Technologies and Systems
Vinnytsia National Technical University
ORCID: 0000-0001-9592-0640

Krystoforov A. V., Postgraduate Student at the Department
of Information Radioelectronic Technologies and Systems
Vinnytsia National Technical University
ORCID: 0000-0003-0616-667X

MULTI-BAND GRAPHIC EQUALISER BASED ON GYRATORS

Studies of the properties of human hearing have shown that the perception of loudness depends on both the frequency and intensity of sound. A person is able to compare the loudness of sounds of different frequencies. This allows us to construct so-called equal loudness curves (isophones). From them, it can be concluded that when the volume level is reduced, a person perceives sound components in the low and high frequencies of the sound range poorly, and at frequencies from 2 to 6 kHz, the ear is most sensitive to sounds. Therefore, it is with the help of an equalizer that sound correction is performed in accordance with equal volume curves. The purpose of this paper is to find a way to build an active eight-band equalizer to adjust the frequency response shape. This task can be solved in several ways. In the preliminary study, the three most common control principles were identified and analyzed, namely graphic equalizers based on an operational amplifier, bandpass filter signal addition, and an active filter with a feedback loop. Comparison of the latter with an equalizer based on an operational amplifier gave the following result: both have a uniform frequency response, but compared to the low-Q filters, the gyrator-based circuits have a higher quality, which gives an advantage to the operational amplifier-based equalizer because to obtain better quality factor and better stability of the EQ parameters based on the inclusion of a bandpass filter in the feedback loop, more complex filters that can accommodate two OPs and more elements must be used, which is not economical and will lead to an increase in size. It was also noticed that when adjusting the depth of control, the largest increase will be at the extreme positions of the slider, while at the middle positions, the slider has little effect on the depth, which is a big disadvantage. The same effect was observed for the developed scheme but with a smaller impact. But these effects are insignificant and can be ignored. The worst results are obtained with the equalizer with the addition of bandpass filter signals since it has frequency response fluctuations along the entire frequency axis at the middle positions of the sliders, and it also has the disadvantage of adjusting the frequency response in the attenuation direction, which is insignificant compared to the gain side. In order to increase the depth of control

© A. O. Semenov, O. V. Stalchenko, A. A. Khloba, B. O. Pinaiev, A. V. Krystoforov, 2023

in the attenuation direction, it is necessary to increase the quality factor of the filters, and this, in turn, will lead to an increase in frequency response fluctuations, so it is undesirable to use this scheme.

Key words: graphic equalizer, operational amplifier, gyrator, Bexendahl, multiband equalizer.

Семенов А. О., Стальченко О. В., Хльоба А. А., Пінаєв Б. О., Кристофоров А. В. Багатосмуговий графічний еквалайзер на основі гіраторів

Дослідження властивостей слуху людини виявили, що відчуття гучності залежить як від частоти, так і від інтенсивності звуку. Людина спроможна порівнювати по гучності звуку різної частоти. Це дозволяє побудувати так звані криві рівної гучності (ізофони). З них можна зробити висновок, що при зниженні рівня гучності людина погано сприймає складові звуку в області низьких і високих частот звукового діапазону, а на частотах від 2 до 6 кГц спостерігається найвища чутливість вуха до звуків. Тому саме за допомогою еквалайзера виконується корекція звуку відповідно до кривих рівної гучності. Метою даної роботи є знаходження шляху побудови активного восьми смугового еквалайзера для регулювання форми АЧХ. Цю задачу можливо вирішити декількома способами. При попередньому дослідженні було виділено три найбільш розповсюджених принципи регулювання, по яким було проведено аналіз, це такі графічні еквалайзери на основі: диференціального підсилювача, складання сигналів смугових фільтрів, активний фільтр з колом зворотного зв'язку. Порівняння останнього з еквалайзером на основі диференціального підсилювача дало такий результат: в обох АЧХ є рівномірною, але в порівнянні з низькою добротністю фільтрів, контури основані на гіраторах мають вищу добротність, це надає перевагу в сторону еквалайзера побудованого на основі диференціального підсилювача, оскільки для здобуття кращої добротності та кращої стабільності параметрів еквалайзера на основі включення смугового фільтру в коло зворотного зв'язку потрібно використовувати більш складні фільтри, які можуть вміщувати два ОП та більшу кількість елементів, а це є не економічно та призведе до збільшення габаритів. Було помічено також, що при регулюванні глибини регулювання найбільший приріст буде на крайніх положеннях регулятора, тоді як при середніх положеннях, повзунком мало впливає на глибину, що є великим недоліком. Такий же ефект був помічений і для розробленої схеми але з меншим впливом. Але ці впливи незначні і ними можна знехтувати. Самі погані результати у еквалайзера з складанням сигналів смугових фільтрів, оскільки в ньому присутні коливання АЧХ по всій частотній осі при середніх положеннях повзунків, також в ньому є недолік регулювання АЧХ в сторону ослаблення, який є незначним у порівнянні з стороною підсилення. Для того, щоб збільшити глибину регулювання в сторону послаблення потрібно збільшувати добротність фільтрів, а це в свою чергу приведе до збільшення коливаний АЧХ, тому таку схему використовувати небажано.

Ключові слова: графічний еквалайзер, операційний підсилювач, гіратор, Бексендал, багатосмуговий еквалайзер.

Formulation of the problem. At the present stage of the development of sound processing and reproduction technology, there is a significant increase in the interest of both consumers and developers in multi-band tone controllers – equalizers. Modern audio equipment and speaker systems can provide high-quality sound reproduction to the fullest extent only in a specially equipped room designed for listening to music. Most living spaces, especially small ones, are not suitable for this purpose. At any point in such rooms, there is such a phenomenon as interference (addition with different phases) of sound waves coming directly from speakers and reflected from walls, ceiling, floor, and furniture. At some frequencies, standing waves appear – voids and dips in sound intensity with an unevenness of up to 20 dB, which necessitates adjusting the frequency response of the audio system in certain frequency bands.

Insufficient soundproofing of the room results in listening to audio programs at a level significantly lower than the level at which they are generated (approximately 90 background). As a result, it is necessary to raise the volume level at frequencies below 200 and above 5000 Hz to preserve the timbre of the sound. The corresponding compensation introduced in volume controls is usually incomplete.

Frequency response control is also necessary for solving other tasks: correcting the sound of low-quality phonograms and equipment frequency response errors, compensating for age-related changes in hearing, and selecting timbre sounds to the listener's taste. Tone controls and equalizers are used for multi-band frequency response control.

Therefore, an eight-band equalizer that uses the differential amplifiers on which the gyrators are built as a filter is being developed and researched.

Analysis of recent research and publications. The first equalizers were quite simple devices. As a rule, it was a single knob that could be used to cut out a certain part of the high-frequency component. The first "serious" equalizer was invented by Peter Bexendahl [1]. His equalizer provided for separate control of low and high frequencies, with both gain and attenuation. The control remained in its middle position if equalization was not required. Subsequently, equalizer circuits experienced a rapid development that continues to this day [1].

Although the operational amplifier in its analog form is no longer a leading element in graphic equalizers, work is still underway to improve filters based on them, so in [2], the design of a graphic equalizer is being developed, and how to determine the target response is discussed. Much attention is paid to the cascade equalizer. In [3], the implementation of a Bode-type amplitude equalizer on differential amplifiers was proposed. Research is also underway to improve the method of developing a graphic equalizer using a neural network [4].

Although the topic under study is not new, a clear demonstration of the developed equalizer in the form of an article has not been found, so the results of the study of the eight-band graphic equalizer and its calculation will be demonstrated in a visual form below.

The purpose of the article: Develop a simple eight-band equalizer based on operational amplifiers, some of which act as a filter, namely, as a gyrator. To simulate and demonstrate the performance of the proposed circuit, to take the frequency response and frequency response of each band, and to provide the necessary calculations.

Presenting main material. To correct narrowband distortion, many bandpass tone controls (BTs) are used, which allow you to adjust the frequency response both in a narrow frequency band and in a wide frequency band (integrally). Typically, such BTs are a set of narrow-band filters with interleaved resonant frequencies located throughout the entire audio range on a logarithmic scale. It is convenient to raise or lower the gain of each filter by means of variable resistors with a linearly moving motor [5]. In this case, the resistors of all filters arranged in series on the front panel clearly characterize the set frequency response of the RT, which explains the popular name of multipole BTs – graphic correctors or graphic equalizers. The proposed circuit is shown in Figure 1.

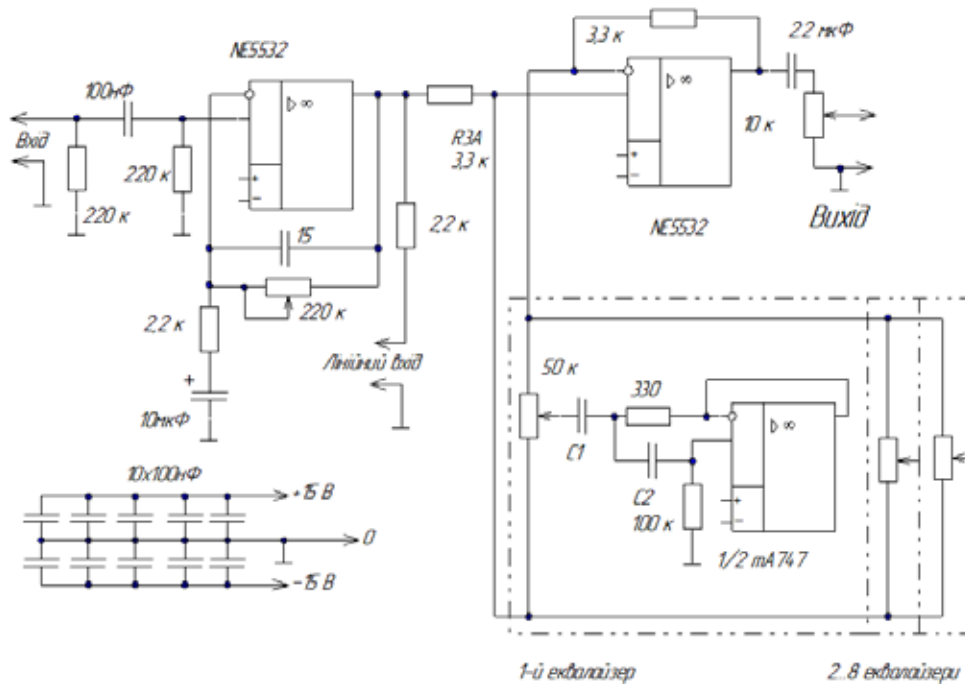


Fig. 1. Scheme of the graphic equalizer based on gyrators

The preamplifier is based on TL084CN, which has sensitivity control in the negative feedback circuit, and the gain can be adjusted within the range of 1...100 using a potentiometer (220 kΩ). A 15 pF capacitor prevents self-excitation at high frequencies. The output of the chip also provides a line output for connecting a mixing console. The equalizer is built on the same operational amplifier. Eight potentiometers are connected in parallel between the inverting and non-inverting inputs of the operational amplifier (OA). The following control principle is used. R-L links are connected between the potentiometer movers and ground, with inductances formed electrically. This scheme is known as a "gyrator" [6]. C1 is the capacitor "C" of the series oscillating circuit; C2, 330 Ohm, 100 kΩ resistors, and TL084CN simulate the "R-L" circuit. The 330 Ohm resistor (R_1) represents the series inductance loss, and the 100 kΩ resistor (R_2) represents the parallel inductance loss. The equivalent inductance is calculated using formula 1:

$$L = R_1 \cdot R_2 \cdot C, \quad (1)$$

where R_1 , R_2 are two loss resistances (in ohms); C is the capacitance of C_2 (in nF). The inductance L is Henry's. Let's calculate the capacitances of the capacitors for the corresponding oscillating circuits using Thomson's formula. Thus, the resonant frequency of the oscillating circuit is determined by formula 2:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (2)$$

Whence the capacity will be equal (formula 3):

$$C = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f^2 \cdot L} \text{ [uF]}. \quad (3)$$

The stage ends with a volume control. Let's calculate the 8-band graphic equalizer according to the above formulas. The control frequencies are selected according to Table 1, and the capacitance C_1 according to [5].

Table 1

Frequencies and gyratory capacities of the 8-band equalizer

f, Hz	50	100	250	500	1000	2200	5000	12000
$C_1, \mu\text{H}$	4,7	2,2	0,68	0,33	0,15	0,068	0,033	0,01
C_2, nF	68	33	18	10	5,1	2,2	1	0,51
L, H	2,244	1,089	0,594	0,33	0,1683	0,0726	0,033	0,01683

The circuit obtained for the simulation is shown in Figure 2. To build the model, we need to connect an oscillating circuit to the TL084CN, in which the R-C operational element plays the role of inductor. To make the model complete, you need to model an input buffer stage and eight such oscillating circuits that will accommodate eight operational amplifiers.

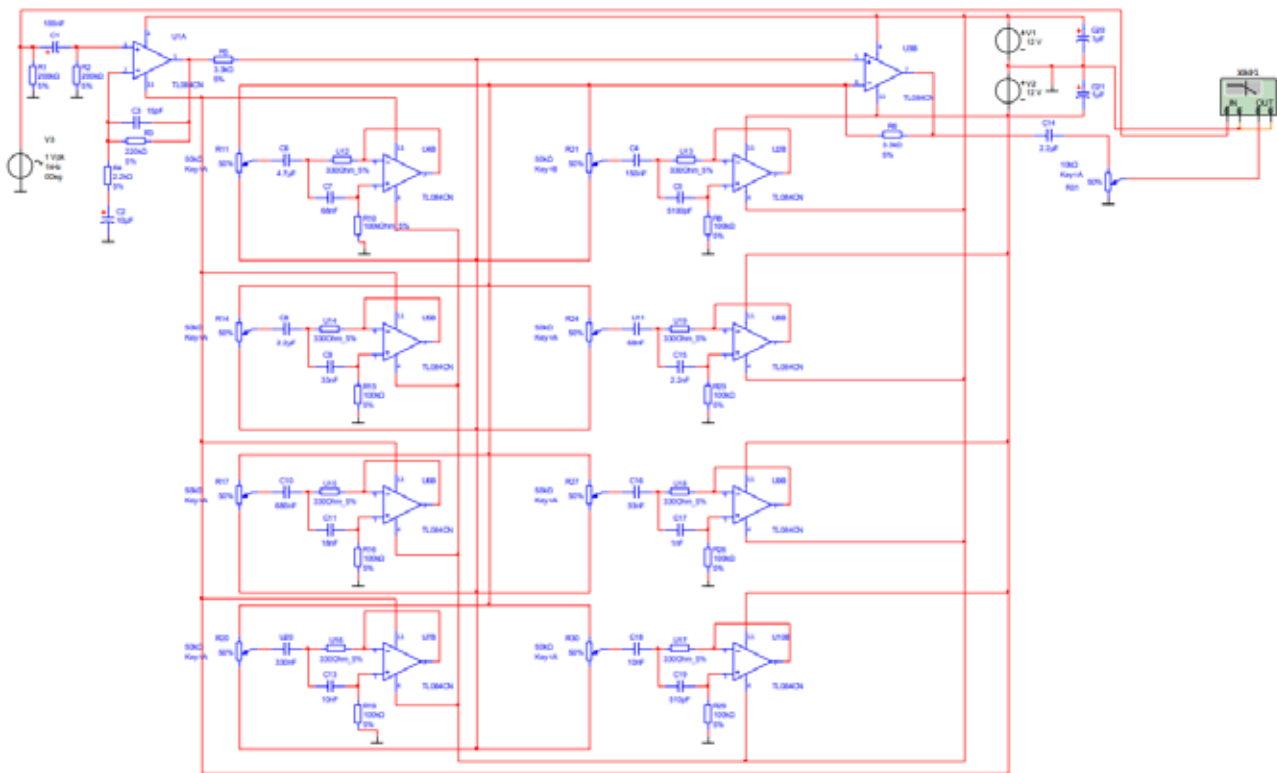


Fig. 2. The device circuit is prepared for modeling

To obtain the characteristics of each circuit, you will need to connect an explicit frequency response meter to each filter, connecting it between two points of the regulating resistance – the middle one, to which the capacitance is connected, and the other, which is connected to the non-inverting input of the op-amp. To obtain the overall characteristic, the input of the buffer stage and the input after the buffer stage (linear input) can be used as inputs.

First, let's check that all the circuits are working correctly. To do this, we will obtain the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of each circuit and examine them. They are shown in Figures 3 and 4. The overall frequency response and frequency response with the buffer stage connected to the input will look like Figure 5 (a, b).

The overall frequency response and frequency response of the equalizer without the buffer stage connected, i.e., when the signal is applied directly to the line input, will look like Figure 6 (a, b). To measure the depth of adjustment relative to the average level, we will change the slider position in one and the opposite direction for only one of the contours; this will be enough to see the depth of adjustment of each of the contours since they are identical. The results for the maximum and minimum positions, respectively, are shown in Figures 7 (a, b), 8 (a, b), and 9 (a, b).

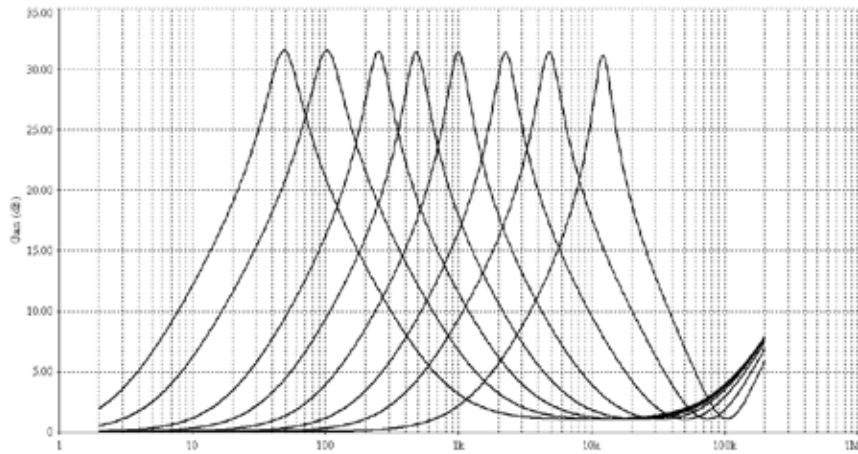


Fig. 3. Frequency response of all contours in one coordinate system

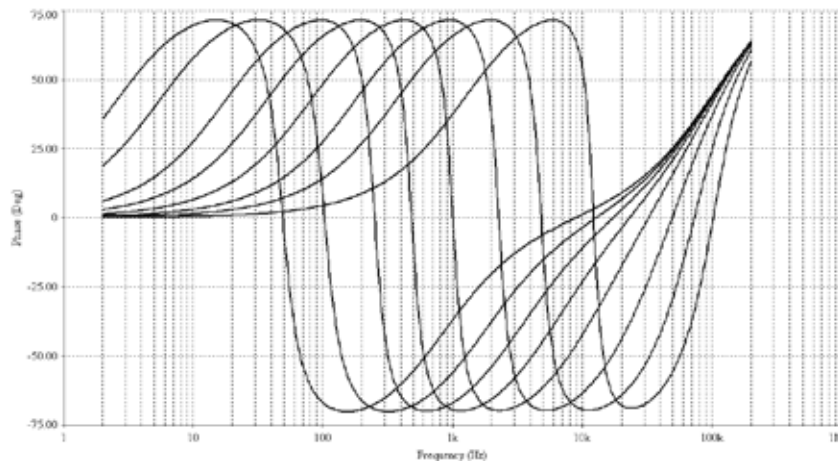
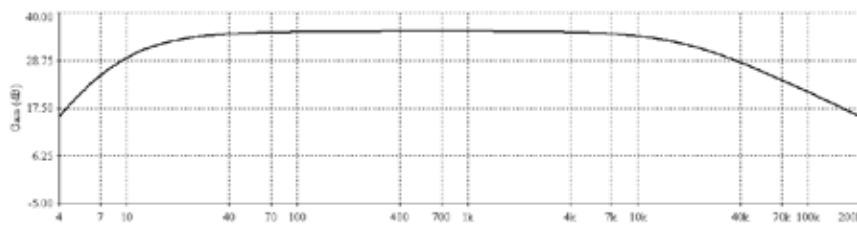
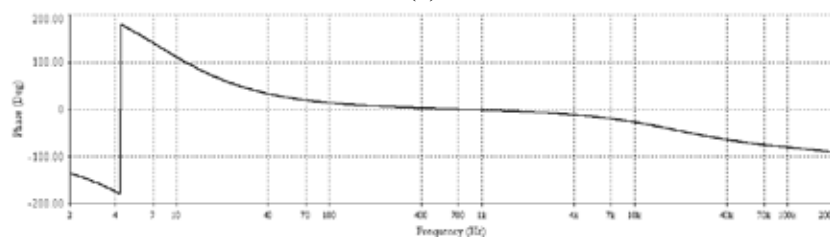


Fig. 4. Frequency response of all gyrator-based contours in one coordinate system

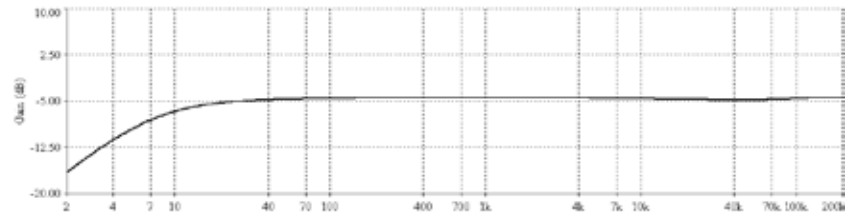


(a)

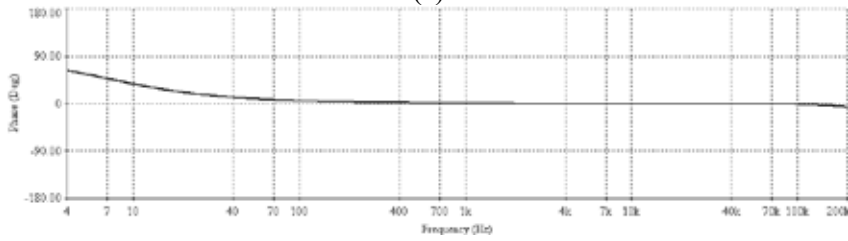


(b)

Fig. 5. General frequency response (a) and frequency response (b) of an equalizer based on a differential amplifier with a connected buffer stage

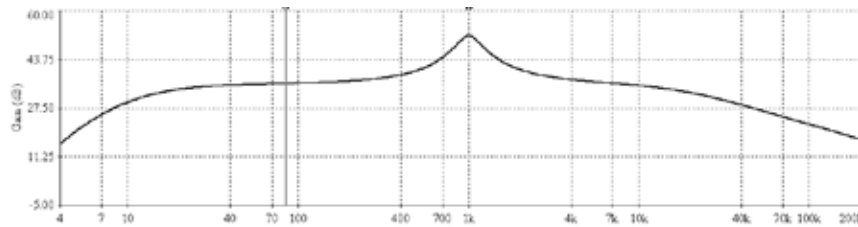


(a)

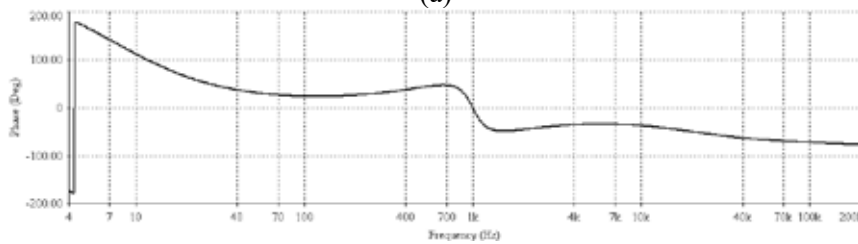


(b)

Fig. 6. General frequency response (a) and frequency response (b) of an equalizer based on a differential amplifier when a signal is applied to a line input



(a)



(b)

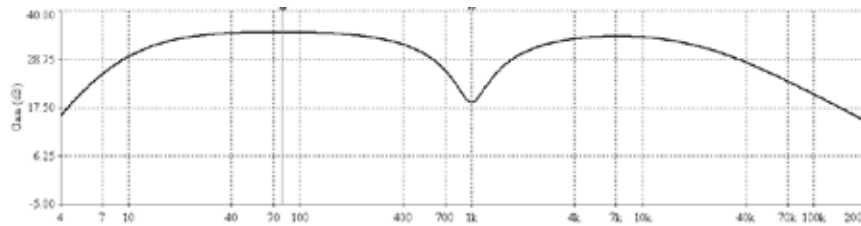
Fig. 7. Frequency response (a) and frequency response (b) of the equalizer at the maximum position of the slider of one of the circuits (1000 Hz)

Bode Result		Bode Result	
x1	83.9305	x1	78.9897
y1	35.6946	y1	35.0916
x2	999.6596	x2	999.6596
y2	51.7943	y2	18.7857
dx	915.7292	dx	920.6700
dy	16.0997	dy	-16.3059
1/dx	1.0920m	1/dx	1.0862m
1/dy	62.1129m	1/dy	-61.3275m
min x	2.0000	min x	2.0000
max x	200.0000k	max x	200.0000k
min y	976.6720m	min y	975.2993m
max y	389.2133	max y	56.8484
offset x	0.0000	offset x	0.0000
offset y	0.0000	offset y	0.0000

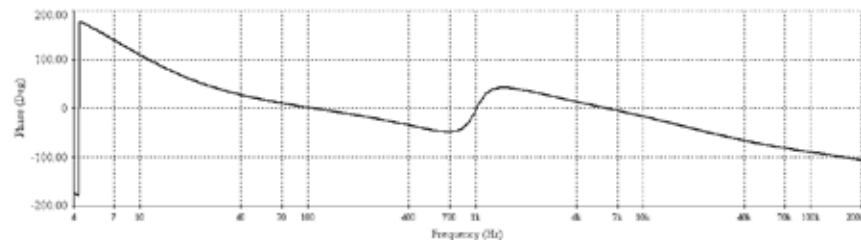
(a)

(b)

Fig. 8. Resulting values for the maximum (a) and minimum position of the slider of one of the contours (1000 Hz)



(a)



(b)

Fig. 9. The frequency response (a) and frequency response (b) of the equalizer at the minimum position of the slider of one of the circuits (1000 Hz)

Conclusions from this study and prospects for further research in this direction. The data obtained indicate that all circuits operate at the required frequencies, the gyrators were designed correctly, and all circuit frequencies have the correct geometric arrangement on the frequency axis. The quality factor is approximately the same and is $Q = \frac{997,35}{285,2} = 3,49$. This means that the control will be more accurate, and more oscillating circuits can be placed on the frequency axis.

As can be seen from Figures 7 and 8, the depth of adjustment of one circuit in the direction of signal amplification is 16.1 dB, and in the direction of attenuation -16.3 dB. The frequency range of the device is 50 Hz – 12 kHz, and the output voltage level is 2 V, the input impedance is not more than 240 k Ω , the output impedance is not more than 1 k Ω , the nonlinear distortion coefficient at the rated output power at a frequency of 1 kHz is not more than 0.4%. Comparing this result with the result obtained when constructing an equalizer based on the addition of bandpass filter signals [7], we can conclude that the construction based on a differential amplifier is much better; firstly, the quality factor of the circuits is higher, the frequency response is smoother, and the depth of adjustment in both directions is the same since the signals are not summed. The only advantage of the summation principle is a greater depth of control in the gain direction, but this can be realized in this method; it was necessary to set a greater depth of control, but this is not necessary since 16 dB is already quite sufficient. So, the advantage of building an equalizer on gyrators in comparison with building on the basis of summing the signals of bandpass filters is a significant uniformity of the frequency response and equal control depth relative to the average level.

Bibliography:

1. Välimäki, V., & Reiss, J. All About Audio Equalization: Solutions and Frontiers. In Applied Sciences. 2016. Vol. 6, Issue 5, p. 129. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app6050129>
2. Välimäki, V., & Liski, J. The Quest for the Best Graphic Equalizer. Conference: International Conference on Digital Audio Effects DAFX-17, 2017, pp. 95–102.
3. Rathore T.S., Khot U. P. Design of Bode-type Amplitude Equalizers with the Specified Shaping Function and Whole Range. International Journal of Engineering and Technology. 2011. Vol.3 (5), pp. 334–340.
4. Valimaki, V., & Ramo, J. Neurally Controlled Graphic Equalizer. In IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2019. Vol. 27, Issue 12, pp. 2140–2149. <https://doi.org/10.1109/taslp.2019.2935809>
5. National Semiconductor Corporation. Audio/radio Handbook. URL: <http://surl.li/nhxat> (дата звернення 16.11.23)
6. Self, D. Small Signal Audio Design. Focal Press. 2020. p. 784. <https://doi.org/10.4324/9781003031833>
7. Хоменко Є.О. Регулятор форми амплітудно-частотної характеристики на основі підсумовування сигналів смугових активних фільтрів. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/24310> (дата звернення 18.11.23)

References:

1. Välimäki, V., & Reiss, J. (2016). All About Audio Equalization: Solutions and Frontiers. In *Applied Sciences* (Vol. 6, Issue 5, p. 129). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app6050129>
2. Välimäki, V., & Liski, J. (2017). The Quest for the Best Graphic Equalizer. Conference: International Conference on Digital Audio Effects DAFx-17, pp. 95–102.
3. Rathore T.S., Khot U. P. (2011). Design of Bode-type Amplitude Equalizers with the Specified Shaping Function and Whole Range. *International Journal of Engineering and Technology* Vol.3 (5), pp. 334–340.
4. Valimaki, V., & Ramo, J. (2019). Neurally Controlled Graphic Equalizer. In *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* (Vol. 27, Issue 12, pp. 2140–2149). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <https://doi.org/10.1109/taslp.2019.2935809>
5. National Semiconductor Corporation. Audio/radio Handbook. Retrieved from: <http://surl.li/nhxat>
6. Self, D. (2020). *Small Signal Audio Design*. Focal Press. <https://doi.org/10.4324/9781003031833>
7. Khomenko E.O. Regulator of the shape of the amplitude-frequency response based on the summation of signals of bandpass active filters. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/24310>

Тягунова М. Ю., кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного університету «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-9166-5897

Лаврик В. Р., студент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного університету «Запорізька політехніка»
ORCID: 0009-0005-1386-3379

ВІРТУАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ЯК ЕФЕКТИВНЕ РІШЕННЯ ПІД ЧАС ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ

У світі, де темпи змін і технологій стрімко прискорюються, навчання є більш важливим і актуальним, ніж будь-коли раніше. Нещодавні зміни в освітньому секторі докорінно змінили парадигму навчання, зокрема дві ключові події: пандемія COVID-19 та початок війни в Україні у 2022 році. Ці виклики вимагають нових та інноваційних рішень у навчальному процесі. Тим часом ситуація в навчальних закладах значно ускладнилася через початок війни в Україні у 2022 році. Ризики для студентів і викладачів, пов'язані з перебуванням в університетських кампусах під час конфлікту, зросли, що порушило важливі питання про те, як проводити і викладати заняття під час війни. Спільним фактором, який відіграв важливу роль у вирішенні цих проблем, стала наявність гаджета, який є у майже кожного: мобільного телефону. Цей пристрій став мостом між студентами та викладачами, дозволяючи проводити лекції та практичні заняття в режимі онлайн навіть тоді, коли фізичний доступ до університету був обмежений.

Віртуальні лабораторії стають відповіддю на сучасні виклики у навчанні та надають студентам можливість отримати якісну освіту в умовах обмежень та кризи. Віртуальні лабораторії дозволяють студентам розвивати навички та вдосконалювати свої знання, не виходячи з дому або з безпечного місця. Це інноваційні рішення, які підтримують навчальний процес і сприяють підвищенню якості освіти. Таким чином, віртуальні комп'ютерні лабораторії є необхідним елементом освітнього простору, який може гарантувати навчання та розвиток учнів навіть у найскладніших ситуаціях.

У роботі проведено аналіз предметної області, визначено задачі, які потрібно вирішувати при створенні віртуальної лабораторії. Також було проаналізовано програмне забезпечення для віддаленого доступу до лабораторії. Описано приклад задач, які доцільно вирішувати в рамках напряму комп'ютерної інженерії і наведено загальні риси завдань, для яких доцільно створювати віртуальні лабораторії. У роботі було розроблено структурну схему віртуальної лабораторії, яка є базовою для будь-яких спеціальностей. Також було запропоновано та обґрунтовано вибір апаратної та програмної складової віртуальної лабораторії в межах ВНЗ та у віддалених користувачів, розроблено та описано алгоритм функціонування системи загалом.

Ключові слова: віддалений доступ, віртуальна лабораторія, викладач, спеціалізоване обладнання, дистанційна освіта.

Tiahunova M. Yu., Lavryk V. R. Virtual laboratory as an effective solution during distance education

In a world where the pace of change and technology is rapidly accelerating, education is more crucial and relevant than ever before. Recent developments in the education sector have fundamentally changed the paradigm of learning, particularly due to two key events: the COVID-19 pandemic and the onset of the war in Ukraine in 2022. These challenges demand new and innovative solutions in the educational process. Meanwhile, the situation in educational institutions has significantly complicated due to the onset of the war in Ukraine in 2022. Risks for students and educators, associated with being on university campuses during conflict, have increased, raising important questions about how to conduct and teach classes during wartime.

A common factor that played a vital role in addressing these issues was the presence of a gadget that is almost ubiquitous: the mobile phone. This device became a bridge between students and educators, enabling the delivery of lectures and practical sessions online even when physical access to the university was restricted.

Virtual laboratories emerge as a response to modern challenges in education, providing students with the opportunity to receive quality education amidst constraints and crisis. Virtual laboratories allow students to develop skills and enhance their knowledge without leaving home or a safe location. These innovative solutions support the learning process and contribute to the improvement of educational quality. Thus, virtual computer laboratories are an essential element of the educational space that can guarantee learning and development for students even in the most challenging situations.

The paper analyzes the subject area, identifies tasks to be addressed when creating a virtual laboratory, and examines the software for remote laboratory access. Examples of tasks relevant to computer engineering are described, along with general features of tasks suitable for virtual laboratories. The paper develops a structural scheme of a virtual laboratory based on

the proposed task directions. The choice of hardware and software components for the virtual laboratory within the university and for remote users is proposed and justified. The paper also outlines and describes the algorithm of the system's functioning as a whole.

Key words: *remote access, virtual laboratory, teacher, specialized equipment, distance education.*

Постановка проблеми. У сучасному суспільстві навчання та освіта завжди відігравали важливу роль у житті людей. Однак останні події в нашій країні принесли серйозні виклики освітньому процесу. Обмеження та виклики, пов'язані з епідеміями та військовими діями, змушують переосмислити підхід до навчання та запропонувати нові технологічні рішення. Одним із таких рішень може стати створення віртуальної лабораторії. Основні завдання віртуальної лабораторії:

– надати студентам можливість працювати зі спеціалізованим апаратним забезпеченням віддаленно, не залежно від свого місця розташування;

– надати можливість використовувати комп'ютерні апаратні і програмні засоби достатньої потужності, які є у межах ВНЗ, маючи обчислювальну техніку навіть з мінімальними параметрами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій за останні роки [1–5] показав, що створення віртуальних лабораторій у сьогоденні, коли актуальною стала дистанційна освіта, є перспективним напрямом підвищення рівня отриманих умінь студентів. Крім того, існуючі віртуальні лабораторії зазвичай розроблюються за певним напрямом і у багатьох випадках є лабораторним практикумом, до якого налаштовано віддалений доступ. У даній роботі пропонуються зсунути вектор уваження про віртуальну лабораторію і пропонується не лише віддалене користування певними ресурсами, а і в разі необхідності долучення спеціаліста-лаборанта, який знаходиться у межах реальної лабораторії та зможе під'єднати необхідні компоненти за вказівками.

Мета статті. Мета даної роботи – надати чіткі рекомендації щодо розробки віртуальних лабораторій у ВНЗ за будь-яким напрямом, а також на прикладі напряму комп'ютерної інженерії, щоб допомогти студентам продовжувати навчання та отримувати практичні навички у будь-якій локації: за кордоном, чи у бомбоховищі, чи на тимчасово окупованій території України.

Виклад основного матеріалу. Для вивчення доступних рішень треба розуміти, що віддалена освіта та робота стають все більш поширеними, а тому важливо розглянути та вибрати належні технологічні рішення для створення віртуальної лабораторії. Було проаналізовано наступні найпопулярніші платформи для віддаленого доступу, а саме: TeamViewer, віддалений робочий стіл Chrome, Anydesk. У кожній програмі є свої переваги та недоліки, які наведено у таблиці 1, тому більш детально пропонуємо враховувати саме ці аспекти перед остаточним вибором певного програмного засобу.

Таблиця 1

Переваги та недоліки програм

Назва	Переваги	Недоліки
TeamViewer	–висока надійність та стабільність; –зручний інтерфейс користувача; –підтримка для різних операційних систем.	–потреба у платі за деякі функції; –обмеження на кількість одночасних підключень у безкоштовній версії.
Віддалений робочий стіл Chrome	–безкоштовний та простий у використанні; –не потребує встановлення додаткового програмного забезпечення.	–може мати обмежену функціональність.
AnyDesk	–висока швидкість і низька латентність. –підтримка для різних операційних систем.	–обмеження у безкоштовній версії.

Після ретельного аналізу найпопулярніших платформ для віддаленого доступу, таких як TeamViewer, віддалений робочий стіл Chrome і Anydesk, можна зробити висновок, що кожна з цих платформ має свої переваги та недоліки. Важко виокремити одну конкретну платформу як єдиний ідеальний вибір, оскільки кожна програма має свій власний набір особливостей та переваг, а також різний рівень відомостей та комфорту користувачів з ними.

Вибір платформи для віртуальної лабораторії повинен залежати від індивідуальних потреб та знайомства кожного користувача з цими програмами. Важливо враховувати, що кожна програма може бути налаштована під конкретні потреби користувача, і немає обмежень у виборі оптимальної платформи для конкретного завдання.

Для створення віртуальної лабораторії кафедри комп'ютерних систем та мереж НУ «Запорізька політехніка» було обрано TeamViewer. Вибір здійснено з урахуванням конкретних потреб та зручності користувачів, які вже мали певний досвід роботи з цією програмою. Такий вибір дозволяє ефективно впровадити віртуальну лабораторію та спростити процес отримання практичних навичок за напрямом комп'ютерної інженерії для студентів та викладачів.

Таким чином, при виборі потрібного програмного продукту слід враховувати потреби та очікування, а саме врахувати наступні аспекти:

- важливо мати інтуїтивний та доступний інтерфейс для користувачів усіх рівнів підготовки. Інтерфейс повинен бути зрозумілим та дружнім до користувача, щоб навіть початківці могли з легкістю використовувати віртуальну лабораторію;
- платформа повинна надавати зручні інструменти та функції для вивчення дисциплін обраного напрямку та практичного застосування опанованих знань. Вона повинна сприяти активному навчанню і допомагати користувачам розвивати свої навички;
- оскільки користувачі можуть використовувати різні операційні системи та пристрої (комп'ютери, планшети, смартфони), платформа повинна бути сумісною з різними платформами та браузерами;
- віртуальна лабораторія повинна працювати ефективно та швидко, надавати користувачам миттєвий доступ до необхідних ресурсів та інструментів;
- платформа повинна надавати викладачам можливість створювати та керувати навчальними матеріалами, оцінювати роботу студентів та надавати зворотний зв'язок;
- забезпечення конфіденційності та безпеки даних користувачів є критично важливим аспектом. Платформа повинна забезпечувати високий рівень захисту особистих даних та інформації студентів.

Віртуальну лабораторію доцільно використовувати з точки зору двох типів завдань:

- завдання, які виконуються з використанням програмного забезпечення, яке вимагає потужних апаратних та програмних комп'ютерних ресурсів, які не завжди є у студентів;
- завдання, які виконуються із застосуванням спеціалізованого обладнання.

У рамках цієї роботи розроблено завдання кожного типу для користувачів віртуальної лабораторії кафедри комп'ютерних систем та мереж.

Робота з доповненою реальністю досить цікава для студентів, тому що студент може самотужки долучитись до створення цієї реальності, отримати базові навички в цьому напрямку та у майбутньому реалізувати себе у цій сфері. І хоча вона не нова, але є дуже багато не зайнятих кімочок, де кмітливості і креативність допоможуть у подальшому розвитку.

Найбільш популярним програмним середовищем для створення доповненої реальності є Unity Hub [6]. Саме це середовище потребує багато витрат пам'яті комп'ютера, а тому є доцільним використання саме віртуальної лабораторії для роботи з ним.

Одним із важливих аспектів, коли розглядається можливість використання віртуальної лабораторії, є потреба у вирішенні завдань, що потребують спостереження і керування певним спеціалізованим обладнанням. У даній роботі було це розглянуто на прикладі робота-пилососа iRobot Create 2 Roomba 600, Але, яким би не було обрано спеціалізоване обладнання віртуальної лабораторії, слід зазначити основні кроки, яких треба дотримуватися при його застосуванні. Для коректного використання спеціалізованого обладнання (СО) в рамках віртуальної лабораторії необхідно:

- визначити завдання, що виконуватимуться на цьому СО;
- зробити апаратну підготовку усіх необхідних компонентів для виконання завдань;
- встановити завчасно необхідне спеціалізоване програмне забезпечення;
- розписати завдання для студентів;
- забезпечити зручний доступ до спостереження за процесом і можливість аналізувати отримані результати.

Перш за все, потрібно розробити завдання, які студенти будуть виконувати зі спеціалізованим обладнанням. Ці завдання повинні включати в себе конкретні вимоги та цілі, яких студенти повинні досягти.

Апаратна підготовка включає в себе перевірку та підготовку СО до роботи, а також налагодження зв'язку з віртуальною лабораторією.

Студентам необхідно надати інструкції та завдання, які дозволять їм керувати СО через віртуальний інтерфейс. Це може включати в себе програмування рухів робота, збір даних, аналіз результатів тощо [7].

Під час виконання завдань, важливо мати можливість спостерігати за роботою СО та аналізувати його робочі параметри та результати в реальному часі. Для цього можуть використовуватися відеоспостереження та засоби збору даних.

На завершальному етапі, студенти повинні представити результати своєї роботи та оцінити виконання завдань. Це може включати в себе аналіз даних, створення звітів та обговорення результатів з викладачем.

З урахуванням описаних вище вимог у даній роботі запропоновано наступну структурну схему віртуальної лабораторії (рис. 1), яка пропонується як типова для віртуальних лабораторій будь-якого спрямування.

З боку користувача, а саме, студента або викладача необхідно мати мінімальний набір гаджетів для виходу в Інтернет. Це може бути смартфон або планшет, або ноутбук (нетбук), або комп'ютер. Враховуючи фактор війни в країні, необхідний будь-який пристрій з можливістю виходу до Інтернету для віддаленого доступу до лабораторії. В цей час, до комп'ютера в університеті має бути обов'язково під'єднана вебкамера, щоб спостерігати за виконанням практичних завдань, пов'язаних із спеціалізованим обладнанням, у реальному часі, і безпосередньо це спеціалізоване обладнання. У випадку розроблених завдань у даній роботі, таким спеціалізованим обладнанням є робот-пилосос.

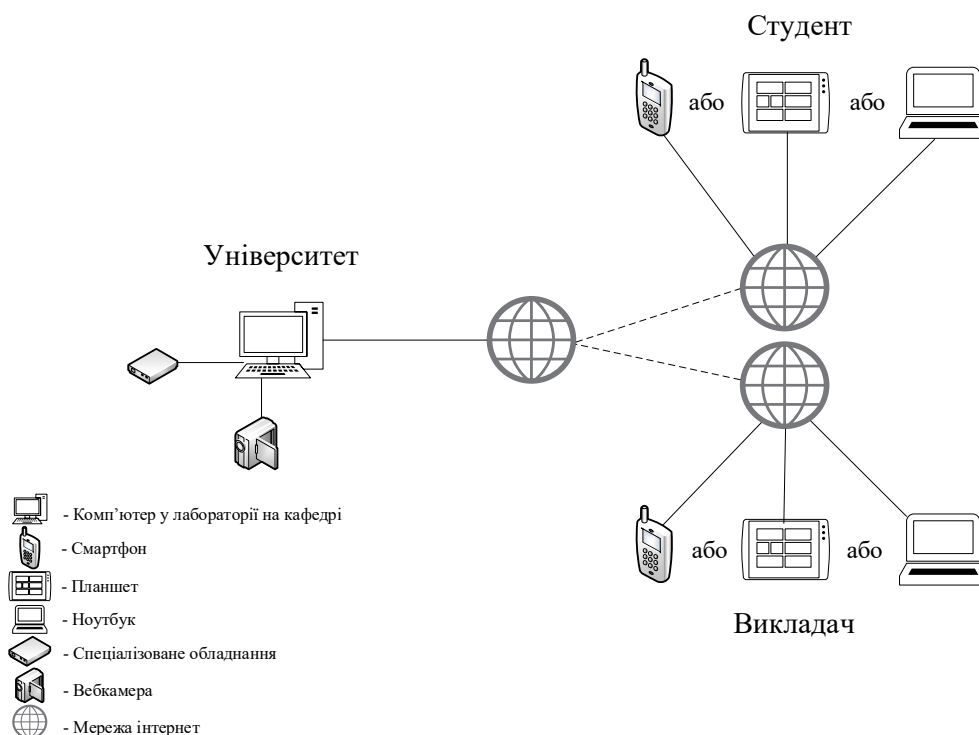


Рис. 1. Структурна схема віртуальної лабораторії

Управління віртуальною лабораторією віддалено передбачає врахування різних аспектів та потреб, включаючи як технічні, так і людські фактори. Більш детально розглянемо ті аспекти, які потрібно врахувати:

- запуск та моніторинг ПК;
- ймовірність перебоїв з електропостачанням;
- підключення пристроїв;
- робота асистента;
- запуск лабораторних завдань.

Враховуючи віддалене управління, необхідно мати можливість включення і вимкнення комп'ютерів з віддаленої позиції. Також, мати систему моніторингу для відстеження працездатності комп'ютерів та вчасного виявлення можливих проблем.

В умовах війни і перебоїв в електропостачанні можуть виникати проблеми з живленням комп'ютерів. Враховуючи це, необхідно забезпечити можливість віддалено перезавантажувати комп'ютери або включати їх, якщо постачання електроенергії відновлюється. Це запобігає втраті даних та забезпечує безперервну роботу лабораторії.

У деяких випадках у віртуальних лабораторних роботах є необхідність фізично підключити пристрій до комп'ютерів. Для цього асистент повинен виконати необхідні дії в аудиторії. Обов'язково потрібно враховувати, що наявність асистента-лаборанта на початковому етапі надзвичайно важлива. Він відповідає за запуск комп'ютерів та забезпечення їхньої працездатності. Він також відповідає за підключення різних пристроїв до ПК, що може бути складним завданням, наприклад, у випадку підключення робота-пилососа. Асистент вирішує технічні проблеми та координує роботу в лабораторії.

Асистент може бути відповідальним за запуск лабораторних завдань на комп'ютерах та надавати інструкції студентам щодо проведення експериментів.

Загалом, віддалене управління лабораторією враховує як технічні, так і організаційні аспекти, щоб забезпечити ефективну та безпечну роботу віртуальної лабораторії у всіх умовах, включаючи війну та перебої в електропостачанні.

Камера повинна мати роздільну здатність 1920x1080. Це зручний формат відео, який легко обробить звичайна мережа в 100Mb/s, і навіть LTE. У такої роздільної здатності досить чітке зображення, при цьому ресурси комп'ютера не перевантажені. Також пристрій повинен мати штатив або кріплення до корпусу ПК, щоб зафіксувати його у потрібному положенні.

Вебкамера має постійно тримати об'єкт зйомки в кадрі, тому під час спостереження за експериментами важливий її кут огляду. Цей параметр варіюється від 45 до 170°. Для віртуальної лабораторії пропонується камера з кутом огляду від 110°.

Застосування вебкамери дозволить отримати візуальний контроль за спеціалізованим обладнанням. Вона може бути розміщена зверху на системному блоці, надаючи можливість спостерігати з висоти. Такий підхід сприяє покращенню якості лабораторних досліджень, надаючи можливість візуально контролювати роботу спеціалізованого обладнання під час виконання різноманітних завдань, навіть, якщо воно здійснює рухи.

Збереження цілісності даних завжди було і залишається актуальною проблемою. Зберігання даних на різних носіях, таких як жорсткі диски, флешки і інші, не завжди гарантує повну безпеку і надійність інформації. Існують численні фактори, які можуть спричинити втрату даних, включаючи відключення електроенергії, перенапругу в мережі, природні катастрофи, а також людський фактор, такий як випадкова втрата носія інформації.

У зв'язку з цим одним із найбільш надійних та ефективних способів збереження інформації є використання хмарних середовищ. Хмарні технології дозволяють зберігати дані на віддалених серверах, які підтримують високу доступність та резервне копіювання. Це забезпечує захист даних від втрати у випадку непередбачених обставин, і забезпечує їх цілісність та доступність для користувачів у будь-який момент.

На сьогоднішній день існує багато різних хмарних сервісів, які надають різні функціональні можливості для зберігання та обробки даних в хмарі. Деякі з найбільш розповсюджених та відомих хмарних сервісів включають:

- Google Drive;
- Microsoft OneDrive;
- Dropbox.

Google Drive – це сервіс зберігання, редагування та синхронізації файлів, розроблений Google. Надаючи доступ до файлів, Disk використовує шифрування для забезпечення високого рівня безпеки, а оскільки Drive – це хмарний сервіс, немає необхідності зберігати файли локально, що знижує ризик для пристрою. Диск інтегровано з хмарними додатками, такими як Документи, Таблиці та Презентації, для ефективної співпраці в режимі реального часу. Drive сумісний з технологіями, які використовує ваша команда, і доповнює їх; немає необхідності конвертувати файли Microsoft Office в інші формати для спільної роботи; ви можете редагувати і зберігати понад 100 типів файлів, включаючи PDF, CAD тощо. Спеціальні інструменти, реалізовані в сервісі Диск, забезпечують виняткову швидкість, ефективність і надійність пошуку Google. Крім того, готові пошукові фільтри дозволяють командам швидко знаходити потрібні файли [8].

OneDrive – хмарний сервіс від Microsoft, який забезпечує доступ до всіх ваших файлів. Файли можна зберігати та захищати, ділитися ними з іншими користувачами та отримувати до них доступ з будь-якого місця на всіх пристроях [9].

Dropbox – сервіс файлового хостингу від компанії Dropbox Inc., що включає персональне хмарне сховище, синхронізацію файлів і клієнтські програми. Штаб-квартира компанії знаходиться в Сан-Франциско. Dropbox дозволяє користувачам створювати спеціальні папки на своїх комп'ютерах, які Dropbox синхронізує таким чином, щоб один і той самий вміст можна було переглядати на будь-якому пристрої. Файли в цій папці також доступні через веб-сайт Dropbox і мобільні додатки. Dropbox працює за моделлю freemium, де користувачі мають можливість створити безкоштовний обліковий запис з певним обсягом, але для збільшення обсягу свого облікового запису необхідна платна підписка [10].

Порівнявши різні хмарні сервіси, у роботі запропоновано зупинити вибір на Google Диску. Хоча кожне хмарне середовище має свої сильні та слабкі сторони, Google Диск виділяється своєю загальною популярністю та високим авторитетом серед користувачів. Ця популярність спрощує процес адаптації для нових користувачів і дозволяє їм швидше почати використовувати сервіс для зберігання та обміну даними.

Однією з головних переваг Google Диску є його легка інтеграція з іншими сервісами Google, такими як Gmail та Google Docs. Це полегшує обмін файлами та спільну роботу над документами для користувачів, які вже користуються іншими продуктами Google. Крім того, Google Диск пропонує безкоштовне сховище, що робить його доступним для багатьох користувачів. За додаткову плату обсяг сховища можна розширити за потреби.

Слід зазначити, що вибір хмарного сервісу може залежати від конкретних потреб і цілей користувача. Однак Google Диск є привабливим варіантом для широкого кола користувачів завдяки своїй простоті та популярності. Для ефективного використання Google Диску у віртуальній лабораторії необхідно налаштувати доступ студентів та викладачів до відповідних розділів та папок.

Після виконання робіт зі створення проєкту та тестування програмного коду на пристрої, студент може зберегти свій проєкт у папку на комп'ютері, або одразу відправити проєкт до хмарного сховища Google Disk. Студенту необхідно перейти у додаток Google Disk, де він обирає папку з предметом, далі папку з групою та вже папку зі своїм ім'ям. Завантажуючи на хмару, студент може скористатися цим проєктом для модернізації в майбутньому, а викладач може оцінити навички студента, на скільки точно була виконана робота за всіма критеріями. Хмарне середовище зберігає всю інформацію та надає доступ у будь-який час при будь-яких обставинах.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Таким чином, при проведенні дослідження було визначено виклики сучасності і вимоги до віртуальної лабораторії. А саме було враховано, що є студенти, які знаходяться на окупованих територіях. Для них особливо важливе, щоб підключення до віртуальної лабораторії було захищеним, оскільки їхні дані можуть бути в небезпеці. Також оскільки існує проблема з доступом до інтернету на окупованих територіях, тому важливо, щоб передача трафіку була максимально ефективною і не заважала студентам навчатися.

Також було проаналізовано програмне забезпечення, необхідне для реалізації віртуальної лабораторії, а саме організації віддаленого доступу. Із розглянутих систем віддаленого доступу, таких як: TeamViewer, віддалений робочий стіл Chrome, Anydesk, вибір було зроблено на користь TeamViewer, бо це ПЗ є більш популярним та знайомим по функціоналу більшості користувачів сьогодення, використовує технологію шифрування даних, аналогічну з шифруванням банківських операцій, що повністю забезпечує цілісність даних користувача та забезпечує безперервну комунікацію з віддаленою віртуальною лабораторією, навіть при низькій швидкості інтернету. Також було розроблено практичні завдання, для яких доцільно використовувати віртуальну лабораторію: завдання із використанням спеціалізованого апаратного забезпечення, якого скоріше усього немає в наявності у студента, і завдання, які потребують значних обчислювальних ресурсів, які теж можуть бути недоступними для студента. Як спеціалізоване обладнання було обрано роботу із роботом-пилососом iRobot Create 2 Roomba 600. Другим типом завдання було створення доповненої реальності за допомогою програмного забезпечення Unity3D.

Таким чином, важливо зазначити, що робота над створенням віртуальної лабораторії вимагає збалансованого підходу, урахування потреб користувачів та актуальних обставин. Це є кроком уперед в забезпеченні доступу до освіти в умовах війни і обмежень на фізичному рівні, а також у впровадженні сучасних технологій для підвищення якості навчального процесу студентів.

Список використаних джерел:

1. Русу О. П. Універсальна віртуальна лабораторія для традиційної та дистанційної форм навчання. *Гуманітарний і інноваційний ракурс професійної майстерності: пошуки молодих вчених : матер. VIII Всеукр. наук.-практич. конф. студентів, аспірантів та молодих учених, (18 листоп. 2022 р., м. Одеса). Львів – Торунь: Liha-Pres. 2022. С. 385–388. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-266-4/113>*
2. Бохан Ю. В., Форостовська Т. О. Віртуальний лабораторний практикум як засіб вивчення природничих дисциплін. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2021. Вип. 194. С. 74–78.*
3. Замковенко Є.А., Масич В.В. Віртуальна лабораторія в навчальному процесі. *Наумовські читання: матеріали XVII студ. наук. конф. студ. та молод. вчених, присвяч. 80-річчю фіз.-мат. ф-ту, Харків, 14–15 листоп. 2019 р. С. 146–149. URL: <https://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/8196>*
4. Gunawan, G., Harjono, A., Hermansyah, H., & Herayanti, L. Guided inquiry model through virtual laboratory to enhance students' science process skills on heat concept. *Jurnal Cakrawala Pendidikan. 2019. 38 (2). P. 259–268.*
5. Kismawan, U. A Virtual Lab As A Vehicle For Active Learning Through Distance Education. *International Journal of Research in STEM Education. 2022. 4(2). P. 18–38.*
6. Hocking, J. *Unity in action: multiplatform game development in C#*. Simon and Schuster. 2022. 416 p.
7. Tiahunova M., Kurychek H., Bohatyrova T., Moshynets D. System and method of automatic collection of objects in the room. *Proceedings of the 4rd Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering, Vol-3077, Kryvyi Rih, Ukraine, December 18, 2021, P. 174–186.*
8. Setiyani, Lila, Femmy Effendy, and Annisa Anggraini Slamet. Using Technology Acceptance Model 3 (TAM 3) at selected private technical high school: google drive storage in e-learning. *Utamax: Journal of Ultimate Research and Trends in Education 3.2. 2021. P. 80–89.*
9. Gannis, Steven; Vanderlinden, Matthew; Mailewa, Akalanka. Analyzing Data Encryption Efficiencies for Secure Cloud Storages: A Case Study of Pcloud vs OneDrive vs Dropbox. *Advances in Technology. 2022. P. 79–98.*
10. Alotaibi, Shamsah; Alomair, Hadeel; Elhusssein, Mariam. Comparing performance of commercial cloud storage systems: the case of dropbox and one drive. *In: 2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICIS). IEEE, 2019. P. 1–5.*

References:

1. Rusu, O. P. Universalna virtualna laboratoriiia dlia tradytsiinoi ta dystantsiinoi form navchannia. (2022). *Proceedings of the VIII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference: Humanitarian and innovative perspective of professional skill: the search of young scientists.* (385–388). November 18, 2022, Odesa, Ukraine, Lviv–Torun: Liha-Pres. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-266-4/113> [in Ukrainian].
2. Bokhan Yu. V., Forostovska T. O. (2021). Virtualnyi laboratornyi praktykum yak zasib vyvchennia pryrodnychikh dystsyplyn. *Naukovi zapysky. Serii: Pedagogichni nauky.* 94, 74–78 [in Ukrainian].
3. Zamkovenko Ye.A., Masych V.V. Virtualna laboratoriia v navchalnomu protsesi. *Proceedings of the VIII Student Scientific Conference of young scientists: Naumov's readings.* (146–149). 14–15 November, 2019, Kharkiv, Ukraine. Retrieved from <https://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/8196> [in Ukrainian].

-
4. Gunawan, G., Harjono, A., Hermansyah, H., & Herayanti, L. (2019). Guided inquiry model through virtual laboratory to enhance students' science process skills on heat concept. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, 38 (2), 259–268.
 5. Kusmawan, U. (2022). A Virtual Lab As A Vehicle For Active Learning Through Distance Education. *International Journal of Research in STEM Education*, 4 (2), 18–38.
 6. Hocking, J. (2022). *Unity in action: multiplatform game development in C#*. Simon and Schuster.
 7. Tiahunova M., Kyrychek H., Bohatyrova T., Moshynets D. (2021). System and method of automatic collection of objects in the room. *Proceedings of the 4rd Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering*, December 18, 2021, Kryvyi Rih, Ukraine, Vol-3077, 174–186.
 8. Setiyani, L., Effendy, F., & Slamet, A. A. (2021). Using Technology Acceptance Model 3 (TAM 3) at selected private technical high school: google drive storage in e-learning. *Utamax: Journal of Ultimate Research and Trends in Education*, 3(2), 80–89.
 9. Gannis, S., VanderLinden, M., & Mailewa, A. (2022). Analyzing Data Encryption Efficiencies for Secure Cloud Storages: A Case Study of Pcloud vs OneDrive vs Dropbox. *Advances in Technology*, 79–98.
 10. Alotaibi, S., Alomair, H., & Elhussein, M. (2019, April). Comparing performance of commercial cloud storage systems: the case of dropbox and one drive. *In 2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*. (pp. 1–5). IEEE.

ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННА СПРАВА

UDC 338.24:640.41(045)

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.15>

Nebaba N. O., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor,
Department of Economic Modeling, Accounting and Statistics
Oles Honchar Dnipro National University
ORCID: 0000-0003-1264-106X

Kucher M. M., PhD in Economics, Associate Professor,
Department of International Tourism and Hotel and Restaurant Business
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-3868-5311

Yazina V. A., PhD in Economics,
Department of International Tourism and Hotel and Restaurant Business
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-8695-3456

Saihak Ye. L., Lecturer at the Department of International Tourism
and Hotel and Restaurant Business
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-6406-9272

Golovko N. O., Student
University of Customs and Finance
ORCID: 0009-0001-7235-9333

THEORETICAL ASPECTS OF INFORMATION PROVISION OF RESTAURANT ENTERPRISE MANAGEMENT PROCESSES

The article is devoted to consideration of modern information support of restaurant enterprise management processes. It is established that the information support system organizes the collection, processing, storage and transmission of information to support various processes in the restaurant business. The information system consists of hardware, software and organizational components that cooperate to achieve effective management and is a key tool for effective management of a restaurant enterprise, which contributes to achieving competitive advantages and ensures improvement of service quality. The essence and characteristics of the system of information support of restaurant enterprise management processes have been studied. The constituent elements of information support in the management of a restaurant enterprise are considered. The classification of information technologies according to categories is provided. The advantages and features of information support for restaurant enterprise management processes are given. It has been established that information technologies are an integral part of the restaurant business, because they contribute to the automation and optimization of restaurant management processes, improve communication with customers, provide fast and convenient service, increase the efficiency of the kitchen and allow analyzing data to make better management decisions. Recommendations on the effective use of information support in restaurants are provided. It was analyzed that for the effective introduction of new technologies it is important to ensure proper training of the staff and support from the management. Adequate infrastructure and information security should also be provided to ensure data reliability and confidentiality. It has been studied that the introduction of modern information technologies and improvement of information support can significantly increase the efficiency and competitiveness of a restaurant enterprise. With proper planning, development and implementation of new technologies, the enterprise will be able to provide high quality customer service, increase its attractiveness in the market and improve its financial indicators.

Key words: automation, information center, information support, information technologies, restaurant business.

Небаба Н. О., Кучер М. М., Язіна В. А., Сайгак Є. Л., Головка Н. О. Теоретичні аспекти інформаційного забезпечення процесів управління ресторанним підприємством

Стаття присвячена розгляду сучасного інформаційного забезпечення процесів управління ресторанним підприємством. Досліджено сутність та охарактеризовано систему інформаційного забезпечення процесів управління ресторанним підприємством. Розглянуто складові елементи інформаційного забезпечення в управлінні ресторанним підприємством. Надано класифікацію інформаційних технологій відповідно категорій. Наведено переваги та особливості інформаційного забезпечення процесів управління ресторанним підприємством. Встановлено, що інформаційні технології є невід'ємною частиною ресторанного бізнесу, адже вони сприяють автоматизації та оптимізації процесів управління рестораном, поліпшують комунікацію з клієнтами, забезпечують швидке та зручне обслуговування, підвищують ефективність роботи кухні та дозволяють аналізувати дані для прийняття кращих управлінських рішень. Надано рекомендації щодо ефективного використання інформаційного забезпечення у закладах ресторанного господарства. Доведено, що інформаційне забезпечення управління ресторанним підприємством базується на використанні інформаційних технологій для збору, аналізу та оптимізації різних аспектів бізнесу. Це включає автоматизацію обліку товарів, управління персоналом, контроль за фінансами та взаємодію з клієнтами. Застосування інформаційних систем допомагає ефективніше вирішувати завдання у сфері ресторанного бізнесу. Інформаційне забезпечення ресторану відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного та конкурентоспроможного бізнесу і його важливі аспекти включають: облік інгредієнтів та товарів, управління персоналом, фінансовий облік, маркетинг та CRM, технологічні інновації, системи управління замовленнями, автоматизовані системи управління запасами, програмне забезпечення для обліку і звітності, програми захисту від кібератак і збереження конфіденційності даних, а також інші технології, що полегшують роботу. Інформаційне забезпечення сприяє ефективному управлінню всіма аспектами ресторанного бізнесу, що важливо для досягнення успіху у цій галузі.

Ключові слова: автоматизація, інформаційний центр, інформаційне забезпечення, інформаційні технології, ресторанний бізнес.

The statement of the problem in general terms and its connection with important scientific or practical tasks. In today's world, restaurant enterprises undergo significant transformations due to the rapid development of information technologies and the increasing competition in the restaurant services market.

Improving the information support for managing restaurant enterprises is a relevant topic in the modern gastronomic industry. Thanks to the rapid development of technologies and the growing influence of the Internet, restaurant enterprises have a unique opportunity to utilize information systems and software to optimize their operations and enhance service quality.

Information technologies enhance operational efficiency, reduce costs, improve service quality, and increase customer satisfaction. Technologies and software are becoming more accessible and advanced, providing restaurant enterprises with extensive opportunities to refine their processes and achieve success in a competitive market.

Over the past five years, a considerable amount of research has been conducted to improve the information support for managing restaurant enterprises. Scholars and practitioners have focused on developing new methods and approaches that allow for the effective use of information technologies to optimize restaurant operations. Research encompasses aspects such as automating ordering and service processes, inventory management, customer data analysis, streamlining food preparation and delivery processes, as well as the implementation of electronic restaurant management systems.

Literature review. The analysis of recent research and publications involved utilizing a broad information base encompassing scholarly articles, publications, statistical data, and other relevant sources related to restaurant management and the application of information technologies in the restaurant business. Scholarly works of both domestic and international researchers such as O. Artemenko [1], L. Veretin [3], I. Yegupova [4], A. Kravchenko, V. Samodai [5], A. Svistun, M. Sukach, L. Khrushch, I. Shushakova [6], M. Shvydenko [7], S. Michael, and others were processed and analyzed for this study.

Purpose. The main goal is to explore opportunities for enhancing the information support of restaurant management processes to increase restaurant efficiency and improve consumer satisfaction. To achieve this goal, the following tasks have been identified: analyze existing approaches and methods of restaurant management utilizing information support; examine various types of information technologies used in the restaurant business; identify the main advantages and peculiarities of existing information support systems for restaurant enterprises; investigate the core components of information technologies and their role in the processes of managing restaurant enterprises.

Results. Information provision in managing restaurant enterprises is the process of ensuring necessary information for effectively overseeing all aspects of a restaurant's operations. It encompasses the collection, analysis, storage, and dissemination of information required for making informed managerial decisions.

The constituent elements of information provision in managing restaurant enterprises include: restaurant management systems: These software suites automate key processes in the restaurant business, such as ordering, inventory operations, financial accounting, table reservations, and more. They facilitate centralized data collection and processing, easing restaurant management; reservation and table management systems: These systems enable customers to reserve tables online while allowing restaurant staff to efficiently manage table schedules, avoid conflicts, and maximize resource utilization; inventory management systems: These systems assist restaurants in efficiently

managing inventory of raw materials and other necessary supplies. They automate ordering, supply, and inventory control processes, helping avoid shortages or excess stock; data analysis and reporting systems: These systems gather, analyze, and visualize data on sales, expenses, profits, dish popularity, customer satisfaction, and other metrics. They aid managers in obtaining informed data for decision-making and strategy development; customer mobile applications: These apps enable customers to place orders, reserve tables, view menus, provide feedback, and utilize loyalty programs. They enhance customer interaction and satisfaction [1].

These constituent elements of information provision contribute to optimizing managerial processes within the restaurant business, elevating efficiency, and ensuring a higher standard of customer service.

Information technologies represent a set of methods and tools utilized for the collection, transmission, storage, and processing of information using software and hardware, aiming to address managerial tasks of an economic entity. The classification of information technologies can be reviewed in Table 1.

Enhancing the competitiveness of Ukrainian enterprises can be achieved through accelerating innovative processes that facilitate the effective utilization of innovations in the form of new information technologies, products, and services, as well as organizational, technical, and socio-economic solutions in production, finance, commerce, administration, and other spheres.

The strategic objectives of information technologies aim to ensure business development, its manageability, quality, competitiveness, and cost reduction in executing business processes [1].

Table 1

Classification of Information Technologies

Category	Information Technology
Ordering and Reservation Management	Point of Sale (POS) systems; Reservation management systems; Online booking and ordering; Mobile applications for ordering and reservations.
Inventory and Supply Management	Inventory management systems; Electronic inventory accounting; Automated ordering systems from suppliers.
Personnel Management	Personnel accounting and scheduling systems; Electronic timekeeping registers; Automated payroll systems; Intranet and communication platforms for employees.
Analytics and Reporting	Data analysis and reporting systems; Electronic reporting forms; Business Intelligence systems.
Customer Service	Online ordering and delivery; Self-service kiosks; Mobile applications for ordering and restaurant reviews; Loyalty programs and bonus systems.

Source: Compiled by the author based on data from [1; 3; 6].

Firstly, information technologies assist in restaurant management and enhance operational efficiency. Restaurant management systems automate many aspects of operations such as table reservations, inventory management, sales tracking, and financial monitoring. This aids in reducing human errors and streamlining processes, ultimately leading to increased productivity and cost reduction.

Secondly, information technologies enable improved customer service. By implementing online table reservation systems and food ordering, customers can easily and conveniently plan their visits and avoid queues at the restaurant. Mobile device applications allow for ordering food for delivery or pickup, making the ordering process more convenient and faster.

Undoubtedly, the utilization of information technologies in the restaurant business also enhances communication with customers. Restaurants actively leverage social media platforms such as Facebook, Instagram, Twitter, and YouTube to promote their services, share promotions, discounts, and new menus. This enables them to attract a wider audience and build relationships with potential clients [7].

Furthermore, information technologies can contribute to enhancing the culinary creative process. Sending orders to the kitchen using electronic ordering systems (POS) and utilizing specialized kitchen software improves food preparation efficiency and reduces waiting time for customers. Innovations such as using artificial intelligence and machine learning automate the cooking process and aid in developing new recipes.

One cannot overlook the analytical capabilities that information technologies provide. They enable restaurateurs to collect, analyze, and utilize data about their customers, such as ordering habits, preferences for specific dishes, or eating styles. This allows for personalized offerings, menu adaptation, and improved marketing strategies.

Information systems take on the process of meal formulation considering the set of ingredients and procurement schemes. They automate the management of dish lists based on consumption norms and seasonal procurement norms for ingredients used in dishes.

Information technologies have become an integral part of the restaurant business today. They facilitate the automation and optimization of management processes, enhance communication with customers, ensure swift and convenient service, improve kitchen efficiency, and allow data analysis for better managerial decisions [2].

It is worth noting that the successful implementation of information technologies in the restaurant business requires not only the presence of necessary systems and software but also proficient planning, setup, and staff training. Ensuring cybersecurity is also a crucial aspect as restaurants collect and process a substantial amount of confidential information about their customers.

The Information System (IS) in restaurant management plays a pivotal role in collecting, processing, storing, and transmitting information necessary for the effective functioning of the restaurant. The fundamental essence of the IS lies in creating an informational environment that facilitates making well-founded managerial decisions and optimizing business processes.

The primary characteristics of the Information System (IS) in restaurant management encompass: information gathering: The IS ensures the collection of information from diverse sources such as customer orders, inventory records, financial data, and more; information processing: The IS facilitates processing information to derive useful insights and reports. This may involve sales analysis, inventory control, personnel management, and other operations; information storage: The IS ensures information storage in a centralized database, allowing easy accessibility while ensuring its security; information transmission: The IS enables the transmission of information among various departments and employees within the restaurant, enhancing communication and collaboration; process automation: The IS assists in automating many routine operations like order tracking, inventory management, customer transactions, leading to more efficient resource utilization and reduced errors [7].

An additional characteristic of the Information System (IS) in restaurant management is: integration with other systems [7]: The IS can be integrated with other systems such as Enterprise Resource Planning (ERP), Customer Relationship Management (CRM), or Access Control Systems to establish a unified information platform and facilitate cohesive operations across various functional areas; mobile accessibility: Modern ISs can provide mobile access to information via mobile devices, allowing restaurant managers and employees to access real-time information and manage processes even outside the office; data security: ISs should have data protection mechanisms including backup, encryption, and access control to ensure the confidentiality and integrity of information, especially concerning financial data and customers' personal information; scalability : ISs should be flexible and scalable to meet the growing needs of the restaurant enterprise. They should be capable of handling large volumes of data and adapting to changes in business processes and market requirements [7].

Overall, the Information System is an integral component of restaurant management, contributing to process optimization, increased efficiency, and informed managerial decision-making.

Therefore, informational support and technologies play a crucial role in the restaurant business, aiding in the improvement of management, customer service, culinary creativity processes, and data analytics. Their utilization can contribute to enhanced efficiency, cost reduction, and improvement of a restaurant's competitiveness. Information technologies have become an essential tool for success in the modern restaurant industry.

Information technologies in the restaurant business encompass a wide array of solutions that help automate various aspects of restaurant management and enhance guest service quality. Employing information technologies in restaurant operations helps save time, effort, and resources, increases business efficiency, and enhances guest satisfaction. Through proper implementation and utilization of these technologies, a restaurant can gain a competitive edge and become more successful in the market [6].

Restaurant automation systems allow establishment owners to address a range of issues: monitoring employees to reduce the likelihood of deception, facilitating accounting processes, and improving customer service speed.

At present, there are two types of restaurant automation systems: standalone and cloud-based. Each has its drawbacks – standalone systems do not protect against employee deception, while cloud-based systems rely on internet access and lack substantial flexibility in operation.

There's also a hybrid system variant. A local module is installed in the restaurant, and then data is synchronized and uploaded to remote servers. This ensures system operability even with poor internet connectivity. Once the connection is restored, the data on the server can be easily updated.

The system is modular, featuring components for floor managers, waitstaff, chefs, and accountants. For instance, when a waiter takes an order, the system immediately displays the list of dishes on the chefs' screen. Upon dish completion (where managers can set a countdown for preparation time), the waiter receives a notification on their phone or tablet. The primary components of information technology in the restaurant business are presented in Table 2.

Information technologies (IT) play a crucial role in modern restaurant businesses, automating and optimizing numerous processes. Here are several ways in which IT can contribute to the restaurant business: order and reservation management: IT systems enable restaurants to accept online orders, maintain a customer database, manage reservations, and tables.

This simplifies the order taking and processing, prevents errors, and provides convenience for customers; Point of Sale (POS) systems: Utilizing modern POS systems allows restaurants to efficiently process payments, including contactless transactions, integrate loyalty programs, and gather sales data for analysis; inventory management: IT aids restaurants in inventory tracking, timely product orders, and avoiding surplus or shortages. An automated inventory management system can suggest when to restock, optimize orders, and ensure efficient product usage; kitchen automation: IT can automate kitchen processes, including electronic ordering systems and communication with service staff, leading to faster, error-reduced order preparation and improved quality; online presence and delivery: IT enables restaurants to build their online presence through websites, mobile apps, and social media, facilitating menu viewing, placing delivery or pickup orders, and leaving reviews.

Table 2

Key Components of Information Technology in the Restaurant Business

Technologies	Characteristics
Restaurant Management Software	Managing all aspects of daily operations, including ordering, inventory, payroll calculation, and financial accounting.
Order Management Software	Receiving and processing guest orders using electronic menu systems, mobile applications, or online food delivery platforms.
Electronic Payment Systems	Ability to accept credit cards, contactless payments, or mobile payments for guest convenience.
Electronic Inventory Management Systems	Automatic tracking of product quantities and alerts for necessary inventory replenishment.
Personnel Management Systems	Work schedules, time tracking, access control, authorization systems, staff training, and development.
Commercial Platforms	Online table reservations or food delivery platforms to attract new customers and increase sales volume.
Quality Control Systems	Collecting guest feedback, assessing food quality, monitoring cleanliness, and safety.
Interactive Screens and Digital Menus	Presenting dishes and beverages through interactive screens or digital menus.
Mobile Applications	Food ordering, table reservations, payments, and special offers through mobile applications.
Automated Kitchen Systems	Order displays, preparation time management systems, electronic recipes, and order status monitoring.
Wireless Networks and Access Points	Wireless internet for guests and mobile device-based offers.
Interactive and virtual reality	Tables with sensors, virtual tours, virtual menus, or gaming elements.
Security and video surveillance systems	Cameras, motion sensors, recording systems for security and service monitoring.
Social media and internet marketing	Brand promotion, guest interaction, advertising campaigns through social media and the internet.
Automated wine systems	Temperature control for storage, wine ordering, and information provision.
Smart devices	Smart thermostats, trash fill sensors, lighting systems for process automation.
Geolocation technologies	Personalized guest offers based on their location.
Video menus and presentations	Presentation of dishes and cooking in video format or interactive demonstrations.
Guest feedback and evaluation systems	Collecting feedback and ratings through electronic surveys, mobile apps, and social media.

Source: compiled by the author for data [4].

Integration with delivery platforms simplifies the food delivery process and expands the audience reach; analytics and reports: IT allows collecting, analyzing, and utilizing sales, expenditure, dish popularity, and other data, aiding restaurant owners in informed decision-making for business management, menu refinement, pricing, and promotional strategies; customer service enhancement: IT can assist restaurants in providing better customer service, including electronic menus and table orders, customer loyalty programs, personalized offers, and booking reminders, enhancing customer satisfaction; security and data protection: IT also plays a crucial role in ensuring customer data, operational systems, and payment transactions' security. Employing secure networks, data encryption, and other technologies helps prevent misuse and maintain information confidentiality. Information provisioning is a crucial component of management and operational activities in any organization, involving the collection, processing, storage, and dissemination of information to support decision-making and achieve set objectives. The components of information systems in the restaurant business are outlined in Table 3.

Table 3

Composition of Indicators in Information Systems within the Restaurant Business

Component	Definitions
Hardware	The physical components of an information system, such as computers, servers, routers, printers, and other devices necessary for processing, storing, and transmitting data in the restaurant business.
Software	A set of programs used to perform specific tasks in the restaurant industry, including order management systems, POS (Point of Sale) software, inventory management programs, reservation systems, and other solutions that facilitate restaurant operations.
Databases	Structured data repositories used to store information about customers, menus, inventory, financial data, and other critical aspects of the restaurant business. Databases enable the storage, update, and analysis of information to make decisions and improve business processes.
Communication tools	Data transmission and communication means, such as local networks, wireless technologies, internet connectivity, and other communication channels that facilitate information exchange among different devices, programs, and users in the restaurant business.
Information security	Systems and procedures ensuring the confidentiality, integrity, and availability of data in the restaurant business.
Data analytics	Methods, tools, and techniques for analyzing large volumes of data to derive valuable insights and support decision-making. Data analytics in the restaurant industry may involve statistical sales analysis, demand forecasting, trend identification, and other analysis methods to enhance business efficiency.

Source: compiled by the author based on [4].

All these IT solutions can function independently or be combined depending on the needs and scale of the restaurant business. Information provision encompasses processes, technologies, and resources necessary for collecting, processing, storing, and transmitting information for the effective operation of the organization. The advantages and specifics of information provision are listed below in Table 4.

Table 4

Advantages and Specifics of Information Provision

Advantages	Description
Increased efficiency and productivity.	IT aids in automating many routine processes, freeing up staff from unproductive tasks and providing more time for customer service. This improves service quality and reduces wait times.
Optimization of inventory management.	Inventory management IT systems help reduce unnecessary expenditures, prevent product shortages, and maintain optimal inventory levels. This enhances business efficiency and reduces costs.
Enhanced accuracy and error reduction.	IT systems help avoid human errors in the ordering process, food preparation, and transactions. This positively impacts customer satisfaction and decreases expenses associated with error correction.
Analytics and informed decision-making.	IT enables the collection and analysis of sales data, dish popularity, expenses, and other key metrics. This provides restaurateurs with information for making informed decisions regarding business management and development strategies.
Improved communication.	IT systems facilitate communication among staff, table service, and the kitchen. Electronic ordering systems and communication between service staff and chefs help reduce delays and improve workflow coordination.
Attraction of new clients.	Websites, mobile apps, and social media aid restaurants in attracting new customers, providing them with convenience in ordering and reservations, as well as offering extended options for selection and personalized service.
Increased customer satisfaction.	IT solutions enhance the overall customer experience in restaurants. Fast and efficient service, order accuracy, personalized offerings, and convenient payment processes contribute to customer satisfaction and potential increase in loyalty.
Cost reduction and efficiency improvement.	IT solutions help restaurants reduce manual labor costs, prevent losses, optimize processes, and improve overall business efficiency.

Source: compiled by the author based on [5].

It is essential to consider that the successful implementation of IT solutions in the restaurant business requires proper planning, staff training, and ongoing support. The systematization of information programs in the restaurant business involves the utilization of various programs and systems for data collection, processing, storage, and

analysis. The primary goal of systematizing information programs is to facilitate restaurant management, enhance business process efficiency, and improve customer satisfaction. Some key aspects of systematizing information programs in the restaurant business are outlined in Table 5.

Table 5

Information Programs in the Restaurant Business

Information System:	Description
Point of Sale (POS)	Software designed for order processing, cash transactions, inventory management, and reporting. Ensures swift and accurate order processing and payment handling.
Inventory Management	IT systems that control product and ingredient inventory, automating the ordering process and receipt of goods.
CRM System	A customer interaction management system that gathers and analyzes customer data, provides personalized service, and enhances customer loyalty.
Analytical System	A data collection and analysis system for sales, financial indicators, dish popularity, and other key metrics to facilitate informed decision-making.
Online Ordering and Delivery	Systems and platforms for online customer order acceptance, food delivery organization, and ensuring a convenient customer experience.
Human Resources System	IT systems for human resource management, including employee record-keeping, work schedules, payroll, and other personnel processes.

Source: compiled by the author based on [5; 6].

Systematizing information programs helps restaurants optimize business processes, enhance efficiency, and ensure customer satisfaction. The selection of specific programs depends on the restaurant's needs, size, and operational specifics. Overall, information provision is an essential element of the restaurant business, aiding in streamlining operations, attracting customers, and improving the overall service experience. Implementing IT solutions can become a competitive advantage for a restaurant and contribute to its successful development.

Conclusions and Prospects for Further Research in this Direction. Information systems are an integral component of successful restaurant management. They facilitate the collection, processing, storage, and transmission of information to support various processes within the restaurant business. Comprising hardware, software, and organizational components, an information system collaborates to achieve efficient management, serving as a key tool for effective restaurant management that fosters competitive advantages and enhances service quality.

The application of core information technologies in the restaurant industry aids businesses in improving customer service, streamlining management processes, ensuring effective control over inventory, finances, and other operational aspects. Information technologies are essential tools for the successful operation of a restaurant business, aiding in effective management, improved customer service, and achieving competitive advantages in the market.

The advantages of information provisioning in the restaurant industry encompass operational efficiency enhancements. Information systems enable the automation of ordering, inventory tracking, personnel, and financial management processes, thereby reducing the risk of errors and expediting task completion. Information provisioning within a restaurant enterprise allows for increased efficiency, improved customer service, and risk mitigation. Restaurant enterprises integrating information technologies into their platforms stand a greater chance of achieving success and competitive advantages in the market.

Bibliography:

1. Скопень М.М., Сукач М.К., Будя О.П., Артеменко О.І., Хрущ Л.А. Інформаційні системи і технології в готельно-ресторанному та туристичному бізнесі : підручник / за ред. М.К. Сукача. К.: Ліра-К, 2017. 768 с.
2. Бишовець Л.Г., Куракін О.Б., Крижанівський А.І. Інноваційні технології обслуговування в сучасному ресторанному бізнесі. 2020. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/3215/2/БЛГ%2С%20КОБ%2С%20КАІ.pdf>
3. Веретін Л.С. Інформаційне забезпечення як одна із передумов удосконалення управління продуктивністю підприємства. *Ефективна економіка*. 2015. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4469>
4. Єгупова І.М. Особливості функціонування закладів ресторанного господарства: монографія / за заг. наук. ред. В.Г. Герасименко. Одеса: ОНЕУ, 2016. 262 с.
5. Самодай В.П., Кравченко А.І. Організація ресторанної справи: навч. посіб. Суми: Вид-во СумДПУ імені А.С.Макаренка, 2015. 424 с.
6. Шушакова І., Свистун А. Інформаційні технології в управлінні підприємствами ресторанного господарства. *Економіка та суспільство*. 2021. № 25. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/292>
7. Швиденко М.З., Касаткіна О.М., Швиденко О.М. Інформаційні технології : навч. посіб. К.: ЦП «Компринт», 2019. 571 с.

References:

1. Skopenia M.M., Sukach M.K., Budya O.P., Artemenko O.I., Khrushch L.A. (2017), *Informatsiini systemy i tekhnolohii v hotelno-restorannomu ta turystychnomu biznesi* [Information systems and technologies in the hotel, restaurant and tourism business], Lira-K, Ukraine.
2. Byshovets, L.H. Kurakin, O.B. Kryzhanivskyi, A.I. (2020), *Innovatsiini tekhnolohii obsluhovuvannia v suchasnomu restorannomu biznesi* [Innovative service technologies in the modern restaurant business], [Online], available at: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/3215/2/БЛГ%2С%20КОБ%2С%20КАІ.pdf>
3. Veretin L.S. (2015), *Efektivna ekonomika*, Informatsiine zabezpechennia yak odna iz peredumov udoskonalennia upravlinnia produktyvnistiu pidpriemstva. [Information provision as one of the prerequisites for improving enterprise productivity management] [Online], vol. 4, available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4469>
4. Yehupova, I.M. (2016), *Osoblyvosti funktsionuvannia zakladiv restorannoho hospodarstva* [Peculiarities of the functioning of restaurants], Odesa: ONEU, Ukraine.
5. Samodai, V.P. Kravchenko, A.I. (2015), *Orhanizatsiia restorannoi spravy* [Organization of the restaurant business]. Sumy: Vyd-vo SumDPU imeni A.S. Makarenka, Ukraine.
6. Shushakova, I. Svystun, A. (2021), *Economy and society*, Informatsiini tekhnolohii v upravlinni pidpriemstvamy restorannoho hospodarstva [Information technologies in the management of restaurant enterprises], [Online], vol. 25, available at: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/292>
7. Shvydenko, M.Z. Kasatkina, O.M. Shvydenko, O.M. (2019), *Informatsiini tekhnolohii* [Information Technology]. K.: TsP «Kompynt», Ukraine.

Юдіна О. І., доктор економічних наук, доцент,
професор кафедри міжнародного туризму
та готельно-ресторанного бізнесу
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0003-3699-5321

Корнєєв М. В., доктор економічних наук, професор,
професор кафедри міжнародного туризму
та готельно-ресторанного бізнесу
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0002-4005-5335

Стеблюк Н. Ф., кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри міжнародного туризму
та готельно-ресторанного бізнесу
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0002-4488-769X

Разінькова М. Ю., кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри міжнародного туризму
та готельно-ресторанного бізнесу
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0000-0002-1590-7428

Мішина Є. С., здобувач вищої освіти
Університету митної справи та фінансів
ORCID: 0009-0000-3670-4665

РИНОК ГОТЕЛЬНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ: ОЦІНЮВАННЯ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ

У статті досліджується сучасний стан та динаміка розвитку ринку готельних послуг в Україні шляхом визначення особливостей зміни статистичних параметрів, що характеризують діяльність суб'єктів господарювання в сфері гостинності. Основною метою цієї статті є аналіз ринку готельних послуг в Україні, оцінювання його сучасного стану і тенденцій розвитку на основі динаміки показників діяльності колективних засобів розміщення.

У роботі шляхом проведення кількісного аналізу даних Державної служби статистики України охарактеризовано сучасний стан ринку готельних послуг у країні, його структура, особливості та тенденції розвитку з урахуванням класифікації видів економічної діяльності за КВЕД-2010. Шляхом інтерпретації показників кількості готелів й подібних закладів розміщення, осіб, що перебували в колективних засобах розміщення, зайнятих працівників в готельній сфері й обсягів реалізації та виробництва готельних послуг встановлено тенденції їх розвитку в Україні. На основі оцінки динаміки цих статистичних показників встановлено від'ємні тенденції їх розвитку в Україні в останні три роки, що пояснюється негативним впливом пандемії COVID-19, політичних та економічних кризових явищ в країні та світі. В ході дослідження визначено, що такі області як Одеська, Закарпатська, Львівська та м. Київ, мають найбільшу кількість готелів та подібних закладів розміщення, й відповідно більший прибуток від цієї діяльності. Також встановлено зростання ролі індивідуальних підприємців у готельній галузі й напрями їх співпраці з готельними мережами, які передбачають об'єднання ресурсів, знань та інноваційної активності ФОПів для створення нових споживчих пропозицій. Зростання частки ФОПів у структурі суб'єктів господарювання на ринку готельних послуг пояснюється нескладною процедурою їх реєстрації, нижчими витратами на управління бізнесом, більшою продуктивністю та ефективністю реалізації послуг, гнучкістю у прийнятті рішень, наданням інноваційних послуг і впровадженням нових концепцій, а також необхідністю забезпечення само зайнятості.

Ключові слова: сфера готельних послуг, підприємства, аналіз, статистичні показники, динаміка розвитку, сучасний стан, колективні засоби розміщення.

Yudina O. I., Korneyev M. V., Stebliuk N. F., Razinkova M. Yu., Mishina Ye. S. Market of hotel services in Ukraine: assessment of the current state and development dynamics

The article examines the current state and dynamics of the development of the hotel services market in Ukraine by determining the peculiarities of the change in statistical parameters characterizing the activity of business entities in the field of hospitality. The main goal of this article is to analyze the market of hotel services in Ukraine, to assess its current state and development trends based on the dynamics of performance indicators of collective accommodation facilities. In the work, by conducting a quantitative analysis of the data of the State Statistics Service of Ukraine, the current state of the market of hotel services in the country, its structure, features and development trends is characterized, taking into account the classification of types of economic activity according to KVED-2010. By interpreting the indicators of the number of hotels and similar accommodation facilities, persons staying in collective accommodation facilities, employed workers in the hotel sector, and the volume of implementation and production of hotel services, trends in their development in Ukraine were established. So, based on the assessment of the dynamics of these statistical indicators, negative trends in their development in Ukraine in the last three years have been established, which is explained by the negative impact of the COVID-19 pandemic, political and economic crisis phenomena in the country and the world. In the course of the research, it was determined that Odesa, Zakarpattia, Lviv, and Kyiv regions have the largest number of hotels and similar accommodation facilities, and, accordingly, greater profit from this activity. The growth of the role of individual entrepreneurs in the hotel industry and the directions of their cooperation with hotel chains, which involve the pooling of resources, knowledge and innovative activity of FOPs to create new consumer offers, have also been established. The growth of the share of FOPs in the structure of business entities in the hotel services market is explained by the simple procedure of their registration, lower costs of business management, greater productivity and efficiency of service implementation, flexibility in decision-making, provision of innovative services and introduction of new concepts, as well as the need to ensure self employment

Key words: sphere of hotel services, enterprises, analysis, statistical indicators, dynamics of development, current state, collective means of accommodation.

Постановка проблеми. Протягом останніх років на ринку готельних послуг спостерігаються певні зміни форм організації діяльності закладів тимчасового розміщення, оскільки їх гості мають можливість порівнювати особливості та якість сервісу в Україні й за кордоном і вимагають забезпечення відповідного рівня комфорту під час перебування у готелі. Даний фактор змушує готельні підприємства пристосовуватися до наявних потреб споживачів для задоволення їх попиту, що сприяє подальшому розвитку внутрішнього та глобального ринку готельних послуг. Сьогодні готельна індустрія є найбільш динамічним сектором економіки України, що швидко розвивається і здатний приносити реальний прибуток. Тому проведення аналізу сучасного стану та динаміки розвитку індустрії гостинності дозволяє детально ознайомитися з головними тенденціями у сфері готельних послуг, виявити та оцінити нові можливості для їх подальшого розвитку та зміцнення конкурентних позицій закладів розміщення. Оцінювання кількісних параметрів на підґрунті аналізу виявляє можливості для покращення якості обслуговування та задоволення потреб споживачів, що сприяє загальному розвитку галузі готельної індустрії в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розвитку сфери готельних послуг приділялося багато уваги у роботах вітчизняних і закордонних авторів. Андрушків Б. М., Мельник Л. М. [1] визначають особливості організації бізнес-процесів у закладах сфери готельних послуг. У роботах Пуцентейло П. Р. [2], Ткаченко А. М. [3], Остапенко Я. О. [4] та ін. висвітлюються питання управління та розвитку підприємств на ринку готельно-ресторанних послуг. Вікторіно Л., Верма Р., Плашка Г. [5], Михайліченко Г. І. [6] досліджують фактори розвитку сфери гостинності. Проте, в умовах нестабільності на ринку готельних послуг, виникає необхідність у дослідженні динаміки показників діяльності підприємств готельного господарства та оцінюванні їх сучасного стану на основі особливостей зміни статистичних параметрів в сфері гостинності.

Метою статті є аналіз ринку готельних послуг в Україні, оцінювання його сучасного стану і тенденцій розвитку на основі динаміки показників діяльності колективних засобів розміщення (КЗР).

Виклад основного матеріалу. Для визначення стану ринку готельних послуг в Україні, зокрема його структури, характеру особливостей та тенденції розвитку, доцільним є проведення кількісного аналізу даних Державної служби статистики України. Статистичні показники діяльності засобів розміщення, до яких відносяться – кількість КЗР, кількість місць та внутрішніх й іноземних туристів, що мешкають у них, служать важливою інформаційною базою для аналізу ринку готельних послуг. Аналіз кількості колективних засобів розміщення та місць, що вони пропонують, надає уявлення про загальний обсяг попиту та можливості для розвитку нових готельних проектів або розширення існуючих. Динаміка кількості колективних засобів розміщення в Україні в 2016–2020 рр. згідно даним Державної служби статистики наведена на рис. 1 [7].

Таким чином, за даний період після незначного скорочення колективних засобів розміщення (КЗР) у 2017 році, їх кількість стала поступово збільшуватись, до пікового значення 2019 року (5335 од.), після чого в 2020 році через пандемію COVID-19 зменшилась до 4523 од. (див. рис. 1).

Аналіз даних про кількість місць в колективних засобах розміщення та кількість туристів, що в них перебували, дозволяє оцінити завантаженість готельних об'єктів, що допомагає зрозуміти ефективність управління готелями. Показники діяльності колективних засобів розміщення у період 2016–2020 рр. представлені в табл. 1 [7].

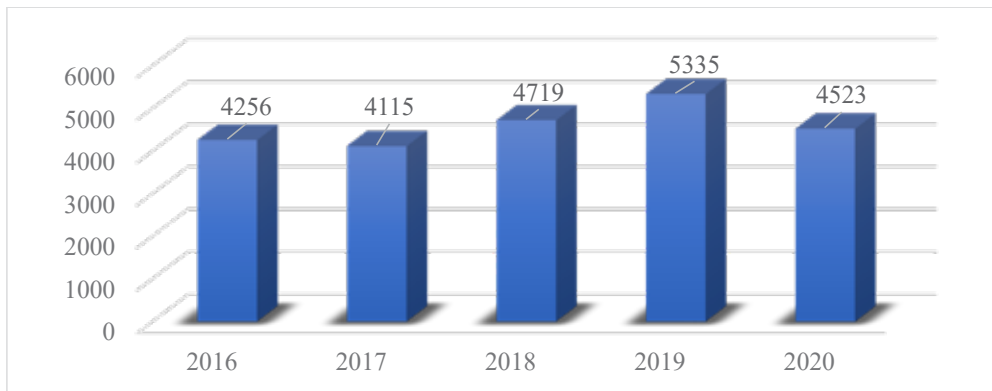


Рис. 1. Динаміка зміни кількості КЗР в 2016–2020 рр.

Джерело: складено автором на основі [7]

Таблиця 1

Діяльність колективних засобів розміщення у період 2016–2020 рр.

Роки	Кількість КЗР, од	Кількість місць у КЗР, тис. од	Кількість осіб, що перебували у КЗР, тис.		Частка іноземних туристів, %	Коефіцієнт завантаженості
			усього	з них іноземці		
2016	4256	375,6	6544,8	863,7	13,2	17,4
2017	4115	359,0	6661,2	824,5	12,4	18,6
2018	4719	300,0	7006,2	917,9	13,1	23,4
2019	5335	370,6	6960,9	959,4	13,8	18,8
2020	4523	312,1	3379,5	254,4	7,5	10,8

Джерело: складено автором на основі [7]

За наведеними даними характер динаміки кількості місць в КЗР дещо відрізняється від динаміки кількості закладів в цілому. З 2016 року кількість місць зменшувалась, й мала найнижчий показник в 2018 р. – 300 тис. од. Оскільки в тому ж році була найбільша кількість осіб, що перебувала в КЗР, коефіцієнт завантаженості є найвищим – 23,4, що свідчить про недостатнє використання потенціалу готельних послуг або неефективне управління ресурсами. Найнижчим є коефіцієнт завантаженості КЗР в 2020 році – 10,8, через значне скорочення туристів, й незначне зменшення кількості закладів та місць в них (рис. 2) [7].

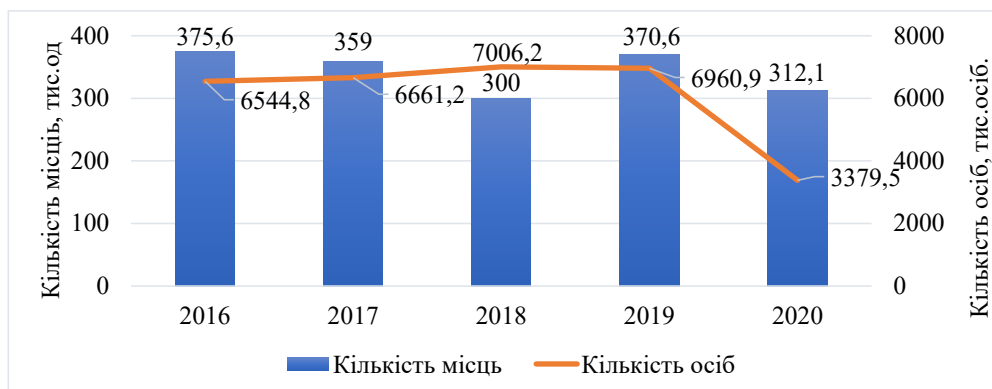


Рис. 2. Динаміка завантаженості КЗР в 2016–2020 рр.

Джерело: складено автором на основі [7]

Аналіз кількості осіб, що перебували в КЗР в 2016–2020 рр., показав, що кількість іноземних гостей в середньому становила 13,1% від загальної кількості осіб, а після пандемії, в 2020 р. дорівнювала лише 7,5%.

Таким чином, аналізуючи кількість осіб, що перебували в КЗР, можна зробити висновок, що через пандемію COVID-19, кількість відвідувачів скоротилась вдвічі через скорочення кількості іноземних відвідувачів в 3,8 рази та внутрішніх в 1,9 рази (рис. 3) [7].

Для визначення сучасного стану ринку готельних послуг в Україні крім аналізу динаміки колективних закладів розміщення, важливо проаналізувати кількісні показники діяльності інших закладів готельного господарства. Для цього використовується класифікація видів економічної діяльності за КВЕД-2010, а саме секції I «Тимчасове розміщення й організація харчування», розділу 55 «Тимчасове розміщення» [8].



Рис. 3. Динаміка осіб, що перебували у КЗР тис. осіб. за 2016–2020 рр.

Джерело: складено автором на основі [7]

Динаміка зміни частки готелів та подібних закладів розміщення у загальному обсязі інших суб'єктів тимчасового розміщення в 2017–2022 рр. наведені на рис. 4 [7].



Рис. 4. Динаміка зміни частки готелів та подібних закладів розміщення у загальному обсязі інших суб'єктів тимчасового розміщення в 2017–2022 рр.

Джерело: розроблено автором на основі [7]

Таким чином, у загальній кількості суб'єктів господарювання з тимчасового розміщення, найбільшу частку займають готелі та подібні засоби тимчасового розміщення, на другому місці за величиною частки знаходяться засоби розміщення на період відпустки та іншого тимчасового проживання, наступну позицію займають інші засоби тимчасового розміщення й найменша частка припадає на послуги розміщення у кемпінгах та стоянках для житлових автофургонів і причепів (див. рис. 4).

Значна частка готелів серед всіх видів закладів розміщення означає, що готелі є найпоширенішими та найбільш представленими об'єктами для тимчасового проживання. Це свідчить про значну популярність та попит на готельні послуги серед подорожуючих та туристів.

Наступним показником, що характеризує діяльність підприємств на ринку готельних послуг є кількість діючих суб'єктів господарювання. За оцінкою динаміки цього показника встановлено, що у довоєнний період 2016–2021 рр. найменша кількість готелів та подібних закладів розміщення була в 2016 році й складала 4104 од., з 2017 р. відбувалося їх поступове збільшення з піковим значенням 5451 одиниць в 2019 році,

й подальшим зменшенням у зв'язку з пандемією COVID-19 у 2020–2021 рр., але під час військового стану 2022 р. досліджуваний показник ще знизився до 4082 од. (рис. 5) [7].

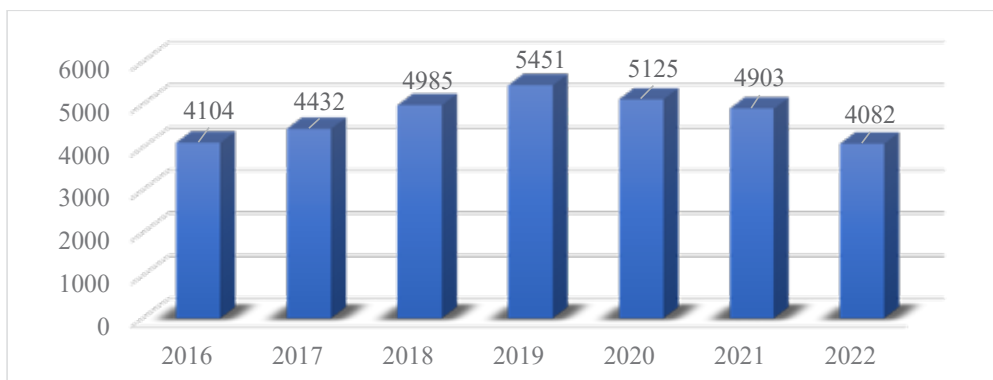


Рис. 5. Кількість діючих готелів і подібних засобів тимчасового розміщування у 2016–2022 рр., од.

Джерело: складено автором на основі [7]

Також показовим показником характеристики ринку готельних послуг є частка фізичних осіб-підприємців (ФОПів) в загальній кількості суб'єктів господарювання, протягом досліджуваного періоду цей параметр має середнє значення 77,5%, з найбільшим значенням в 2019 і 2022 рр. – близько 79% (табл. 2) [7].

Таблиця 2

**Кількість діючих суб'єктів господарювання за видом економічної діяльності
«Діяльність готелів і подібних засобів тимчасового розміщування» у 2016–2022 рр.**

Роки	Усього, од.	з них ФОП, од.	Частка ФОП, %
2016	4104	3174	77,3
2017	4432	3392	76,5
2018	4985	3883	77,9
2019	5451	4291	78,7
2020	5125	3963	77,3
2021	4903	3734	76,2
2022	4082	3221	78,9

Джерело: складено автором на основі [7]

Існує кілька можливих причин значного збільшення кількості ФОПів (фізичних осіб-підприємців) у складі діючих суб'єктів господарювання. Однією з них є економічна нестабільність, тобто в деяких випадках збільшення частки ФОПів є результатом економічної нестабільності або труднощів на ринку праці. На сучасному етапі в умовах економічного спаду багато приватних осіб обирають шлях самостійного підприємництва як спосіб забезпечення доходу та зменшення ризику безробіття.

Такої особливості сучасного розвитку ринку готельних послуг може сприяти нескладна процедура реєстрації ФОПу, яка в багатьох країнах є простою та доступною, в Україні можна здійснити реєстрацію навіть через електронний сервіс «Дія» [9]. Цей фактор стимулює індивідуальних підприємців на відкриття власного бізнесу, включаючи готельний.

Крім того, ФОПи зазвичай мають нижчі витрати на управління бізнесом порівняно з великими готельними підприємствами. Вони можуть працювати в менших масштабах, не потребувати значних капіталовкладень і витрат на управління персоналом, що дозволяє цим суб'єктам господарювання формувати ефективну цінову політику, забезпечувати конкурентоспроможність та залучати більше споживачів. Значна частка фізичних осіб-підприємців у структурі закладів розміщення характеризує сучасні тенденції ринку готельних послуг, які варто враховувати.

Збільшення кількості ФОПів також вказує на зростання ролі індивідуальних підприємців у готельній галузі, які відрізняються більшою гнучкістю у прийнятті рішень, наданням інноваційних послуг і впровадженням нових концепцій. Великим готелям і готельним ланцюгам важливо використовувати таку ситуацію на ринку для організації співпраці з ФОПами, об'єднуючи їх ресурси, знання та унікальність, щоб створити нові споживчі пропозиції та підвищити свою конкурентоспроможність.

Враховуючи ці фактори, великі готельні підприємства та готельні ланцюги можуть реагувати на збільшення частки ФОПів шляхом постійного вдосконалення своїх послуг, розвитку бренду та пошуку інноваційних шляхів привернення та утримання гостей, а також шляхом організації співпраці з незалежними

підприємцями на основі партнерських угод, забезпечення взаємовигідного обміну досвідом та ресурсами, і використання цього партнерства для розширення своєї присутності на ринку.

Крім того, підтримка індивідуальних підприємців з боку юридичних осіб у сфері гостинності (надання консультацій, навчальних програм, фінансової підтримки, створення спеціалізованих програм для ФОПів) позитивно вплине на розвиток ринку готельних послуг України.

Відповідно до аналізу кількості діючих суб'єктів господарювання за видом економічної діяльності «готелів і подібних засобів тимчасового розміщування» [7] у розрізі регіонів у 2017–2021 рр., встановлено, що Одеська, Львівська обл., м. Київ, Закарпатська, Івано-Франківська, Дніпропетровська області, займають перші 6 позицій по кількості суб'єктів господарювання за аналізований період. З 2017 року розподіл готелів і подібних КЗР мав незначні зміни, але, станом на 2020 р., найбільшу частку займали зазначені вище області, а найменшу (менше 2,5% від загальному обсягу по Україні) – Полтавська обл. 2,2%, Черкаська обл. 2,2%, Хмельницька обл. 2,1%, Чернівецька обл. 1,8%, Волинська обл. 1,7%, Тернопільська обл. 1,6%, Житомирська обл. 1,5%, Рівненська обл. 1,4%, Чернігівська обл. 1,2%, Кіровоградська обл. 1,1%, Сумська обл. 1,1%, Луганська обл. 0,5, разом ці області зазначені на рис. 3 як «інші» й в цілому займають 18,4%. Проте у 2021 р. знизилася кількість закладів розміщення у Львівській, Закарпатській, Дніпропетровській, Харківській, Київській, Вінницькій областях та у м. Київ на 3,4%, 1,3%, 0,2%, 0,6%, 0,8%, 0,9% та 2,2%, відповідно, а в Одеській та Івано-Франківській областях зросла на 1,5%, в Миколаївській – на 1%, Донецькій – 0,2%, у Херсонському та Запорізькому регіонах кількість готелів і подібних КЗР збільшилася майже вдвічі й становила 2,2% (з 2,9% до 5,1%) і 3,8% (з 4% до 7,8%), відповідно (рис. 6) [7].

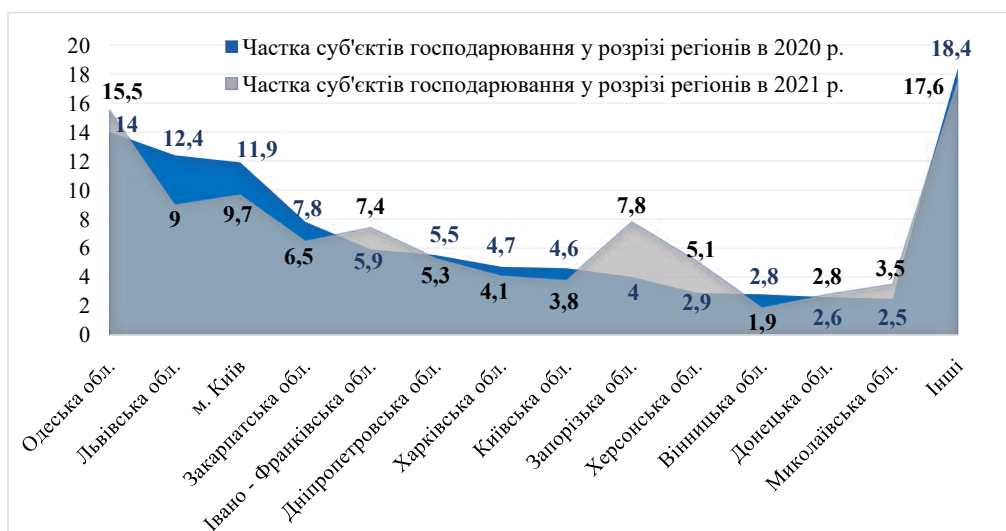


Рис. 6. Частка в загальній кількості суб'єктів господарювання розрізі регіонів в 2020–2021 рр.

Джерело: складено автором на основі [7]

Оцінювання умов розподілу готелів та інших закладів розміщення по областях надає важливу інформацію про територіальний розподіл готельної індустрії та дозволяє аналізувати туристичний потенціал різних областей. Таким чином, одним з основних факторів розподілу готелів за певними регіонами є їх туристична привабливість.

Територіальні одиниці з високим туристичним потенціалом, такі як природні парки, історичні пам'ятки, курорти або міста з культурними та розважальними можливостями, зазвичай мають більше готелів та інших закладів розміщення. Це зумовлено попитом на туристичні послуги у таких областях. Економічні фактори також впливають на територіальне розміщення готельних підприємств. Регіони з більш високим рівнем доходів та покупною спроможністю населення, такі як великі міста або промислові центри, мають більше готелів ділового призначення для обслуговування ділових туристів та бізнес-заходів. Вибір місця розташування готелів таких регіонів залежить від потенційного попиту та можливостей для розвитку бізнесу. Важливим фактором, який також впливає на розподіл закладів готельного господарства є інфраструктура та доступність регіону, оскільки для забезпечення зручності для туристів готелі часто будуються поруч з ключовими об'єктами інфраструктури, такими як аеропорти, залізничні вокзали і станції, автомагістралі. Це допомагає залучати більше гостей та підтримувати потік туристів у регіон. Демографічні фактори також впливають на розподіл готелів у країні. Регіони з великою кількістю населення, особливо з великою часткою в його структурі молодих людей або людей з високим рівнем доходів, можуть мати більше готелів для задоволення попиту на послуги туристичної галузі та засобів розміщення. За наявності великого туристичного

потенціалу такі регіони залучають як місцевих жителів, так й іноземних туристів, що потребує додаткових готельних послуг.

Усі ці фактори взаємодіють між собою та впливають на розподіл готелів та інших закладів розміщення по областях. Розуміння сутності впливу цих факторів допомагає оцінювати ринкову ситуацію, визначати потенційні можливості для розвитку готельного бізнесу та приймати обґрунтовані рішення щодо розташування готелів у різних регіонах.

За оцінкою показників виробництва та реалізації послуг готельних підприємств встановлені їх незначні коливання відносно один одного, порівняння цих показників характеризує рівень використання та рівень ефективності реалізації готельних послуг (табл. 3) [7].

Таблиця 3

**Обсяг реалізованої та виробленої продукції (товарів, послуг) суб'єктів господарювання
видом економічної діяльності «Діяльність готелів і подібних засобів тимчасового розміщення»
у 2016–2021 рр.**

роки	Обсяг реалізованої продукції			Обсяг виробленої продукції			Реалізовано/вироблено
	усього, тис грн	з них ФОП, грн	Частка ФОП, %	усього, тис.грн	з них ФОП, тис. грн	Частка ФОП, %	
2016	8439192,3	2087149,8	24,7	8859725,2	1583092,3	17,9	0,95
2017	10649057,7	2753739,7	25,9	11296386	2327004,2	20,6	0,94
2018	13247405	3767966,7	28,4	13565451,7	3204395,2	23,6	0,98
2019	14357886,2	4473731,8	31,2	12905762,8	3813330,3	29,5	1,11
2020	8532763,6	3441754,5	40,3	8163022,8	2970023,6	36,4	1,05
2021	15120876,9	5510675,8	36,4				

Джерело: складено автором на основі [7]

Згідно зі статистичними даними в 2016–2018 рр., було реалізовано менше послуг, ніж вироблено, що може вказувати на наявність нереалізованих запасів або проблеми з реалізацією (рис. 7) [7].

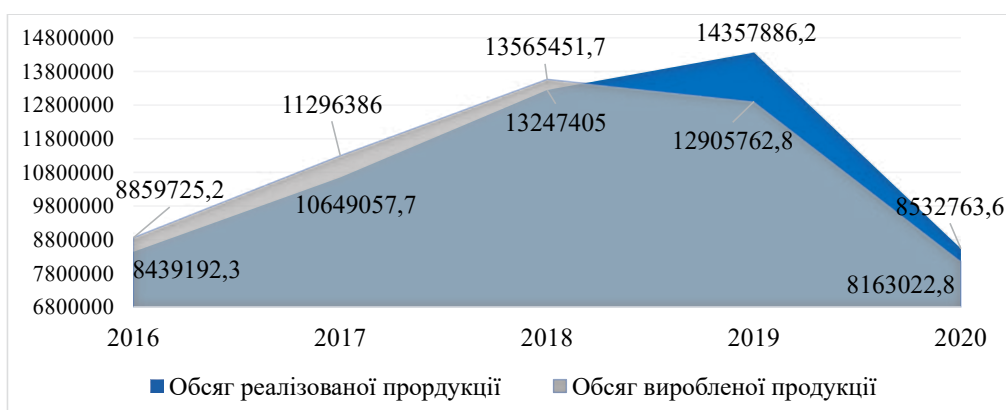


Рис. 7. Динаміка реалізованої та виробленої продукції готелів та подібних засобів розміщення 2016–2020 рр.

Джерело: складено автором на основі [7]

Така ситуація може скластися за різними причинами, наприклад, недостатня кількість бронювань, невдала маркетингова та цінова політика, проблеми з постачанням, або недостатній попит на ринку. Це може свідчити про неефективне використання ресурсів або можливість вдосконалення процесу реалізації послуг. Недостатній попит, своєю чергою, може бути пов'язаний зі зміною вподобань споживачів, зростанням конкуренції або економічними факторами

В 2019 та 2020 рр., незважаючи на пандемію, реалізовані послуги перевищували вироблені, що свідчить про збільшення фактичного рівня попиту, відносно очікуваного. Зростання попиту може бути результатом посилення маркетингових зусиль, зміни відношення споживачів до певних послуг або підвищення життєвого рівня споживачів готельних послуг.

Також ефективно управління запасами та оптимізація виробництва допомагає уникнути недостачі та забезпечити збільшення обсягу реалізації послуг. Іншою причиною зростання рівня реалізації можуть бути раціонально встановлені ціни на послуги, що збільшує їх продаж. До останньої з можливих причин належить розвиток нових ринків підприємств готельного господарства шляхом охоплення нових сегментів або розширення географії закладів розміщення.

За статистичними даними, частка ФОПів в реалізації та виробництві послуг за аналізований період зростає з 24,7 до 40,3% та з 17,9 до 36,4%, відповідно. Незважаючи на те, що частка самих підприємств в загальній кількості суб'єктів господарювання не збільшується, а залишається в середньому близько 77,5% (див. табл. 2.2). Проте у 2021 р. частка обсягу реалізації ФОПів зменшується на 3,9% у порівнянні з попереднім роком.

Зростання частки ФОПів у складі інших готельних підприємств пояснюється впливом такого фактору розвитку як зростання продуктивності їх діяльності. Сьогодні ФОПи характеризуються більшою продуктивністю та ефективністю в реалізації своїх послуг, оскільки вони можуть пропонувати різноманітні послуги та забезпечувати більший обсяг продажів на одне підприємство. Такий результат досягається шляхом впровадження нових технологій, покращення процесу управління та оптимізації бізнес-процесів.

Домінування великих ФОПів досягається завдяки тому, що обсяг реалізації їх послуг в основному залежить від кількох великих підприємств, які володіють значними ресурсами, широким колом споживачів або високим рівнем спеціалізації. У такому випадку, хоча кількість ФОПів може залишатися стабільною, вони здатні генерувати значний обсяг продажів.

Збільшення обсягу реалізованих послуг ФОПами вказує на зміну структури ринку готельних послуг, в якій ФОПи складають більшу його частку. Це пояснюється зростанням попиту на індивідуальні та незалежні послуги або зміною споживацьких уподобань, які можуть забезпечувати ФОПи.

Наступним показником, який характеризує сучасний стан ринку готельних послуг, є кількість зайнятих працівників у готелях і подібних КЗР, оскільки він дозволяє оцінити масштаб розвитку галузі гостинності (табл. 4) [7].

Таблиця 4

Кількість зайнятих працівників в готелях і подібних засобах тимчасового розміщення у 2016–2021 роках

роки	Кількість зайнятих працівників у суб'єктів господарювання		
	усього, осіб	з них у ФОП	Частка у ФОП, %
2016	29644	8359	28,2
2017	32139	9897	30,8
2018	36334	12993	35,8
2019	36833	13054	35,4
2020	29465	9817	33,3
2021	28674	10256	35,8

Джерело: складено автором за даними [7]

Дослідження цих показників допомагає, по-перше, оцінити економічну активність підприємств в індустрії гостинності й виявити зміни у сфері зайнятості. По-друге, кількість працівників служить індикатором рівня конкуренції на ринку, а також вказує на якість обслуговування. Крім того, аналіз змін у кількості працівників надає змогу прогнозувати ринкові тенденції і визначати розвиток готельної галузі. Врахування цих факторів дозволяє отримати важливі інсайти щодо стану та перспектив розвитку готельного сектора. Таким чином, в 2020 та 2021 роках спостерігається скорочення зайнятих, це є закономірною відповіддю на скорочення в той же період суб'єктів господарювання відповідного виду діяльності, скорочення виробництва та реалізації готельних послуг після пандемії.

Таким чином, зменшення кількості зайнятих працівників у готелях і подібних закладах розміщення в Україні пояснюється різними причинами. Воно вказує на економічні труднощі та зниження попиту на послуги розміщення, що зв'язано зі зменшення туристичного потоку, зниженням інвестицій у готельну галузь або зміною споживацьких пріоритетів. Скорочення кадрів також є наслідком автоматизації процесів та впровадження нових технологій. Крім того, політична та соціальна нестабільність викликає зменшення кількості зайнятих у готельній галузі. Усі ці фактори впливають на стан готельної галузі в Україні та потребують відповідних стратегій і заходів для збереження і відновлення робочих місць та розвитку галузі в цілому.

Важливим показником, що характеризує сучасний стан готельної індустрії України є показник прибутку до оподаткування готелів і подібних засобів тимчасового розміщення у розрізі регіонів, результати розрахунків за 2020 р. наведено на рис. 8 [7].

У більш стабільному стані соціально-економічної системи України у 2020 р. області, що мають найбільший прибуток, в той же час мають найбільшу кількість суб'єктів господарювання за видом економічної діяльності «готелі й подібні засоби тимчасового розміщення». До таких регіонів відносяться: м. Київ, що має частку у розмірі 79,8% від загального прибутку, частка Одеської області складає 6,2%, Закарпатської області – 3,5%, Львівської – 2,7%. Незважаючи на те, що Полтавська та Запорізька області не є провідними по кількості закладів, вони мають більший прибуток, якій становить 1,4% та 1,2%, відповідно. Дніпропетровська область, яка належить до одного з регіонів, що мають найбільшу кількість закладів розміщення,

має 1% від загального прибутку. В категорію «інші» входять області, що мають частку прибутку менше 0,5%. До таких регіонів відносяться: Хмельницька, Донецька, Івано-Франківська, Миколаївська, Черкаська, Кіровоградська, Київська, Житомирська, Вінницька, Рівненська, Чернівецька області.



Рис. 8. Частка прибутку до оподаткування готелів і подібних засобів розміщування по регіонах в 2020 р.

Джерело: складено автором на основі [7]

Однак, в останні два роки під впливом кризових явищ структура прибутку за регіонами змінилася (рис. 9, 10) [7].

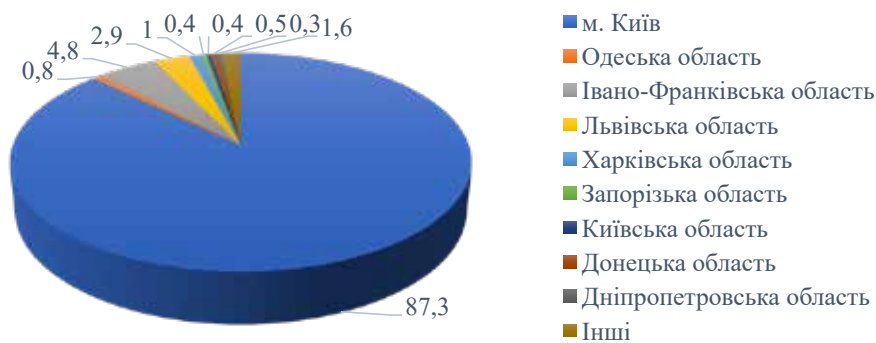


Рис. 9. Частка прибутку до оподаткування готелів і подібних засобів розміщування по регіонах в 2021 р.

Джерело: складено автором на основі [7]



Рис. 10. Частка прибутку до оподаткування готелів і подібних засобів розміщування по регіонах в 2022 р.

Джерело: складено автором на основі [7]

Отже, у 2021 р. відповідно до величини питомої ваги цього показника регіони розташувалися в наступному порядку: м. Київ (87,3%), Івано-Франківська область (4,8%), Львівська область (2,9%), Харківська область (1,0%), Одеська область (0,8%), Київська і Запорізька області (0,4%), Донецька область (0,5%),

Дніпропетровська область (0,3%), інші (1,6%), а у 2022 р. за результатами ранжирування величини прибутку перші вісім місць зайняли: Львівська область (39,8%), м. Київ (14,1%), Закарпатська область (14%), Одеська область (7,2%), Дніпропетровська область (5,1%), Івано-Франківська область (4,8%), Тернопільська область (3,0%), Полтавська область (2,1%), інші регіони (9,9%).

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Аналіз ринку готельних послуг в Україні, показав, що готелі є найпоширенішими об'єктами тимчасового розміщення. На основі оцінки динаміки таких статистичних показників як: кількість готелів й подібних закладів розміщення; кількість осіб, що перебували в КЗР; кількість зайнятих й показники реалізації та виробництва готельних послуг, встановлено від'ємні тенденції їх розвитку в Україні в останні три роки, що пояснюється негативним впливом пандемії COVID-19, політичних та економічних кризових явищ в країні та у світі. В ході дослідження визначено, що такі області як Одеська, Закарпатська, Львівська та м. Київ, мають найбільшу кількість готелів та подібних закладів розміщення, й відповідно більший прибуток від цієї діяльності. Також встановлено зростання ролі індивідуальних підприємців у готельній галузі й напрями їх співпраці з готельними мережами, які передбачають об'єднання ресурсів, знань та інноваційної активності ФОПів для створення нових споживчих пропозицій.

Зростання частки ФОПів у структурі суб'єктів господарювання на ринку готельних послуг пояснюється нескладною процедурою їх реєстрації, нижчими витратами на управління бізнесом, більшою продуктивністю та ефективністю реалізації послуг, гнучкістю у прийнятті рішень, наданням інноваційних послуг і впровадженням нових концепцій, а також необхідністю забезпечення само зайнятості.

Дослідження ринкових умов функціонування готельних підприємств на основі аналізу статистичних даних надає змогу для оцінювання сучасного стану готельного ринку, потенціалу його розвитку. Отримані результати служать підґрунтям для проведення подальших досліджень у напрямку формування стратегій управління розвитком і забезпечення конкурентоспроможності закладів тимчасового розміщення.

Список використаних джерел:

1. Андрушків Б. М., Мельник Л. М. Формування системи бізнес-процесів підприємства у контексті сталого розвитку. *Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності*, 2015. Вип. 2. Т. 1. С. 91–97.
2. Пуцентейло П. Р., Гуменюк О.О. Стратегічний аналіз як важливий елемент управління підприємством. *Інноваційна економіка*. 2016. № 3–4. С. 196–205.
3. Ткаченко А.М., Лелі Ю.Г. Проблеми та перспективи розвитку готельного бізнесу в умовах сьогодення. *Причорноморські економічні студії*. Вип. 12(1), 2016. С. 185–188.
4. Остапенко Я. О. Статистичне забезпечення управління витратами підприємств готельного господарства. *Ефективна економіка*. 2015. № 9. URL : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4293#>
5. Victorino, L., Verma, R., Plaschka, G. & Dev, C. Service innovation and customer choices in the hospitality industry. *Managing Service Quality: An International Journal*, 2015. 15(6). С. 555–576.
6. Михайліченко Г. І. Управління інноваційним розвитком туристичних підприємств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра екон. наук: 08.00.04. Київ, 2014. 20 с.
7. Офіційний сайт Державної служби статистики України, 2023. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
8. Класифікація видів економічної діяльності (КВЕД-2010). URL : https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/kv10_i.html
9. Автоматична реєстрація ФОП в сервісі «Дія» URL : <https://diia.gov.ua/services/reystraciya-fop>.

References:

1. Andrushkiv, B.M., Melnyk, L.M. (2015). Formuvannia systemy biznes-protsesiv pidpriemstva u konteksti staloho rozvytku [Formation of the system of business processes of the enterprise in the context of sustainable development], *Theoretical and practical aspects of economics and intellectual property*, vol. 2, no. 1, pp. 91–97.
2. Putsenteylo, P. R., Humeniuk, O.O. (2016). Stratehichnyy analiz yak vazhlyvyu element upravlinnya pidpryyemstvom [Strategic analysis as an important element of enterprise management]. *Innovatsiyna ekonomika*. no. 3–4. pp. 196–205.
3. Tkachenko A.M., Leli Yu.H. (2016) Problemy ta perspektyvy rozvytku hotel'noho biznesu v umovakh s'ohodennya. [The problems and perspectives of problems and perspectives of hotel business in today's conditions]. *Prychornomors'ki ekonomichni studiyi*. Vypusk. Vol. 12(1), pp. 185–188.
4. Ostapenko, Ya.O. (2015) Statystychne zabezpechennya upravlinnya vytratamy pidpryyemstv hotel'noho hospodarstva [Statistical support for the management of hotel business expenses]. *Efektivna ekonomika*, no. 9. URL : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4293#>
5. Victorino, L., Verma, R., Plaschka, G. & Dev, C. (2015) Innovatsii v sferi posluh i vybir kliientiv v industrii hostynnosti [Service innovation and customer choices in the hospitality industry]. *Managing Service Quality: An International Journal*, no. 15(6), pp. 555–576.

6. Mikhailichenko, G.I. (2014) Management of innovative development of tourist enterprises [Upravlinnya innovatsiynym rozvytkom turystychnykh pidpryyemstv] Abstract of Ph.D. dissertation, Economics Sciences. Kyiv, Ukrainian.

7. Ofitsiynyy sayt Derzhavnoyi sluzhby statystryky Ukrayiny [Official site of Government service of statistics of Ukraine], 2023. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua>.

8. Klasyfikatsiya vydiv ekonomichnoyi diyal'nosti (KVED-2010) [Classification of types of economic activity (KVED-2010)]. URL : https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/kv10_i.html.

9. Avtomatychna reyestratsiya FOP v servisi «Diya» [Automatic registration of FOP in the Diya service]. URL : <https://diia.gov.ua/services/reyestraciya-fop>.

UDC 338:24:640:41(045)

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.17>

Yazina V. A., PhD in Economics,
Department of International Tourism and Hotel
and Restaurant Business
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-8695-3456

Vyshnikina O. V., PhD in Economics, Associate Professor,
Department of International Tourism and Hotel
and Restaurant Business
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0002-3747-2904

Sabirov O. V., PhD in Economics, Associate Professor,
Department of International Tourism and Hotel
and Restaurant Business
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0001-9436-0477

Haponenko S. O., PhD in Economics,
Department of International Tourism and Hotel
and Restaurant Business
University of Customs and Finance
ORCID: 0000-0001-6647-3335

Hurbych N. O., Student
University of Customs and Finance
ORCID: 0009-0004-0810-0740

THEORETICAL FOUNDATIONS OF FOOD SAFETY MANAGEMENT RESEARCH

The article is devoted to the study of food safety management at restaurant enterprises. Improving food safety management at restaurant enterprises involves the use of the latest technologies and standards, as well as taking into account legislative requirements in the field of food safety. The enterprise must have appropriate procedures and instructions for the organization of food quality and safety control, as well as ensuring hygiene in the kitchen and in the restaurant. It is also important to ensure that food safety personnel are properly trained and educated so that they can apply procedures and standards correctly. In addition, the company must use high-quality and verified food suppliers. The concept of food safety was considered and its structural elements were determined. The basic principles of food safety management at restaurant enterprises were established. Relevant modern international organizations, their activities and the importance of influence on food safety are analyzed. The main documents at the state level responsible for regulating food safety have been identified. The main incidents of food safety violations and ways to eliminate them are considered. The relevance of the problem of improving food safety management at restaurant enterprises has been proven. The key problems in the field of food safety at restaurant enterprises were studied and the prospects for the development of food safety at restaurant enterprises were determined. Recommendations for improving food safety management at restaurant enterprises have been developed. Improving food safety management at restaurant enterprises is an important element of ensuring the restaurant's competitiveness and reputation. Customers will be more inclined to choose restaurants that maintain high standards of food quality and safety. The research is relevant in modern conditions, as food safety is becoming an increasingly important problem in the restaurant industry. The global COVID-19 pandemic has exacerbated this problem as people have become more aware of hygiene standards in public places, including restaurants. Ensuring food safety at restaurant enterprises is important not only for the health and safety of customers, but also for the successful operation of the enterprise itself. A restaurant's reputation can be seriously damaged if problems with food quality or safety are discovered.

Key words: international organizations, management, restaurant enterprise, quality standard, food safety.

© V. A. Yazina, O. V. Vyshnikina, O. V. Sabirov, S. O. Haponenko, N. O. Hurbych, 2023

Язіна В. А., Вишнікіна О. В., Сабіров О. В., Гапоненко С. О., Гурбич Н. О. Теоретичні основи дослідження менеджменту харчової безпеки

Стаття присвячена вивченню менеджменту харчової безпеки на підприємствах ресторанного господарства. Було розглянуто поняття харчової безпеки та визначено його структурні елементи. Було встановлено основні принципи менеджменту харчової безпеки на підприємствах ресторанного господарства. Проаналізовано відповідні сучасні міжнародні організації, їх діяльність та важливість впливу на харчову безпеку. Визначено основні документи на державному рівні, що відповідають за регулювання харчовою безпекою. Розглянуто основні інциденти порушення харчової безпеки та шляхи їх усунення. Доведено актуальність проблеми удосконалення менеджменту харчової безпеки на підприємствах ресторанного господарства. Вивчено ключові проблеми у галузі харчової безпеки на підприємствах ресторанного господарства та визначено перспективи розвитку харчової безпеки на підприємствах ресторанного господарства. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення менеджменту харчової безпеки на підприємствах ресторанного господарства. Харчова безпека є дуже важливою для ресторанного господарства та включає в себе правильне зберігання, готування та обробку їжі, щоб уникнути ризику захворювання гостей. Підприємства ресторанного господарства повинні дотримуватись високих стандартів гігієни, перевіряти якість продуктів і контролювати температуру зберігання. Також важливо навчати персонал правилам безпеки їжі та регулярно перевіряти усі процеси, пов'язані з приготуванням та подачею їжі. Забезпечення харчової безпеки допомагає зберегти репутацію закладу, забезпечити задоволення клієнтів та уникнути проблем з органами регулювання щодо санітарних норм. Харчова безпека в закладах ресторанного господарства є критичним аспектом, оскільки вона прямо пов'язана зі здоров'ям та безпекою споживачів. Основні аспекти важливості харчової безпеки включають: здоров'я споживачів, репутація закладу ресторанного господарства, відповідність діючому законодавству, зниження фінансових ризиків, збереження якості продуктів. Для успішного менеджменту харчовою безпекою в закладах ресторанного господарства важливо застосовувати системний підхід.

Ключові слова: міжнародні організації, менеджмент, заклад ресторанного господарства, стандарт якості, харчова безпека.

Formulation of the problem. The problem of food safety is becoming more and more relevant in the restaurant business, as customers expect high quality and safety of food products. To ensure this, restaurant management must use the latest technology and standards, take into account legal requirements and have procedures and instructions for quality control and food safety. It is also important to train staff and use proven product suppliers. Ensuring food safety is important for a restaurant's competitiveness and reputation, and the global COVID-19 pandemic has heightened attention to hygiene standards. The successful operation of a restaurant depends on ensuring the quality and safety of food products.

Analysis of the latest research. Among the scientists who studied the issue of food safety in the restaurant industry, it is worth highlighting such scientists as T. Afanasyeva [1], Yu. Basova, I. Bezborodko, A. Borodai [3], S. Belyaeva [2], L. Byshovets, O. Davydova [4], O. Ivanishcheva, O. Zapototska [6], O. Kamushkov, O. Kurakin, A. Mostova [7], Yu. Nakonechna, T. Overkovska [8].

The purpose of the article. The purpose of this work is the analysis of food safety management of restaurant enterprises, assessment of domestic and international food safety standards, and justification of proposals for improving food safety management at restaurant enterprises.

Presenting main material. The main structural elements of food security (fig. 1).

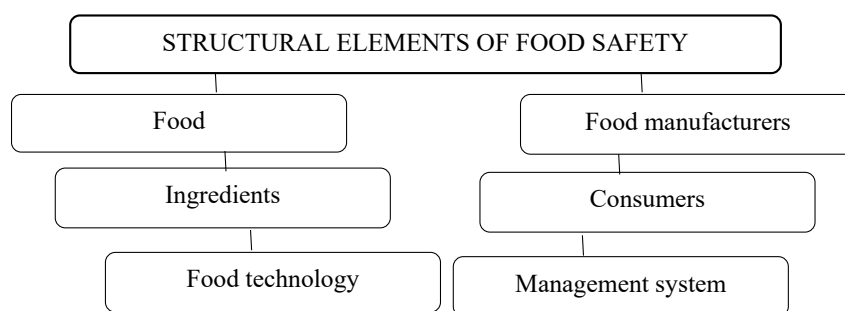


Fig. 1. The main structural elements of food security

Source: compiled by the author [2]

Structural elements of food safety are characterized by the following provisions [1]:

1. Physical access to adequate food products, which is ensured by the availability and sufficiency of food products [1].

2. Economic access to adequate food products, which means the availability of food products at reasonable prices [1].

3. Social access to adequate food products, which is ensured by equal access to food products for all people regardless of their social position [1].

4. Reliability of food products, which means the absence of harmful substances and microorganisms that can cause human disease [1].

5. Quality of food products, which covers taste and dietary properties of products, their nutritional value and compliance with quality standards [1].

For a reasonable understanding of structural elements, it is necessary to analyze them in more detail.

Physical access to adequate food means being able to obtain sufficient quantities of safe and nutritious food. To ensure physical access to food products, it is necessary to have the availability of products in markets, supermarkets, restaurants, cafes, shops and other places.

One of the main aspects of physical access is the availability of sufficient food to meet the needs of consumers. The availability of products depends on the efficiency of the system of production, storage and transportation of products. Also an important factor is the availability of products for people with different physical abilities, for example, for people with limited mobility or with certain dietary restrictions.

To ensure food sufficiency, it is necessary to have a sufficient amount of food for the population in each region and to comply with the requirements of the national program for providing the population with food products. This may require proper planning of production and import of products, increased production volumes, increased efficiency of transportation and storage of products.

Elements of physical access to adequate food also include the availability of food at reasonable prices, allowing more people to have access to adequate food. It is also important to ensure physical access to food products in case of extreme situations, such as natural disasters, wars or other crisis situations.

In order to ensure physical access to adequate food products, it is also important to ensure proper storage and transportation of products so that they do not spoil and become unsafe for consumption. In this context, it is important to ensure proper conditions in all links of product supply – from the producer to the final consumer [3].

Economic access to adequate food means the ability of people to have sufficient access to the food they need that is safe, nutritious and healthy at affordable prices. This is an important issue for many people around the world, especially in low-income countries.

One of the most important organizations dealing with issues of food availability and quality is the World Health Organization (WHO) [12]. WHO works to improve economic access to food, in particular, by developing national nutrition programs, improving the monitoring and evaluation system of food quality, promoting the development of food markets, and supporting the development of local and national food supply systems.

In addition to WHO, there are other organizations that deal with the problems of availability and quality of nutrition, in particular, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) [10], UNICEF (United Nations Children's Fund) [11], UN Women and others.

In addition, many countries and local governments are developing and implementing various programs and initiatives to ensure affordable access to adequate food products for their citizens. Such programs may include various measures, such as food subsidies for the most vulnerable population groups, support for small and medium-sized businesses in the food sector, development of infrastructure to ensure the supply of fresh and healthy food, support for local production and entrepreneurship in the field of agriculture and other.

In addition, it is important to pay attention to the impact of international trade and globalization on economic access to food products. Often, an increase in world trade can lead to changes in the production and supply of food products, which can affect the prices and availability of these products in different countries.

In this context, the World Trade Organization (WTO) plays an important role in solving the problems of economic access to food products by promoting free trade and developing trade rules that ensure a balance between the economic and social interests of different countries. The main goals of the WTO are shown in fig. 2.

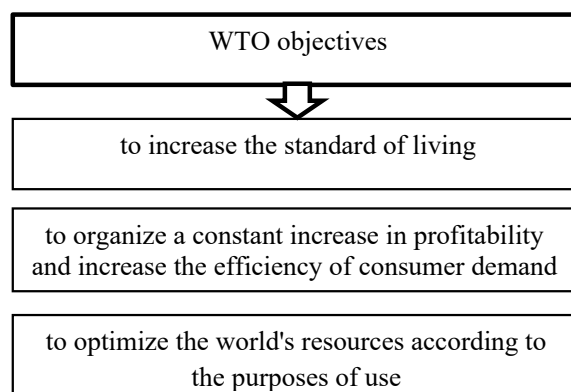


Fig. 2. The main goals of the World Trade Organization

Source: compiled by the author [4]

Food safety is an extremely important aspect of ensuring the proper standard of living and health of the population. It means that food products must be free from harmful substances and microorganisms that can cause human disease, and must meet established standards and requirements [4].

Ensuring the safety of food products requires compliance with a number of standards and procedures aimed at preventing the contamination of food products with harmful substances and microorganisms. Such procedures include the use of safe methods of food production, transportation and storage, as well as food quality control at all stages of production and distribution.

National and international food safety organizations such as the FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) and the World Health Organization (WHO) develop and set food safety standards that help ensure food safety worldwide. In addition, government regulatory and supervisory bodies establish rules and regulations that aim to ensure food safety at the local level.

One of the aspects of food safety is their impact on the environment and ecology. During the creation, delivery and storage of food, various chemicals and other materials can be used that can have a negative impact on the environment. For example, the use of pesticides and other chemical means of plant protection can lead to soil and water pollution, which can negatively affect ecosystems and human health.

Therefore, an important aspect of food safety is their impact on the environment and the development of environmental policy in the food industry. The development of a green economy and ecological production practices can help ensure food safety and reduce their negative impact on the environment.

In addition, the issue of food safety is related to the problem of global food processing and transportation. Often, food grown in one country is processed and transported to other countries, which can create additional food safety issues [5]. In particular, such a process can lead to the contamination of food with harmful substances, as well as increase the risk of spreading diseases through infections and diseases [1]. The purpose and functions of the World Health Organization (WHO) are indicated in fig. 3.

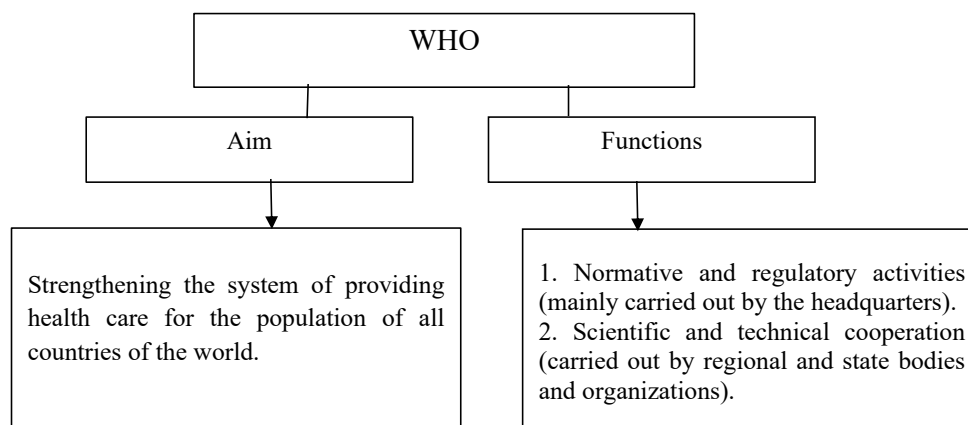


Fig. 3. Purpose and functions of WHO

Source: compiled by the author [5]

The principles of food safety management cover the entire life cycle of food products, starting with the raw material supply stage and ending with the consumption stage (figure 4). This cycle covers the processes from the creation of a product to its removal from the market, including such stages as production, processing, transportation, storage and sale. The importance of each stage in the food processing industry to ensure the safety and quality of the product requires systematic integration and consideration of risks, taking into account scientific research and evidence:

1. Product development: this stage includes concept definition, formulation and formulation development, research and packaging development.
2. Production: this stage includes purchasing raw materials, manufacturing the product, its packaging and labeling.
3. The distribution stage includes the distribution of the product through the distribution network to retail outlets and other establishments where consumers can purchase it.
4. Implementation and use: this stage includes the sale of the product and its use by consumers.
5. Withdrawal from the market: This step involves withdrawing the product from the market if safety or quality issues are identified.

The life cycle of food products is important for ensuring the safety of food products, because at each stage there may be risks of contamination of the product, which can negatively affect the health of consumers [6]. Product life cycle management includes the development and implementation of quality control procedures, ensuring

product safety and monitoring risks at each stage. The main principles of food safety management and their characteristics are shown in fig. 5.

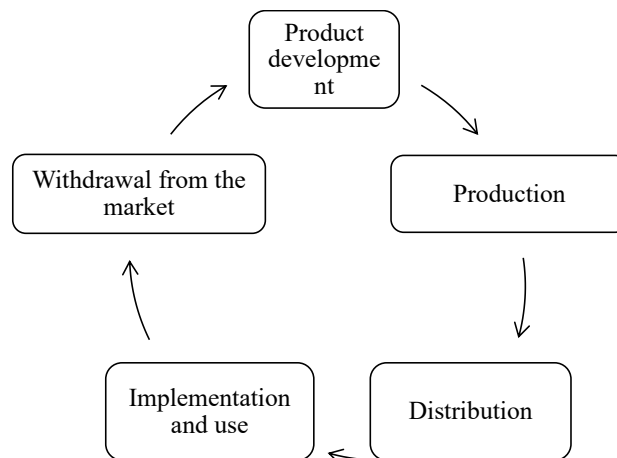


Fig. 4. Life cycle of food products

Source: compiled by the author [6]

These principles are designed to ensure a high level of food safety at all stages of the food life cycle and to increase consumer confidence in food products.

However, the general principles of restaurant management usually include the following aspects, which are depicted in fig. 6.

In accordance with the requirements of the SOD, the following principles should also be noted:

1. The enterprise must ensure the availability and sufficiency of food products, as well as ensure the safety of the products produced.

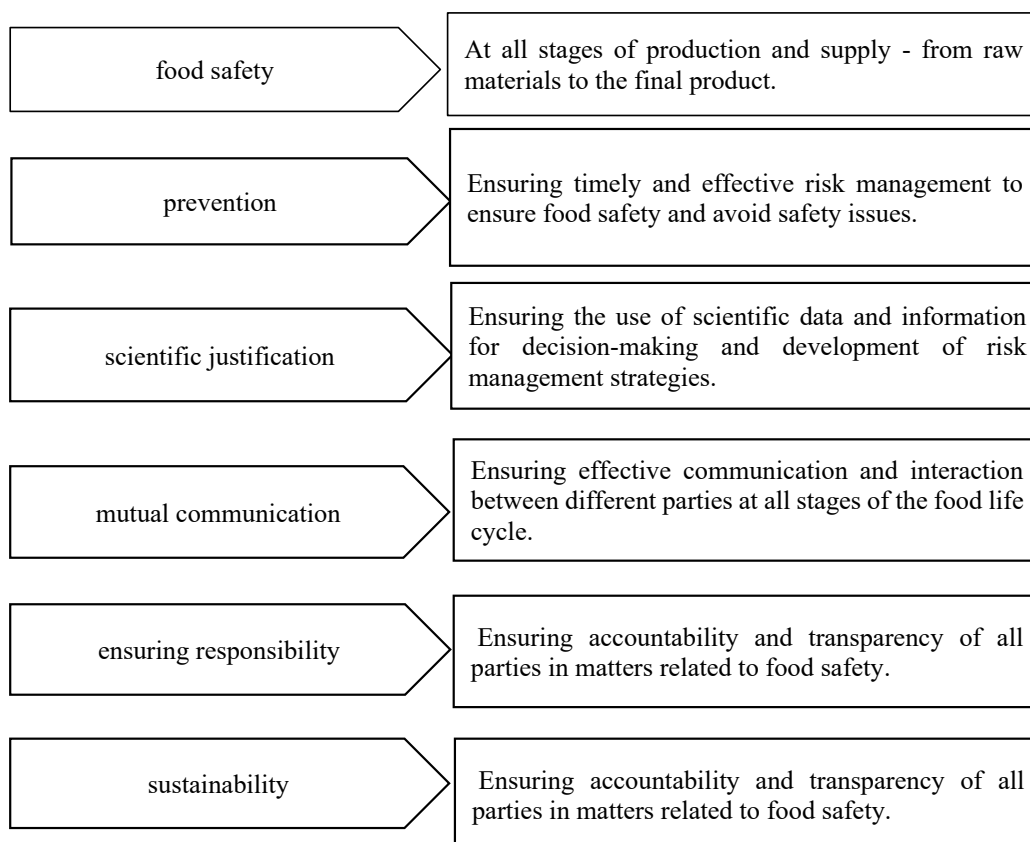


Fig. 5. Basic principles of management

Source: compiled by the author [7; 8]

2. The enterprise must develop and implement a food safety management system, including product quality control procedures, relevant documentation and personnel training.

3. The enterprise must monitor all stages of production and storage of food products, from the beginning of the supply of raw materials to the end of sale.

4. The enterprise must ensure thorough control of all types of possible food safety risks, including physical, biological and chemical risks.

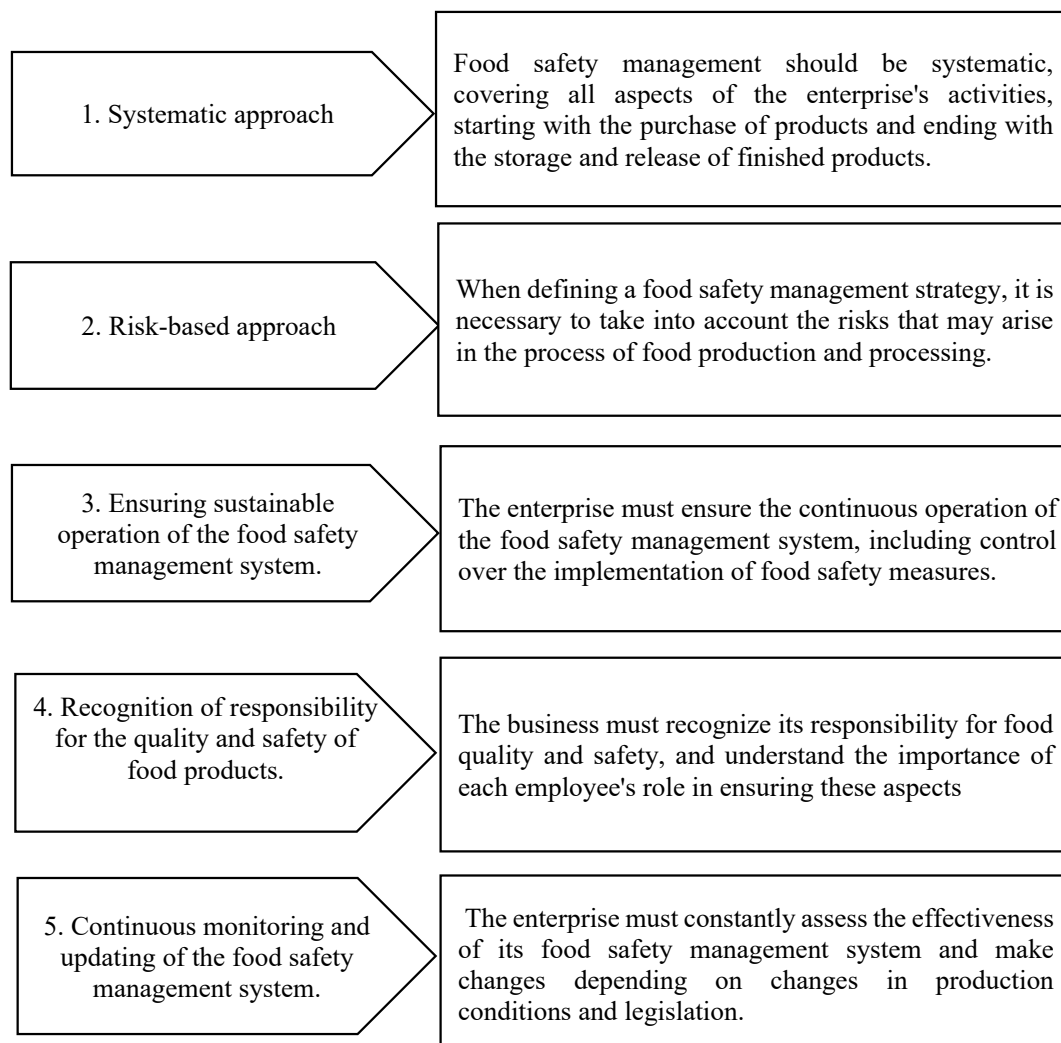


Fig. 6. Principles of food safety management in the restaurant industry

Source: compiled by the author [13]

5. The enterprise must develop and implement a system of monitoring and assessment of food safety risks, including analysis of potential risks and assessment of the impact on consumer health.

6. The enterprise must establish quality and safety standards for food products that meet national and international regulatory requirements.

7. The enterprise must ensure planning and management of waste generated during the production and storage of food products to ensure appropriate treatment and disposal of the relevant waste.

The implementation of food safety management principles helps to ensure the efficiency of the operation of restaurant enterprises, to reduce costs for the production and sale of food products, as well as to increase consumer confidence in the quality and safety of food products, which in turn ensures the growth of the enterprise's profit and increases its competitiveness on the domestic market. In addition, compliance with food safety management principles is necessary to meet legal requirements for food safety and quality. Failure to comply with food safety requirements can have serious consequences, such as fines, product recalls, lawsuits and loss of consumer confidence. For enterprises involved in the preparation of food, compliance with the principles of food safety management is particularly important. They have a great responsibility to ensure the safety and quality of the products they use in their work and serve to their customers. In addition, compliance with the principles of food safety management

contributes to the creation of a positive image of the enterprise, which ensures the attraction of new customers and the preservation of existing ones.

In Ukraine, state control over compliance with food safety requirements is carried out by the State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection (State Consumer Protection Service). In addition, compliance with the principles of food safety management can be checked by other regulatory bodies, such as the State Fiscal Service, the State Environmental Inspection, etc.

Administrative, civil and criminal responsibilities are provided for non-compliance with food safety requirements, depending on the severity of the violation.

Violation of legislation on product safety and quality may result in fines established by law. For example, in Ukraine, according to the Code of Ukraine on Administrative Offenses, fines for violating product safety requirements can range from 1,700 to 5,100 hryvnias. In addition, for some food safety violations that may cause serious consequences for the health of consumers, criminal sanctions for restaurant enterprises may be provided, such as imprisonment or the deprivation of a license to conduct a restaurant activity.

The problem of improving food safety management at restaurant enterprises is relevant from various angles.

On the one hand, it is a matter of ensuring the safety and health of customers who visit restaurants and other public catering establishments. Failure to comply with food safety requirements can lead to the spread of infectious diseases and other health problems. Such cases can negatively affect the company's reputation and lead to a loss of customer trust.

Also, the problem of improving food safety management at restaurant enterprises is relevant from a legal point of view. Ukrainian legislation provides requirements for food safety and establishes responsibility for their violation. Therefore, restaurant enterprises must comply with these requirements and ensure a high level of food safety in their establishments.

Due to the growing popularity of the food industry and increased competition in the restaurant market, enterprises began to pay more attention to food safety issues. Also, standards and requirements for product quality are changing, which poses new challenges to restaurants in terms of compliance with food safety standards. In addition, non-compliance with food safety principles can lead to serious consequences for the health of customers, which can lead to complaints and negative feedback, which in turn can affect the company's reputation and profitability. Despite this, legislation in the field of food safety is constantly changing, which may lead to the need for constant adaptation and improvement of food safety management systems at restaurant enterprises.

The statistics of food safety violations in restaurants in Ukraine in recent years has been quite high, which indicates the need to improve food safety management at enterprises in this field. The relevant state authorities are taking measures to reduce the number of violations and increase the level of food safety at restaurant enterprises. Some organizations, such as the WHO and the WHO European Office for Food Safety and Health (WHO/Europe), publish reports on the state of food security in various countries around the world. Below it is proposed to consider which organizations deal with the issue of food safety (fig. 7).

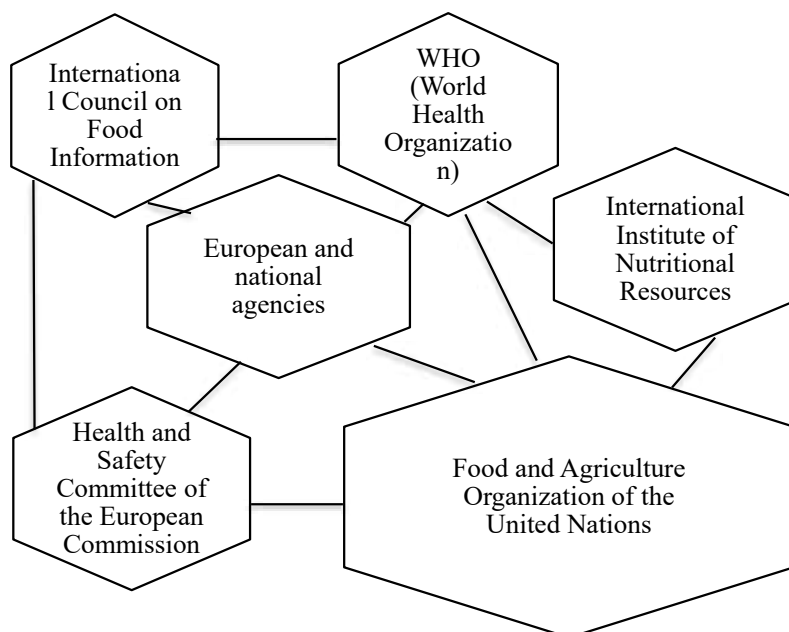


Fig. 7. International food safety organizations

Source: compiled by the author [9]

From the reports of international organizations on food safety, it is possible to draw conclusions about the state of food safety in the restaurant industry in individual countries.

According to WHO/Europe, more than 5,000 cases of food incidents related to restaurants were registered in the countries of the European Union during 2022 [9]. The main incidents of food safety violations are shown in fig. 8.

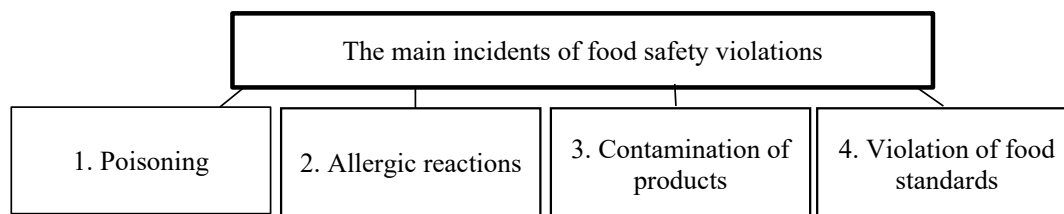


Fig. 8. Main incidents of food safety violations

Source: compiled by the author [9]

These incidents included cases of poisoning, allergic reactions, contamination of products and violations of food standards, which negatively affect the further activities of the restaurant business and create a negative image among competitors and customers.

In the world, there are serious problems with food safety at enterprises of the restaurant industry. Thus, 1–2 deaths and several serious cases of food poisoning are registered in the USA every year, which were related to restaurants.

Conclusion. The problem of improving food safety management at restaurant enterprises is relevant both in Ukraine and in other countries of the world. Ukraine, like many other countries, faces a significant number of food safety violations in restaurants. This may be due to insufficient control by the authorities, insufficient qualifications of industry workers, as well as a lack of awareness among consumers regarding food safety issues.

Since the restaurant business is quite popular and widespread, problems with food safety can have serious consequences for the health of consumers and negatively affect the image of the restaurant or the country as a whole. Therefore, improving food safety management at restaurant enterprises is an extremely important task to ensure safety and meet consumer needs.

According to the conducted research, the concept of food safety and its structural elements were defined. The main principles of food safety management, which are key to ensuring food safety and quality, were described. The relevance of the problem of improving food safety management, which is of great importance for ensuring safe and high-quality food products, was proven on the example of the restaurant industry. Therefore, restaurant enterprises must adhere to the principles of food safety management in order to ensure high quality and safety of food products for their customers.

So, it can be concluded that the problem of food safety in restaurants remains relevant both in Ukraine and in other countries of the world, and requires constant control and improvement of food safety management.

Bibliography:

1. Афанасьєва Т. В., Садуллах О. Проблеми та перспективи впровадження системи HACCP в закладах ресторанного господарства. *Зміни харчового законодавства в Україні відповідно до вимог ЄС* : праці І між-нар. наук.-практ. конф., м. Харків, 15 груд. 2020. С. 21–22.
2. Беляєва С. С., Бишовець Л. Г., Куракін О. Б. Нормативно-правове регулювання безпечності та якості харчових продуктів в Україні в сучасних умовах. *Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: збірник наукових праць ХДУХТ*. Харків, 2020. С. 257–268.
3. Бородай А. Б., Басова Ю. О., Наконечна Ю. Г. Сучасні тенденції у сфері харчової безпеки. *Економічний, організаційний та правовий механізм підтримки і розвитку підприємництва* : колект. монографія. Полтава, 2021. С. 212–221.
4. Давидова О.Ю. Управління якістю продукції та послуг у готельно-ресторанному господарстві : підручник / ред. І. Іванченко. Харків, 2018. 488 с.
5. ДСТУ ISO 45001:2019. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004
6. Запотоцька О.В. Поняття засобів публічного адміністрування у сфері безпечності та якості харчової продукції. *Актуальні проблеми вітчизняної юриспруденції*. 2018. Вип. 4. С. 112–115.
7. Мостова А. Д. Зарубіжний досвід державного регулювання забезпечення продовольчої безпеки. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2019. Т. 2, № 26. С. 7–14.
8. Оверковська Т.К. Правове регулювання безпечності продуктів харчування. *Підприємство, господарство і право*. 2018. № 4 (63–64). С. 109–114.

-
9. Development, implementation, certification of HACCP system. URL: <https://center-ltd.com.ua/en/development-implementation-certification-of-haccp-system/>
 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/home/en>
 11. United Nations Children's Fund. URL: <https://www.unicef.org/>
 12. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/>
 13. 8 steps to build a strong Food Safety Management System. URL: <https://www.navitassafety.com/food-safety-management-system-guide/>

References:

1. Afanasieva T. V., Sadullah O. (2020). Problemy ta perspektyvy vprovadzhennia systemy HACCP v zakladakh restorannoho hospodarstva [Problems and prospects of implementing the HACCP system in restaurants]. Changes in food legislation in Ukraine in accordance with the requirements of the EU: pr. 1st international. science and practice conference, Kharkiv, pp. 21–22.
2. Bieliaieva S. S., Byshovets L. H., Kurakin O. B. (2020). Normatyvno-pravove rehuliuвання bezpechnosti ta yakosti kharchovykh produktiv v Ukraini v suchasnykh umovakh [Regulatory regulation of the safety and quality of food products in Ukraine in modern conditions]. Economic strategy and prospects for the development of trade and services: a collection of scientific works of KhDUHT. Kharkiv, pp. 257–268.
3. Borodai A. B., Basova Y. O., Nakonechna Y. H. (2021). Suchasni tendentsii u sferi kharchovoi bezpeky [Modern trends in food safety]. Economic, organizational and legal mechanism of support and development of entrepreneurship: collection. monograph. Poltava, pp. 212–221.
4. Davydova O.I. (2018). Upravlinnia yakistiu produktsii ta posluh u hotelno-restorannomu hospodarstvi : pidruchnyk [Management of the quality of products and services in the hotel and restaurant industry: a textbook]. Management of the quality of products and services in the hotel and restaurant industry: textbook / editor. I. Ivanchenko. Kharkiv, 488 p.
5. DSTU ISO 45001:2019. (Ukraine). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004
6. Zapototska O.V. (2018). Poniattia zasobiv publichnoho administruvannia u sferi bezpechnosti ta yakosti kharchovoi produktsii [The concept of means of public administration in the field of safety and quality of food products]. Actual problems of domestic jurisprudence. Issue 4. pp. 112–115.
7. Mostova A. D. (2019). Zarubizhnyi dosvid derzhavnogo rehuliuвання zabezpechennia prodovolchoi bezpeky [Foreign experience of state regulation of food safety]. Scientific bulletin of Uzhhorod National University: series: International economic relations and world economy. Vol. 2, No. 26. pp. 7–14.
8. Overkovska T.K. (2018). Pravove rehuliuвання bezpeky produktiv kharchuvannia [Legal regulation of food safety]. Enterprise, economy and law. No. 4 (63–64). pp. 109–114.
9. Development, implementation, certification of HACCP system. URL: <https://center-ltd.com.ua/en/development-implementation-certification-of-haccp-system/>
10. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/home/en>
11. United Nations Children's Fund. URL: <https://www.unicef.org/>
12. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/>
13. 8 steps to build a strong Food Safety Management System. URL: <https://www.navitassafety.com/food-safety-management-system-guide/>

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 не вирішені 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 пропонується 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 окремих 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 пропонується 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 (категорія Б)
- 122 – Комп'ютерні науки (категорія Б)
- 123 – Комп'ютерна інженерія (категорія Б)
- 125 – Кібербезпека та захист інформації (категорія Б)
- 275 – Транспортні технології (за видами) (категорія Б)
- 172 – Телекомунікації та радіотехніка (категорія Б)
- 255 – озброєння та військова техніка (категорія Б)
- 241 – Готельно-ресторанна справа

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.