

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ**  
“Передові технології в інформаційно-  
комунікаційній інженерії”  
(ATICE'2023)

Одеса, Україна, 18 липня 2023 р.

Матеріали конференції

Одеса

---

2023

**INTERNATIONAL CONFERENCE**  
**“Advanced Technology in Information and**  
**Communication Engineering”**  
**(ATICE’2023)**

**Odesa, Ukraine, July 18, 2023**

**Conference Proceedings**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ  
В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ  
ІНЖЕНЕРІЇ  
МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**Одеса, Україна, 17-20 липня 2023 р.**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
INTERNATIONAL HUMANITARIAN UNIVERSITY**

**International Conference “Advanced Technology  
in Information and Communication Engineering”  
(ATICE’2023)**

**Odesa, Ukraine, July 17-20, 2023**

**Conference Proceedings**

**Odesa  
2023**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Міжнародна конференція «Передові технології  
в інформаційно-комунікаційній інженерії»  
(ПТІКІ'2023)**

**Одеса, Україна, 17-20 липня 2023 р.**

**Матеріали конференції**

**Одеса  
2023**

International Conference “Advanced Technology in Information and Communication Engineering” (ATICE’2023): Conference Proceedings. Odesa : International humanitarian university, 2023, : Bondarenko M. O., 2023. – 102 p.

**Міжнародна конференція «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» (ATICE’2023).** Матеріали конференції/Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, 2023 : Бондаренко М.О., 2023. – 102 с.

ISBN 978-617-8327-06-4

Збірка містить праці Міжнародної конференції з інформаційних систем, технологій захисту інформації, використання сучасних інформаційних технологій в управлінні системами за різними галузями народного господарства.

*Матеріали публікуються в авторській редакції.*

ISBN 978-617-8327-06-4

#### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

##### **Голова**

КІВАЛОВ С.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

##### **Співголови**

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

##### **Члени організаційного комітету**

БЕРКМАН Л.Н. – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, м.Київ, Україна.

КЛИМАШ М.М. – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна.

ЛЕМЕСЬКО А. В. – д.т.н., проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РИХЛІК А. – к.т.н., Лодзький технічний університет, м.Лодзь, Польща

СІМЕНС Е. – д.т.н., проф., Анхальтський університет прикладних наук, м.Кетен, Німеччина.

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СУНДУЧКОВ К.С. – д.т.н., проф., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

### **РЕДАКЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

### **КОМІТЕТ МІЖНАРОДНИХ ЗВ'ЯЗКІВ**

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГЛОБА Л. С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

### **ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР**

СЕМЕНКО А.І. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

### **СЕКРЕТАР**

ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

### **ТЕХНІЧНО-ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ**

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

## **СЕКЦІЇ**

### **СЕКЦІЯ 1. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНФОРМАТИКА**

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

АЛЕКСЕЄВ М.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро, Україна.

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

### **СЕКЦІЯ 2. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА КІБЕРПСИХОЛОГІЯ**

ЛУНТОВСЬКИЙ А.О. – д.т.н., проф., Державна академія Саксонії «Беруфсакадемія», м. Дрезден, Німеччина.

ЄРЕМЕНКО О.С. – д.т.н., проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

ЛЕФТЕРОВ В.О. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна .

МАНЬКО Д.Г. – д.ю.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

### **СЕКЦІЯ 3. ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА**

КЛИМАШ М.М. – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна.

ЛЕМЕШКО А.В. – д.т.н., проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.



**ВІТАЛЬНЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА  
МІЖНАРОДНОГО ГУМАНІТАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
СЕРГІЯ ВАСИЛЬОВИЧА КІВАЛОВА**

Вельмишановні учасники Міжнародної наукової-практичної конференції «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії»!

Від свого імені та всього колективу Міжнародного гуманітарного університету вітаю всіх учасників з визначною для наукової спільноти університету подією!

Ми проводимо конференцію «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» для обговорення нагальних та важливих проблем в галузі інфокомунікацій, інформаційних технологій, кібербезпеки та ІТ-права, які сьогодні постали перед Україною та світом та потребують уваги й якнайшвидшого та ефективного вирішення.

Незважаючи на складні випробування, з якими стикається Україна, ми продовжуємо боротися й зберігаємо єдність. У ті часи, коли наші захисники боронять Україну, керівництво, науково-педагогічні працівники та здобувачі вищої освіти Міжнародного гуманітарного університету продовжують плідно працювати та навчатися, забезпечуючи неперервний навчальний та науковий процеси. Конференція зібрала представників стейкхолдерів, фахівців галузі інфокомунікацій, ІТ-галузі, галузі кібербезпеки та представники різних навчальних закладів, як з України, так і країн Європи.

Щиро вітаю усіх учасників конференції – визнаних дослідників та молодих вчених, магістрів та бакалаврів, які роблять свої перші кроки в науковому середовищі. Бажаю плідної та успішної роботи над дослідженнями, нових ідей та цікавих наукових дискусій, натхнення та наснаги. Вірю, що науковці успішно впораються з поточними викликами, а головні досягнення ще попереду.

Безмежна і щира вдячність нашим військовослужбовцям, науковим, практичним та науково-педагогічним працівникам за внесок у розвиток науки й Університету та зміцнення обороноздатності України. Віримо в Перемогу, встановлення миру та наближаємо їх спільними зусиллями!

**Сергій КІВАЛОВ,**  
Президент Міжнародного гуманітарного  
Університету,  
академік,  
доктор юридичних наук, професор,  
Заслужений юрист України,  
Почесний громадянин міста Одеса

**ВІТАЛЬНЕ СЛОВО РЕКТОРА  
МІЖНАРОДНОГО ГУМАНІТАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КОСТЯНТИНА ВІКТОРОВИЧА ГРОМОВЕНКО**

Щиро вітаю учасників Міжнародної наукової-практичної конференції «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії»!

В 2022 році в університеті організовано Факультет кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук, який об'єднав спільноту науковців та студентів в галузі інфокомунікацій, інформаційних технологій, комп'ютерних наук та кібербезпеки.

Конференція «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» є першим значущим заходом для викладачів та студентів. Цьогоріч конференція відбувається в умовах жорстокої війни, але ми віримо у майбутнє, живемо майбутнім, продовжуємо боротися й зберігаємо єдність.

Конференція дає можливість обговорити актуальні виклики та проблеми інфокомунікацій, інформаційних технологій та кібербезпеки. Впевнений, що конструктивне спілкування професіоналів у рамках конференції буде сприяти успішному пошуку нових ідей в науковій і практичній діяльності, зміцненню взаємодії та взаєморозуміння, плідної співпраці та нових успіхів!

Упевнений, що на конференції прозвучить велика кількість цікавих та оригінальних доповідей і ми почуємо нові імена молодих талантів, яким завдяки наполегливій праці, накопиченим знанням і прагненню до самовдосконалення вдасться приєднатися до спільноти видатних представників наукової спільноти.

Вдячні Збройним силам України, віримо в Перемогу, наближаємо її разом!

Бажаю вам приємного та результативного наукового спілкування, творчих успіхів, здоров'я, миру і добра!

**Костянтин ГРОМОВЕНКО,**  
Ректор Міжнародного гуманітарного  
університету  
доктор юридичних наук, професор,  
Заслужений юрист України

## ЗМІСТ

<b>СЕКЦІЯ 1. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНФОРМАТИКА.....</b>	<b>11</b>
Brylliantova Anastasiia. Software implementation of air quality indicator forecasting.....	11
Viktoriia Volodymyrivna Tkach. Comparative analysis of feature selection methods for heart disease diagnosis using machine learning algorithms.....	14
Шабатура Костянтин Вікторович. Вибір програмного забезпечення для організації дистанційного навчання при підготовці фахівців з інформаційних технологій.....	18
Стрелковська І.В., Соловська І.М., Снігур Н., Малюга В. Параметричні сплайни в 3D-моделюванні.....	22
Слатвінська Валерія Миколаївна. Аналіз використання змінних середовища в конфігураційних файлах APACHE2.....	26
Курюкін Ілля Сергійович, Баришовець Артем Олександрович. Віртуальна лабораторія для дослідження нейронних мереж.....	28
Прокоп Юлія Віталіївна, Клімішина Ірина Вікторівна. Використання GPT для автоматичного оцінювання стилю коду студентів.....	30
Andriy Luntovskyy. Integration aspects between advanced networking and modern AI tools.....	34
Філін Олег Васильович. Розрахунок в програмному комплексі ansys з використанням моделі імпортованої з «Autodesk 3Ds Max».....	42
<b>СЕКЦІЯ 2. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА КІБЕРПСИХОЛОГІЯ.....</b>	<b>45</b>
Григор'єва Т.І., Йона Л.Г., Мазур Г.Д., Кравченко І.А. Захист конфіденційної інформації шляхом шифрування на основі тензорних методів.....	45
Щур Наталія Олександрівна. Огляд протоколів та сервісів наскрізного шифрування	49
Andrii Shpilkin. Psychology of cyberspace. Social media advantage for threat actors.....	51

Манько Денис Григорович. ІТ-право як компонент гармонії реального та віртуального світу.....	54
<b>СЕКЦІЯ 3. ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА.....</b>	<b>57</b>
Лемешко О.В., Єременко О.С., Лемешко В.О., Персіков М.А. Ієрархічний метод дворівневого управління чергами пакетів на маршрутизаторах, заснований на класах.....	57
Уривський Л.О., Шмігель Б.О. Перспективи використання обладнання за стандартом 802.11.xx для організації радіозв'язку на значні відстані.....	61
Стрелковська І.В., Золотухін Р.В., Паскаленко В.М. Дослідження характеристик аудіотрафіку в низькошвидкісних мережах зв'язку.....	67
Стрелковська І.В., Соловська І.М., Стрелковська Ю.О. Використання методів сплайн-функцій в телекомунікаційних та інформаційних технологіях.....	70
Лановський М.О., Гура В.І. Практичне застосування технологій інтернету речей для дистанційного моніторингу температурного режиму харчових продуктів.....	79
Педяш В.В., Мазур Г.Д. Визначення оптимальних характеристик сигналу ВОСП з поляризаційним мультиплексуванням.....	82
Русу Олександр Петрович. Визначення перетворювальної потужності імпульсних перетворювачів електричної енергії.....	85
Розенвассер Д.М., Дерев'янка А.К. Оцінка інформаційної ефективності глобальної супутникової системи Starlink.....	90
Amal Mersni, Piyas Arroub. Simulation-based evaluation of load balancing implementation in enterprise networks using EIGRP and OSPF routing protocols.....	93
Mikhailo V. Rozhnovskiy, Irina Yu. Rozhnovskaya. Application of machine learning method in massive mimo antenna technologies.....	98

## SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AIR QUALITY INDICATOR FORECASTING

***Abstract.** The theses delve into the matter of the significance of monitoring air quality indicators. They provide an account of an algorithm designed to make short-term predictions using time series and air pollution values. The conclusion outlines the metrics and data used to assess the algorithm's performance.*

### Introduction

Addressing the issue of air pollution levels is a worldwide concern. Prolonged exposure to regions with air quality indicators that fall below acceptable values, as established by the Environmental Protection Agency, leads to increased morbidity rates and detrimental effects on various bodily systems. Furthermore, amidst the respiratory diseases, air pollution can further exacerbate the progression of the disease [1].

Air pollution stands as the second primary cause of noncommunicable disease (NCD) deaths, following tobacco smoking. In 2018, both household and outdoor air pollution were recognized as risk factors for NCDs, alongside unhealthy diets, tobacco smoking, excessive alcohol consumption, and physical inactivity. On a global scale, the combination of household and ambient air pollution results in 7 million premature deaths annually, with over 5 million attributed to NCDs (data from 2016) [2]. Hence, the analysis and prediction of short-term pollution play a role in potentially saving numerous lives.

The research will primarily concentrate on solid particle air pollution, specifically small particles. This selection is based on the accessibility of data pertaining to this type of pollution, which can be challenging to filter. Furthermore, even short-term exposure to such pollution has been linked to severe cardiovascular diseases, with asthma being particularly affected. To achieve this, the Random Forest algorithm has been enhanced for short-term forecasting of air quality indicators using time series data. To train the model, a dataset comprising air pollution indicators such as PM10, PM2.5 particles, air humidity, temperature values, and corresponding timestamps was utilized.

The functionality of applications that utilize the air quality index (AQI) indicator is presently limited to displaying the current AQI reading and providing real-time updates while the user actively employs the service. The objective of this study is to enhance the automation of the air quality indicator forecasting system through the implementation of machine learning techniques. This aims to simplify the air monitoring process, ultimately enabling timely notifications to individuals sensitive to such pollution, including children, the elderly, and individuals with heart conditions, asthma, and other respiratory diseases.

### Algorithm

Prior to commencing work on the software application, it is essential to gather data using the developed module. It is important to note that the closer the time interval between data entry and the forecast time, the more precise the results will be. There are discrepancies between the actual and predicted values but remains within the same level of assessment of the air quality indicator, according to the US-EPA 2016 standard.

Moreover, the results obtained are influenced by the environmental conditions during data collection from the station. Due to the presence of potential external factors, the data may vary significantly across different time intervals.

To evaluate the algorithm's performance, metrics such as  $R^2$  (1), MAE (2), MSE (3), RMSE (4) were computed and presented in Table 1, and a graphical representation illustrating the parameter importance for this model was constructed [5].

$$R^2 = 1 - \frac{v(y|x)}{v(y)} = 1 - \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad (1)$$

Where  $V(y|x) = \partial^2$  – conditional variance of the dependent variable.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n}, \quad (2)$$

Where

- $x_i$  – observed value,
- $y_i$  – predicted value,
- $n$  – number of observations,
- $e_i$  – arithmetic mean of absolute errors.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \widehat{Y}_i)^2, \quad (3)$$

Where

- $y_i$  – observed value,
- $\hat{y}_i$  – corresponding predicted value,
- $n$  – number of observations.

$$RMSE = \sqrt{MAE}, \quad (4)$$

### Evaluation of results

It is presented in the form of graphs comparing the actual and predicted value of AQI, measured within a day with an interval of 8 hours.

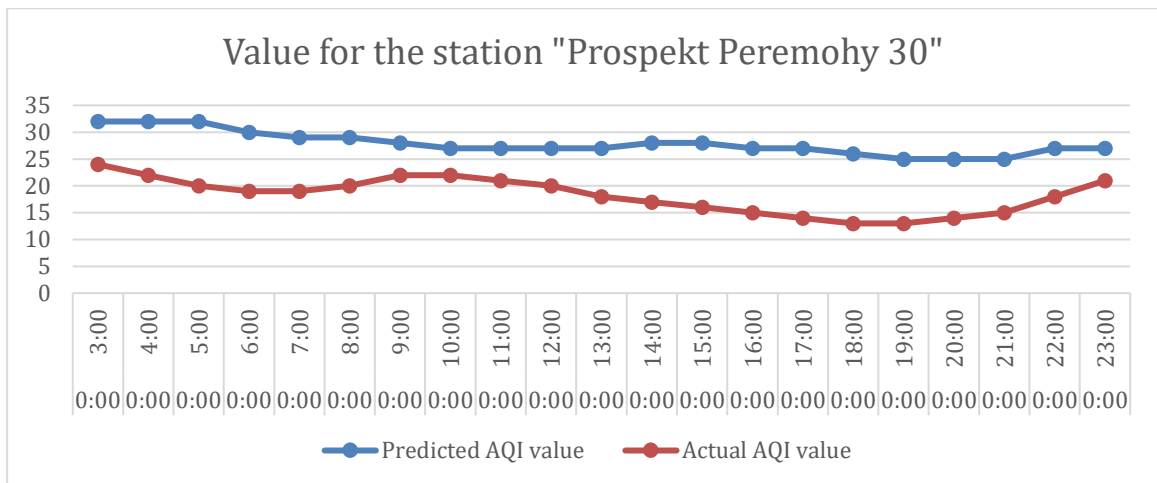
Based on the obtained data, it was concluded that the model makes more accurate predictions in the interval of several hours, with the increase of the interval, the discrepancy between the predicted and the actual value increases, but remains within the same level of assessment of the air quality indicator, according to the US-EPA 2016 standard.

For this system, the error indicators are close to 0, and the coefficient of determination is close to 1. (Table 1).

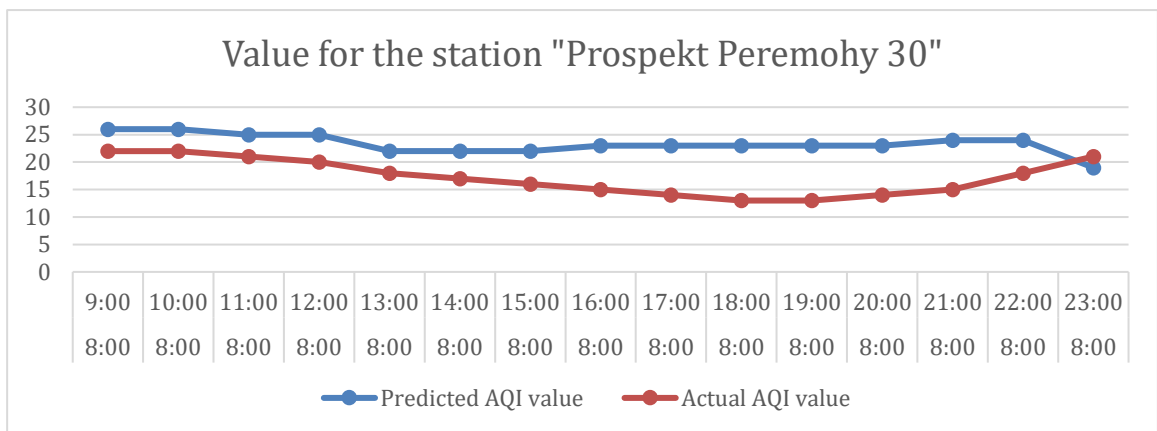
Table 1

Numerical assessment of model quality

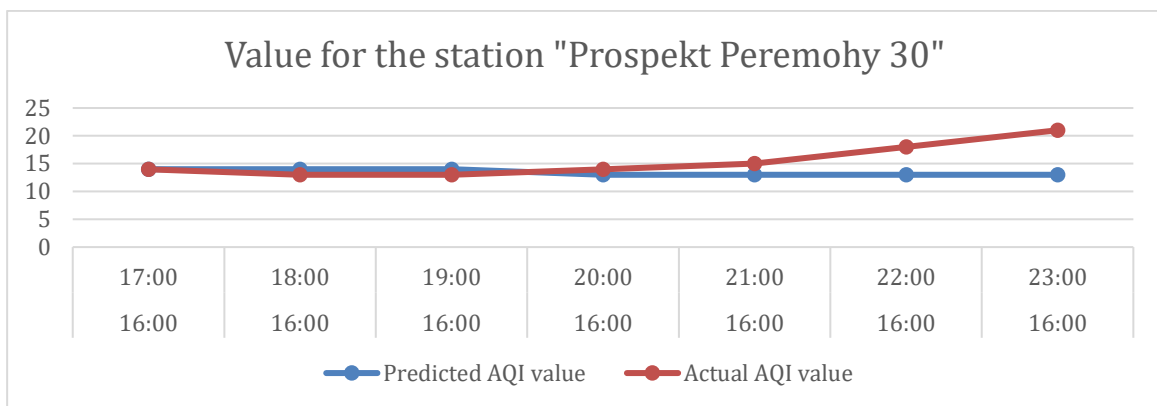
Metric	Value
MAE	0.0023159279017076445
MSE	1.1005997624098014e-05
RMSE	0.0033175288429941364
$R^2$	0.8625835665945281



A graphical representation of the predicted and real AQI parameter



A graphical representation of the predicted and real AQI parameter



A graphical representation of the predicted and real AQI parameter

## Conclusions

In order to emphasize contemporary approaches to developing forecasting systems based on time series, a examination of existing algorithms and literature was conducted. The subsequent phase involved enhancing data collection and processing methods. To evaluate the algorithm's performance, metrics were computed, and a visual representation depicting the predicted and actual parameters was created. The proposed implementation of the algorithm can be used to perform hourly AQI forecasts, which helps to simplify the process of monitoring the state of the air, which will help to inform in advance the sensitive to this type of pollution, such as children, the elderly, or people with heart diseases, asthma and other respiratory diseases.

## References

1. The impact of air pollution on human health ,Institute of Public Health named after OHM. Marzeeva National Academy of Medical Sciences of Ukraine, 18.05.2020. [Online]. Available: <http://amnu.gov.ua/vplyv-zabrudnennya-atmosfernogo-povitrya-na-zdorov-ya-lyudyny/> [Accessed: October 10, 2022].
2. Yang, Hanna (2019, April 9) “Noncommunicable Diseases and Air Pollution - News”. World Health Organization [Online]. Available:[https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/397787/Air-Pollution-and-NCDs.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/397787/Air-Pollution-and-NCDs.pdf) [Accessed: October 10, 2022].
3. A. Zeka, A. Zanobetti, and J. Schwartz, “Short term effects of particulate matter on cause specific mortality: effects of lags and modification by city characteristics,” Occupational and environmental medicine, 2005, pp.718–725.
4. I. Kloog, B. Ridgway, P. Koutrakis, B. A. Coull, and J. D. Schwartz, “Longandshort-term exposure to pm 2. 5 and mortality: using novel exposure models,” Epidemiology: Cambridge, Mass., 2013, pp. 555.
5. Brownlee, Jason. “Regression Metrics for Machine Learning” Machine Learning Mastery, 15 Feb. 2021, [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/regression-metrics-for-machine-learning/>.

## UDC 004.8

*Viktoriia Volodymyrivna Tkach*  
*Research supervisor - Iryna Arkadiivna Yurchuk*  
*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Information Technologies*  
*tkachviktor77@gmail.com*

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF FEATURE SELECTION METHODS FOR HEART DISEASE DIAGNOSIS USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS**

***Abstract:** This work aims to investigate the role of artificial intelligence (AI) in enhancing healthcare delivery and patient outcomes, specifically focusing on the diagnosis of heart diseases based on symptoms. The purpose of this study is to compare and evaluate two different feature selection methods within the context of machine learning algorithms to identify the most effective approach for accurate heart disease diagnosis. The research will address the limitations and challenges associated with the implementation of AI in healthcare, providing insights into the potential of AI-driven systems to improve diagnostic accuracy and assist healthcare professionals in making informed decisions.*

### **Object of the Study:**

The object of this thesis is to investigate the process of heart disease diagnosis based on symptoms using machine learning algorithms. The research focuses on exploring and improving the accuracy of heart disease diagnosis by leveraging machine learning algorithms and comparing different feature selection methods.

### **Purpose of Research:**

The purpose of this research is to conduct a comparative analysis of feature selection methods within the context of machine learning algorithms for heart disease diagnosis. The main objective is to evaluate and compare the effectiveness of these methods in selecting the most relevant features and enhancing the accuracy of heart disease diagnosis based on symptoms.

### **Subject of the Study:**



The subject of this study involves heart disease patients and datasets containing symptoms and corresponding diagnoses. The research will analyze and evaluate the performance of machine learning algorithms and feature selection methods using these datasets and the specific information related to heart disease patients.

### Research results:

Two methods of feature selection were chosen for comparative analysis: Mutual Information(hereinafter referred to as MI) and L2 Regularization(hereinafter referred to as L2R). MI showed the best result among its sample in a similar research area[1].

**Mutual information** is a feature selection approach commonly used to assess the relationship between features and the target variable. It quantifies the amount of information that one variable carries about another variable. In the context of feature selection for heart disease diagnosis, MI can help identify the most informative features that contribute significantly to the prediction of heart disease.

Formulas:

The mutual information between two discrete random variables X and Y is calculated using the following formula:

$$MI(X, Y) = \sum_x \sum_y P(x, y) \log_2 \left( \frac{P(x, y)}{P(x) \cdot P(y)} \right)$$

where  $P(x, y)$  is the joint probability mass function of variables X and Y, and  $P(x)$  and  $P(y)$  are the marginal probability mass functions of variables X and Y, respectively.

Pros of MI:

1. Captures Non-Linear Relationships: MI is not limited to detecting linear relationships between variables. It can capture non-linear dependencies, making it suitable for feature selection in complex datasets.
2. Robust to Feature Scaling: MI is not affected by the scale of the variables, which means it can handle features with different measurement units.
3. Handles Both Continuous and Discrete Variables: MI can be used to assess the relationship between both continuous and discrete variables, making it versatile for various types of features.

Cons of MI:

1. High-Dimensional Data: In high-dimensional datasets, MI may overestimate the relevance of features due to the curse of dimensionality.
2. Requires Sufficient Data: MI estimation requires a sufficient amount of data to accurately estimate probabilities and capture the underlying relationships.
3. Symmetric Measure: MI is a symmetric measure, meaning it does not capture the directionality of the relationship between variables. This can be a limitation when the direction of influence is important.

**L2 regularization**, also known as Ridge regression, is a feature selection approach that applies a penalty term to the regression model's coefficients to control the impact of less important features. It is commonly used to mitigate the effects of multicollinearity and overfitting in predictive models.

Formulas:

In L2 regularization, an additional term is added to the loss function of the model, which is proportional to the sum of the squared magnitudes of the coefficients (weights). The L2 regularization term is calculated using the following formula:

$$L2 \text{ Regularization Term} = \lambda \cdot \sum (w^2)$$

Here,  $\lambda$  is the regularization parameter that determines the strength of the regularization, and  $w$  represents the model's coefficients.

Pros of L2R:

1. **Overfitting Prevention:** L2R helps prevent overfitting by reducing the complexity of the model. It constrains the coefficients, making them smaller and less sensitive to noise in the training data.
2. **Handles Multicollinearity:** L2R can handle multicollinearity, which is the presence of highly correlated features. By reducing the impact of less important features, it helps stabilize the model's performance.
3. **Continuous Shrinkage:** L2R applies a continuous shrinkage to the coefficients, allowing all features to contribute to the prediction, although to varying degrees.

Cons of L2R:

1. **Requires Appropriate Regularization Parameter:** Choosing the optimal value for the regularization parameter ( $\lambda$ ) is crucial. If  $\lambda$  is too small, the regularization effect is weak, and if it is too large, the model may become too biased towards zero coefficients, leading to underfitting.
2. **Non-Zero Coefficients for All Features:** L2R tends to retain all features in the model, albeit with reduced impact. This may not be desirable if some features are known to be irrelevant or have no significant impact on the target variable.
3. **Difficulty in Interpreting Coefficients:** L2R makes interpretation of the coefficients more challenging as they are shrunk towards zero. The magnitude and sign of the coefficients may not directly reflect the strength and direction of the feature's influence.

A random forest model was used to evaluate the results of feature selection. The size of the dataset: 900 records. The following results were obtained:

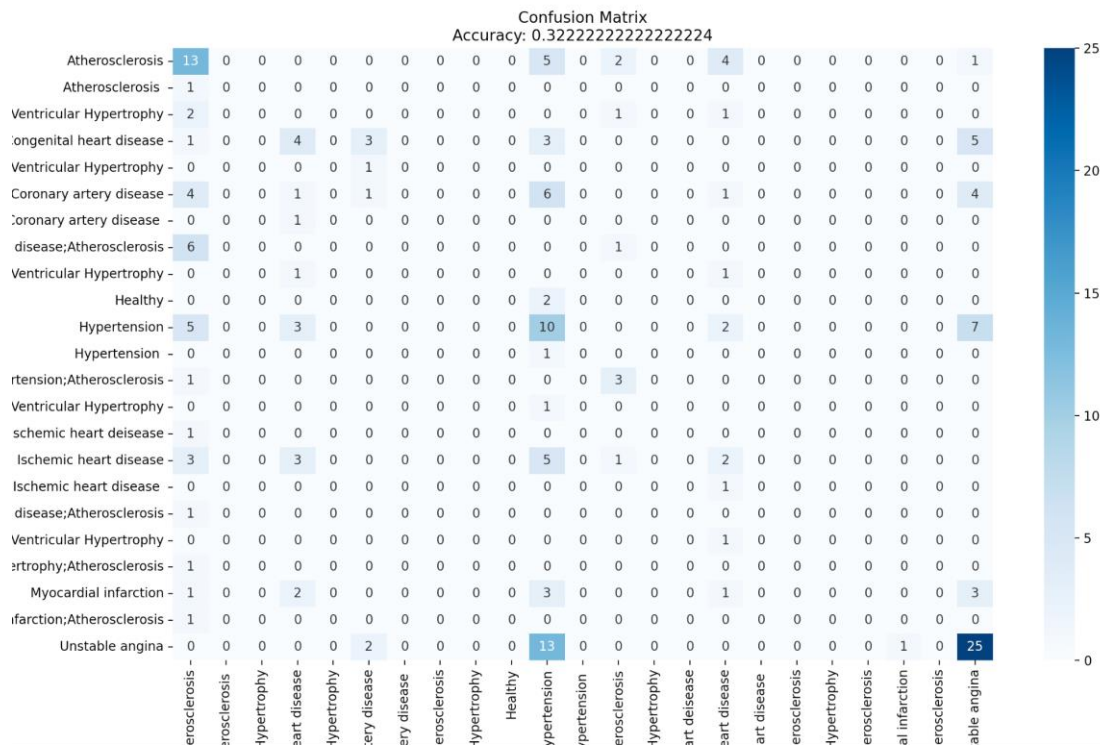


Figure 1 - Confusion Matrix and accuracy for evaluation based on MI approach

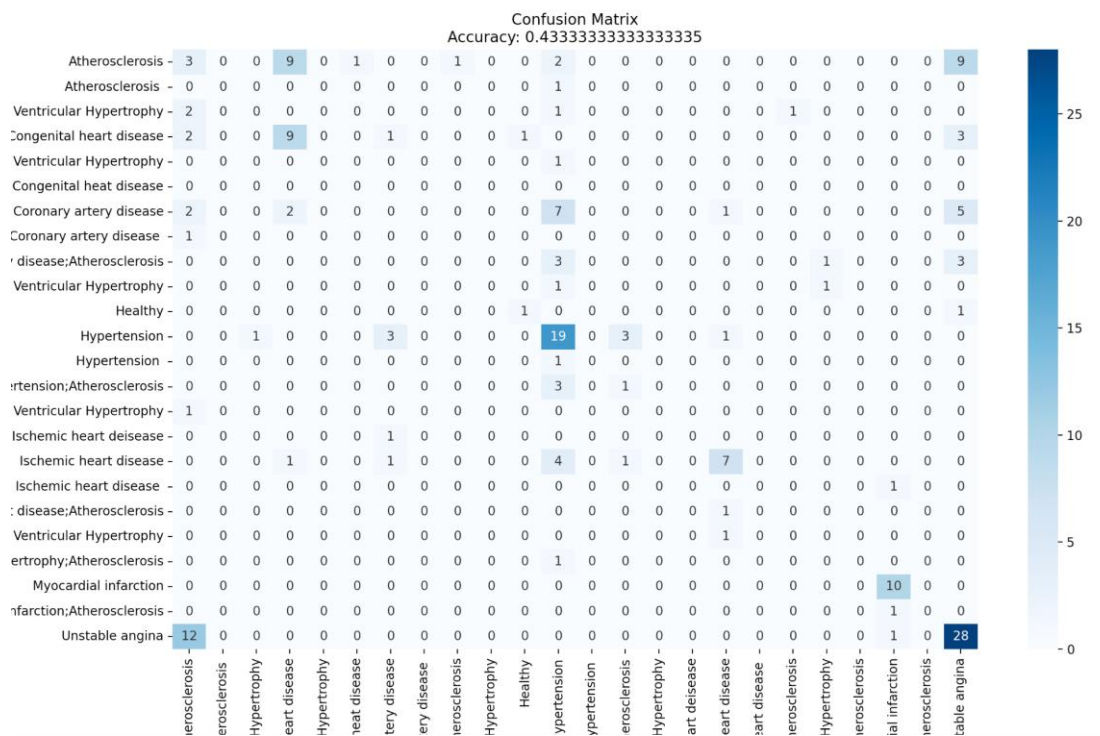


Figure 2 - Confusion Matrix and accuracy for evaluation based on L2R approach

**Conclusions:**

Based on the measurement results, we can conclude that the L2R approach provides higher accuracy in classification tasks for areas such as symptom-based diagnosis of diseases, including cardiovascular diseases. In general, the accuracy is affected by the imbalance of the classes in the initial dataset.

**References:**

1. T. M. Cover and J. A. Thomas, "Elements of Information Theory," Wiley-Interscience, 2006. (Book)
2. Brown, G., Pocock, A., Zhao, M. J., & Luján, M. (2012). Conditional likelihood maximisation: A unifying framework for information theoretic feature selection. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 27-66. (Research Paper)
3. Peng, H., Long, F., & Ding, C. (2005). Feature selection based on mutual information criteria of max-dependency, max-relevance, and min-redundancy. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(8), 1226-1238. (Research Paper)
4. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer. (Book)
5. Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 58(1), 267-288. (Research Paper)
6. Ng, A. Y. (2004). Feature selection, L1 vs. L2 regularization, and rotational invariance. *Proceedings of the Twenty-first International Conference on Machine Learning (ICML)*, 78. (Conference Paper)
7. Biswas, Niloy & Ali, Md. Mamun & Rahaman, Md & Islam, Minhajul & Mia, Md Rajib & Azam, Sami & Ahmed, Kawsar & Bui, Francis & Al-Zahrani, F.A. & Moni, Mohammad Ali. (2023). Machine Learning-Based Model to Predict Heart Disease in Early Stage Employing Different Feature Selection Techniques. *BioMed Research International*. 2023. 1-15. 10.1155/2023/6864343.

**УДК 004.4**

*Шабатура Костянтин Вікторович  
магістр за спеціальністю 122 – “Комп’ютерні науки”  
Міжнародного гуманітарного університету  
ason1te.me@gmail.com  
Науковий керівник  
Русу Олександр Петрович  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри комп’ютерних наук  
Міжнародного гуманітарного університету*

## **ВИБІР ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ З ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

***Анотація.** Розглянуто особливості програмного забезпечення, яке можна використовувати для організації дистанційної та змішаної форм навчання у навчальних закладах середньої освіти. Особливу увагу приділено програмному забезпеченню, яке можна використовувати для викладання дисциплін, пов’язаних з інформаційними технологіями. Проаналізовано технічні можливості та обґрунтовано використання програмного забезпечення, можливості котрого задовольняють вимогам діючих стандартів щодо організації навчального процесу.*

Останнім часом Україна зіткнулась з рядом викликів, до переліку яких увійшли як епідемія коронавірусної інфекції, так і повномасштабне вторгнення. Реакцією на ці події стало активне впровадження дистанційної та змішаної форм навчання у закладах освіти усіх рівнів акредитації та форм власності. Наприклад, за повідомленням заступника Міністерства освіти України, станом на 7 листопада 2022 року освітній процес відбувався у 12 923 школах, серед яких у 6 169 школах (47,74%) використовувалась тільки дистанційна, а у 3 576 школах (27,67%) – змішана форми навчання, і лише 3 178 школи (24,59%) могли працювати у

традиційному режимі – коли школярі мали можливість фізичної присутності в навчальних аудиторіях [1].

Особливістю дистанційного та змішаного форм навчання є необхідність використання спеціалізованого програмного забезпечення для організації учбового процесу. На сьогоднішній день, існує доволі велика кількість готових програмних продуктів, що призводить до необхідності вибору навчальним закладом тієї чи іншої платформи. Однак, незважаючи на наявність певної кількості відомих робіт, присвячених темам вибору програмного забезпечення для дистанційної та змішаної форм навчання, наприклад [2], існує ряд питань, які ще й досі недостатньо повно визначені та потребують проведення додаткових досліджень, особливо при виборі програмного забезпечення, призначеного для викладання предметів, пов'язаних із інформаційними технологіями, що мають певну специфіку викладання.

У доповіді розглянуто особливості найбільш популярних в Україні платформ, призначених для дистанційного навчання, які умовно розділені автором на три категорії:

- програмні застосунки для відеоконференцій;
- програмні застосунки для опитувань;
- програмні застосунки для оцінювання та відправки домашніх завдань.

Серед програмних застосунків для відеоконференцій можна виділити наступні:

- Zoom (Zoom Video Communications);
- ClickMetting (ClickMetting Sp. z.o.o.);
- Microsoft Teams (Microsoft Corporation);
- Google Meet (Google LCC).

Ключові особливості кожного програмного продукту приведені у таблиці 1. Оскільки, згідно з [2], кількість учнів (наповненість класів) для початкової освіти не може перевищувати 24 учня, а для базової або профільної освіти – 30 учнів, то усі розглянуті програмні застосунки можуть використовуватись у закладах середньої освіти, окрім додатку «ClickMetting», який не можна використовувати для базової чи профільної освіти, тому що безкоштовна версія додатку не підтримує достатню кількість учасників. При цьому слід враховувати, що застосунок Google Meet не дає можливість відправки файлів під час проведення конференції, що може обмежити його використання у випадках, коли така функція необхідна під час проведення занять. Таким чином, для закладів середньої освіти можуть бути рекомендовані застосунки Zoom та Microsoft Teams, у тому числі і через те, що їх безкоштовні ліцензійні версії дозволяють організувати навчальний процес для необхідної кількості учнів.

Таблиця 1 – Головні особливості програмних застосунків для відеоконференцій

Назва додатку	Zoom	ClickMetting	Microsoft Teams	Google Meet
Наявність мобільної версії	так	так	так	так
Максимальна кількість учасників	100	До 25 безкоштовно	100	500
Можливість голосового спілкування для учнів	так	ні	так	так
Можливість демонстрації екрана викладача	так	так	так	так
Можливість запису відео	так	До 30 хвилин безкоштовно	так	ні

зайняття				
Можливість відправки файлів у чаті під час заняття	так	До 500 мб безкоштовно	так	ні
Можливість вмикання камери учням під час уроку	так	ні	так	так

Ключові особливості програмних застосунків для тестування учнів наведені у таблиці 2. Оскільки при використанні дистанційного та змішаного навчання відсутня можливість класичного проходження текстів за допомогою ручки та паперу, то з'являється потреба у використанні спеціалізованого програмного забезпечення. На сьогоднішній день для вирішення цієї задачі можна використовувати програмні продукти:

- Kahoot (Norwegian University of Science and Technology);
- Google Forms (Google LCC);
- Quizizz (Quizizz Inc.).

Таблиця 2 – Головні особливості програмних застосунків для опитувань

Назва додатку	Kahoot	Google опитування	Quizizz
Тестові питання	так	так	так
Питання з вільною формою відповіді	так	так	так
Питання с декількома правильними відповідями	ні	так	так
Можливість відправки тесту як домашнє завдання	ні	так	так
Можливість швидкого створення друкованої версії тесту	ні	так	так
Пояснення правильних відповідей під час проходження тесту	ні	ні	так
Можливість обмеження часу проходження тесту	так	ні	так

Найбільш універсальним вибором, згідно з порівняльною таблицею 2, є програмний застосунок «Quizizz». Він має найбільш розвинений функціонал серед наведених аналогів та може використовуватись для усіх форм навчання, оскільки має можливість швидко підготувати для друку будь-який тест або налаштувати тест як домашнє завдання, котре учні будуть мати змогу виконати у будь-який час. Автоматична обробка електронних опитувань та наявність функції відправки результатів контрольного опитування учню або його батькам дозволить зберегти час викладача, який тепер можна приділити учням, тим самим підвищити якість навчання.

Якісне навчання не може існувати без виконання самостійних та домашніх завдань, тому заклад освіти, що використовує дистанцій форму навчання, повинен мати можливість відправки домашніх завдань та отримання і результатів їх виконання з метою для постійного контролю та розвинення рівня знань учнів. Для вирішення цього типу задач можна використовувати наступні програмні застосунки (табл. 3):

- Google Class (Google LLC);
- Moodle (Moodle Pty Ltd);
- Microsoft Teams (Microsoft Corporation).

Як видно із таблиці 3, для закладів середньої освіти можуть бути рекомендовані застосунки «Google Class» або «Microsoft Teams», оскільки вони мають найбільш широкий перелік функцій для створення, обробки, та відправкою домашніх завдань учням. Крім того, вони мають мобільні версії, що дозволяє використовувати смартфони, і зручний сучасний інтерфейс, що робить використання цих програмних застосунків зручним і ефективним під час навчального процесу.

Таблиця 3 – Головні особливості програмних застосунків та відправки домашніх завдань

Назва додатку	Google Class	Moodle	Microsoft Teams
Можливість виставляти час на виконання завдань	так	так	так
Відслідковування успіхів учнів	так	так	так
Створення опитувань	так	так	ні
Створення різних курсів	так	так	так
Нагадування для учнів про невиконані завдання	так	ні	так
Мобільна версія додатку	так	ні	так

**Висновки.** Для проведення відеоконференцій та лекційних уроків рекомендовано застосунки «Zoom» та «Microsoft Teams», оскільки вони дозволяють організувати конференцію для необхідної кількості учнів. Для створення контрольних тестів рекомендовано застосунок «Quizizz», а для створення, відправки та опрацювання самостійних завдань - застосунки «Google Class» та «Microsoft Teams», тому що рекомендовані програмні продукти мають більше функціональних можливостей, порівняно із існуючими аналогами.

### Література

1. У МОН розповіли, скільки школярів зараз навчаються онлайн / Аналітичний портал «Слово і діло». URL [[www.slovoidilo.ua](http://www.slovoidilo.ua)]
2. Система Moodle як засіб масового дистанційного навчання учнів на карантині. Олег Спірін, Катерина Колос / Digital Library NAES of Ukraine. URL [<https://lib.iitta.gov.ua/724581/1/Система.pdf>]
3. Закон України Про повну загальну середню освіту / Сайт верховної ради України URL [[www.zakon.rada.gov.ua](http://www.zakon.rada.gov.ua)]

*Стрелковська І.В., д.т.н., професор, Соловська І.М., к.т.н., доцент,  
Снігур Н., магістр 2 року навчання  
спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення,  
Малюга В., магістр 2 року навчання  
спеціальності 122 Комп'ютерні науки  
Міжнародний гуманітарний університет  
i.strelkovskaya@mgu.edu.ua, i.solovskaya@mgu.edu.ua,  
sniurnazar@gmail.com, m4vladaal@gmail.com*

## ПАРАМЕТРИЧНІ СПЛАЙНИ В 3D-МОДЕЛЮВАННІ

**Анотація.** Розглянуто 3D-моделювання кривих та поверхонь за допомогою параметричних сплайнів. При інтерполяції кривих та поверхонь використано лінійні параметричні сплайни. Знайдено оцінки похибки інтерполяції при побудові кривих та поверхонь параметричними сплайнами.

Сучасний підхід до моделювання складних двовимірних та тривимірних об'єктів у комп'ютерній графіці (Adobe Photoshop, CorelDraw), Web-дизайні (Figma, Adobe Illustrator, Adobe After Effects) та 3D-моделюванні (Blender, Autodesk 3dsMAX, Maya, LightWave3D, Cinema 4D) базується на використанні кривих та поверхонь, які формуються на базі сплайнів [1].

Сплайнові криві та поверхні дозволяють представляти плавні, гнучкі форми з визначеною кількістю точок, причому криві використовуються для створення форми модельованого об'єкту, а поверхні можуть наближати його тривимірну форму. Особливої уваги заслуговує використання сплайнових кривих та поверхонь у анімації, відеоіграх та інтерактивних додатках, адже створення траєкторії руху об'єктів у часі для створення плавних та природних рухів, процесів деформації у відповідь на дії користувача або зміни у навколишньому середовищі є складним та ресурсовитратним процесом. Проведені авторами дослідження в роботах [1-5] дозволяють стверджувати про перевагу використання сплайнів, адже:

- сплайни просто обчислюються, мають добру збіжність, володіють локальними властивостями,
- сплайни більш стійкі до локальних збурень, тобто поведінка сплайну в околиці точки не позначається на поведінці сплайну в цілому, як, наприклад, це має місце при поліноміальній інтерполяції;
- сплайни мають властивості масштабованості та просто змінюються на окремих ділянках, надають можливості забезпечення необхідної точності.

Сплайнове моделювання передбачає формування ліній або поверхонь за допомогою сплайнів. Набори точок у просторі створюють лінії сплайнів та утворюють каркас розглядаемого об'єкту. В якості сплайн-функцій можуть бути використано різні сплайн-функції (лінійні, квадратичні, кубічні В-сплайни, кубічні, кубічні В-сплайни і кубічні сплайни Ерміта) [7-8].

Раніше авторами в роботах [2-5] використано дійсні та комплексні сплайни, які дозволили отримати значне підвищення точності апроксимації або екстраполяції при рішенні телекомунікаційних задач. Однак, існує значний клас задач в ІТ-технологіях, рішення яких може бути отримано за допомогою сплайнів.

В даній роботі для рішення задач моделювання запропоновано використання параметричних сплайнів для побудови кривих та поверхонь, які при виборі визначених сплайн-функцій дозволять отримати результати з більш високою точністю.



Метою даної роботи є моделювання кривих та поверхонь на базі параметричних сплайнів.

Раніше авторами було розв'язано низку телекомунікаційних задач за допомогою дійсних та комплексних сплайнів [1-5]. Задачі моделювання кривих та поверхонь за допомогою сплайн-функцій не було розглянуто. Тому розглянемо інтерполяцію кривих та поверхонь за допомогою лінійних параметричних сплайнів.

Для деяких видів кривих доцільно розглядати їх в параметричному вигляді:

$$\begin{cases} x = x(u); \\ y = y(u), \end{cases} \quad (1)$$

де  $u$  – деякий параметр кривої.

Тому доцільно апроксимувати ці криві параметричними сплайнами. При інтерполяції кривої, яку задано параметрично вигляду (3), розіб'ємо проміжок зміни параметру  $u$ , таким чином  $u_0 < u_1 < \dots < u_N$ . Знайдемо значення функції у точках розбиття  $u_i$ ,  $i = \overline{0, N}$ , причому

$$\begin{cases} x_i = x(u_i); \\ y_i = y(u_i). \end{cases} \quad (2)$$

Інтерполяційний параметричний сплайн першого ступеню на проміжку між точками  $P_i$  та  $P_{i+1}$  заданий співвідношеннями [7]:

$$\begin{cases} S_1(x; s) = (1-t)x_i + tx_{i+1}; \\ S_1(y; s) = (1-t)y_i + ty_{i+1}. \end{cases} \quad (3)$$

де  $t = (s - s_i) / l_i$ ,  $l_i = s_{i+1} - s_i$ ,  $i = \overline{0, 1, \dots, N-1}$ .

Сукупність сплайнів  $S(x; u)$  та  $S(y; u)$  називається інтерполяційним параметричним сплайном. В залежності від виду функцій  $S(x; u)$  та  $S(y; u)$  розглядають лінійні параметричні сплайни, квадратичні, кубічні та інші [7]. В цій роботі будемо розглядати лінійні параметричні сплайни.

Розглянемо інтерполяцію кривих лінійними параметричними сплайнами. Нехай на деякій кривій  $L$  задано послідовність точок  $P_i = (x_i; y_i)$ ,  $i = \overline{0, 1, \dots, N}$  (рис. 1). Введемо параметризацію кривої  $L$ :

$$\begin{cases} x = x(s); \\ y = y(s), \end{cases} \quad (4)$$

де  $s$  – параметр довжини дуги кривої  $L$ .

Вузлу  $P_i = P(x_i, y_i)$ , де

$$\begin{cases} x_i = x(s_i); \\ y_i = y(s_i), \end{cases}, \quad i = \overline{0, N}, \quad (5)$$

відповідає значення параметру  $s_i$ .

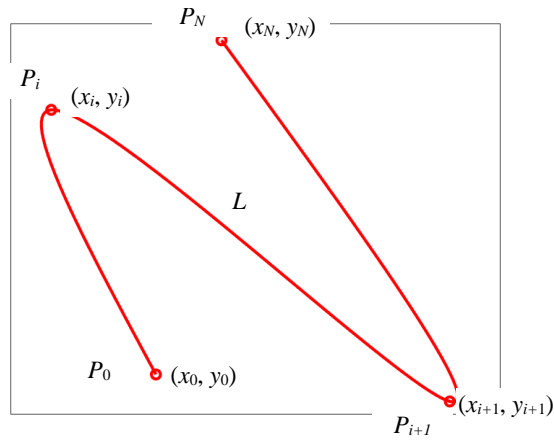


Рисунок 1 – Крива  $L$

Геометрично параметричний сплайн першого ступеню є ламаною, що складається з відрізків прямих, які з'єднують точки  $P_i$ ,  $i = \overline{0, N}$ . Згідно (3) отримуємо рівність [7]:

$$\frac{S_1'(y; s)}{S_1'(x; s)} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}, \quad x_i \neq x_{i+1}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1. \quad (6)$$

За допомогою рівності (6) можна наближено розрахувати нахил дотичної до кривої  $L$  між точками  $P_i$  та  $P_{i+1}$ .

Для розрахунку похибки наближення кривої параметричним сплайном використаємо наступні теореми. Для цього позначимо через  $R_1(s)$  похибку інтерполяції параметричним сплайном першого ступеню:

$$R_1(S) = \sqrt{|S_1(x; s) - x(s)|^2 + |S_1(y; s) - y(s)|^2}. \quad (7)$$

Теорема 1 [7]. Якщо  $x(s), y(s) \in W_\infty^1[s_0, s_N]$ , то

$$\|R_1(s)\|_C \leq \sqrt{2\bar{l}} / 2, \quad (8)$$

де  $\bar{l} = \max_i l_i$ ,  $W_\infty^1[s_0, s_N]$  – клас функцій, в якому в якості екстремальної функції може бути обраний многочлен другого ступеню.

Теорема 2 [7]. Якщо  $x(s), y(s) \in CW_{\Delta, \infty}^1[s_0, s_N]$ , то

$$\|R_1(s)\|_C \leq \frac{\sqrt{2}}{8} \bar{l}^2 \|K(s)\|_\infty, \quad (9)$$

де  $K(s)$  – кривизна кривої  $L$ , яка в точці  $(x(s), y(s))$  визначається як:

$$K(s) = \sqrt{[x''(s)]^2 + [y''(s)]^2},$$

вочевидь, що  $\|x''(s)\|_\infty \leq \|K(s)\|_\infty$ ,  $\|y''(s)\|_\infty \leq \|K(s)\|_\infty$ .

Побудова параметричного сплайна зводиться до побудови двох сплайнів однієї змінної  $S_i(x; s)$  та  $S_i(y; s)$ .

Розглянемо побудову лінійного параметричного сплайна для заданої кривої  $L$ . Інтерполяційну криву локального лінійного сплайну виду (3) показано пунктирною лінією на рис. 2.

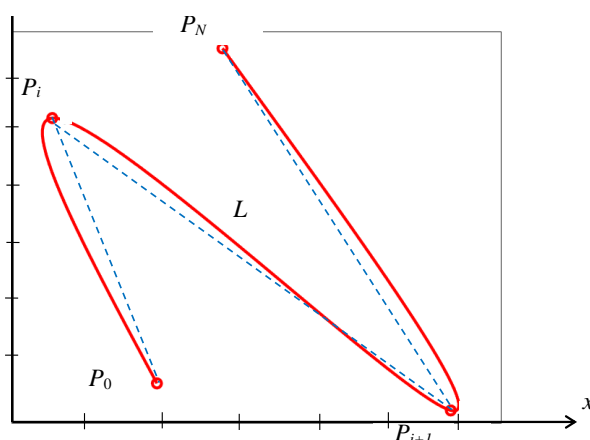


Рисунок 2 – Інтерполяційна крива параметричного лінійного сплайну

Неважко бачити, що така крива має значні похибки до 25 %, зниження яких може бути досягнуто за рахунок зменшення кроку інтерполяції. В цілому, для зменшення похибки можливо використати сплайни вищих порядків, такі як квадратичні або кубічні сплайни, або кубічні В-сплайни.

### Висновки

1. Для моделювання кривих та поверхонь запропоновано використання лінійних параметричних сплайнів.
2. Розглянуто принципи побудови інтерполяційних кривих за допомогою лінійних параметричних сплайнів. Знайдено оцінки похибки інтерполяції при побудові кривих та поверхонь параметричними сплайнами.
3. Напрямок подальших досліджень є розгляд кубічних параметричних сплайнів та виконання порівняльного аналізу отриманих результатів для підвищення точності побудови кривих та поверхонь в 3D-моделюванні.

### Література

1. Стрелковська І.В., Соловська І.М. Сплайн-апроксимація в 3D-моделюванні VIII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Гуманітарний і інноваційний ракурс професійної майстерності: Пошуки молодих вчених»: матеріали конф., 18 листопада 2022 р.: тези доп. – Одеса: МГУ, 2022. – С. 390-394. <https://doi.org/10.36059/978966-397-266-4/116>
2. Стрелковська І.В. Застосування дійсних та комплексних сплайнів в задачах інфокомунікацій [Електроний ресурс] / І.В. Стрелковська, І.М. Соловська, Ю.О. Стрелковська // Проблеми телекомунікацій. – 2021. – № 01 (28). – С. 3-19.
3. Strelkovskaya, I.V., Solovskaya, I.N., Severin, N.V., Paskalenko, S.O. Approximation of self-similar traffic by spline-functions. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: proceedings of the XIII<sup>th</sup> International Conference (TSET'2016), Slavske, Ukraine, February 23 – 26, 2016. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – P. 132-135.
4. Strelkovskaya, I.V., Solovskaya, I.N., Severin, N.V. Modeling of self-similar traffic. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Applied Innovations in IT (ICAИТ-2016), Vol. 1, Is. 5,

Koethen, Germany, March, 10, 2016.– Anhalt University of Applied Sciences. – P. 61-64. <https://doi.org/10.13142/KT10004.23>

5. Strelkovskaya, I., Solovskaya, I., Severin, N., Paskalenko, S. Spline approximation based restoration for self-similar traffic. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. (2017). № 3/4 (87). P. 45-50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102999>.

6. Strelkovskaya, I., Solovskaya, I., Strelkovska, J. Spline-approximation and spline-extrapolation methods in telecommunication. In: Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 212. Springer, Chap № 1. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_1).

7. Ahlberg J.H., Nilson E.N., Walsh J.L. The Theory of Splines and Their Applications, Academic Press, New York, 1967.

8. Larry L. Schumaker Spline Functions: Basic Theory, Cambridge University Press, New York, 2007.

**УДК 004.45:004.91:004.932.2(043.3)**

*Слатвінська Валерія Миколаївна,  
лауреат щорічного Всеукраїнського  
конкурсу «Молодий вчений року» 2022, експерт  
комп'ютерно-технічних експертиз,  
асистент кафедри кібербезпеки  
Національного університету «Одеська юридична академія»  
slatvinskaya\_valeriya@ukr.net*

## **АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗМІННИХ СЕРЕДОВИЩА В КОНФІГУРАЦІЙНИХ ФАЙЛАХ APACHE2**

***Анотація.** Досліджено використання змінних середовища в конфігураційних файлах веб-сервера Apache2. Проаналізовано питання про те, чому саме така схема використовується та чому немає іншого способу. Документація до сервера не надає задовільних відповідей, тому авторка вирішила скористатися системою OpenGPT для пошуку інформації. Веб-сервер Apache2 є широко використовуваним, тому база даних OpenGPT мала потрібну інформацію. Робота включає узагальнені приклади діалогу, які ілюструють використання OpenGPT. Авторкою доведено, що такий підхід може швидко надати інформацію, але не завжди вирішує складні питання, що вимагають зіставлення різних частин інформації.*

Авторці цієї роботи довелося з'ясувати вузькоспеціальне питання : чому у файлах конфігурації веб-серверу Apache2 використовуються змінні середовища, у якому працює веб-сервер. Наприклад є таке налаштування, як APACHE\_RUN\_DIR. При цьому значення змінної сервер бере з файлу /etc/apache2/envvars, в якому ці змінні прописуються через експорт у змінні середовища. В коментарях до файлу зі змінними ця схема задавання налаштувань пояснюється так: «Оскільки немає нормального способу отримати розібраний конфігурацію apache2 у скриптах, деякі налаштування визначаються за допомогою змінних оточення, а потім використовуються в apache2ctl, /etc/init.d/apache2, /etc/logrotate.d/apache2 і т. д.». Аналогічні пояснення є на сайті з документацією до сервера [1].

У перекладі це означає «оскільки немає нормального способу отримати значення конфігурації apache2 у скриптах, деякі налаштування визначаються через змінні оточення і потім використовуються в apache2ctl, /etc/init.d/apache2, /etc/logrotate.d/apache2 і т.д.».

Однак, суттєвого розуміння в це питання документація не додала. Виникає питання про те, чому задіяна саме така схема і чому немає більш прийняттого способу і так далі. У

цьому місці було вирішено задіяти OpenGPT. Веб-сервер Apache2 є однією з добре документованих і популярних програм, які широко використовуються в інтернеті, тому можна було припустити, що в базі даних OpenGPT має бути достатньо інформації для відповіді на це питання. Нижче наведено два характерні узагальнені приклади діалогу - в ілюстративних цілях діалог не наводиться цілком.

Q: "що означає Since there is no sane way to get the parsed apache2 config in scripts"

A: "Це фраза англійською мовою означає: "Оскільки немає розумного способу отримати оброблений (проаналізований) конфігураційний файл apache2 у сценаріях".

Вона може бути частиною довшого контексту, пов'язаного з використанням сервера веб-додатків Apache. Загалом, це висловлювання говорить про те, що немає простого способу отримати доступ до обробленого (або розібраного) конфігураційного файлу Apache в рамках скрипта (наприклад, мовою програмування, такою як Python або Bash).

Замість цього, можливо, доведеться розглянути інші способи, наприклад, написати скрипт, який аналізує необроблений текстовий файл конфігурації Apache2, щоб отримати необхідну інформацію"

Q: "Чому немає простого способу?"

A: "Відповідь на це запитання пов'язана з тим, як працює сервер веб-додатків Apache і які інструменти доступні для роботи з його конфігураційним файлом.

Конфігураційний файл Apache2 зазвичай містить безліч директив, які визначають поведінку сервера, як-от налаштування віртуальних хостів, параметри безпеки та багато іншого. Цей файл може бути складним і розгалуженим, і для того щоб його зрозуміти і використовувати, потрібно його розібрати, проаналізувати і перетворити на зручний для роботи формат.

Деякі інструменти, як-от утиліти командного рядка, можуть допомогти в обробці конфігураційного файлу Apache2, але немає простого і зручного способу отримати доступ до обробленого файлу в рамках скрипта мовою програмування. Це пов'язано з тим, що внутрішня структура конфігураційного файлу може бути складною, і немає готових бібліотек або API для роботи з цією структурою зі скрипта. Тому під час роботи зі скриптами і конфігураційними файлами Apache2, часто використовуються різні методи парсингу та обробки текстових файлів, які можуть бути не такими простими, як робота з готовим API".

Можна помітити, що всі пояснення звелися до розширеного переказу документації. Пояснень по суті отримати не вдалося.

Якщо розібратися в самому питанні, то все пояснення зводиться до того, що у веб-технологіях, які ведуть своє походження від CGI, будь-який скрипт (або взагалі виконуваний файл), який запускається веб-сервером, запускається у своєму власному середовищі. Оскільки це потенційна вразливість, то такі скрипти намагаються максимально ізолювати від операційної системи. Тому скрипт навіть не знає, з якої папки на диску його було запущено. Відповідно, інформацію, що надходить (вміст POST, PUT, GET і т.д. і т.п.), передають у вигляді змінних середовища. Зокрема у змінній QUERY\_STRING. Більшість мов програмування вміють читати ці змінні середовища (і мають до них доступ) - це дає змогу створити щось на зразок єдиного API, при цьому ізолюючи запуск програм від операційної системи.

У цьому випадку Apache2 спирається на використання цього протоколу, експортуючи свої значущі параметри у змінні середовища. Таким чином, він, з одного боку, весь час має до них доступ, а крім того, надає доступ програмному забезпеченню, яке може читати й записувати ці змінні (наприклад APACHE\_RUN\_DIR), обмінюючись у такий спосіб інформацією з веб-сервером. Приклад є ілюстративним. Проте він добре відображає сутність можливої роботи HAI / LLMAP систем. GenAI дає змогу швидко отримувати необхідну інформацію в тих випадках, коли не потрібне глибоке розуміння системних зв'язків, і його можна використовувати як «пошукового помічника», який дає можливість швидкого доступу до документації. При цьому його корисність сильно знижується у випадках, коли необхідно зіставляти різні частини доступної інформації.

Отже, приклад показує, що він може видавати, зокрема, квазі-пояснювальний текст, який має зв'язний вигляд, однак, по суті, він є переказом (або рерайтом) документації і не стільки прояснює питання, скільки створює додаткове когнітивне навантаження.

### **Література**

1. Environment Variables in Apache - Apache HTTP Server Version 2.4. URL: <https://httpd.apache.org/docs/2.4/env.html> (дата звернення: 2023-07-09).

**УДК 004.8**

*Курюкін Ілля Сергійович*  
*магістр за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки»*  
*Міжнародний гуманітарний університет*  
*illakuryukin@gmail.com*

*Баришовець Артем Олександрович*  
*магістр за спеціальністю 123 – «Комп'ютерна інженерія»*  
*Міжнародний гуманітарний університет*  
*474744jhn@gmail.com*

*Науковий керівник*  
*Русу Олександр Петрович, к.т.н.*  
*Міжнародний гуманітарний університет*

## **ВІРТУАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

**Анотація.** *Розглянуто особливості реалізації ефективної платформи для вивчення, та практичного використання нейронних мереж на основі створеної віртуальної лабораторії. Особливу увагу приділено особливостям використання створеного програмного забезпечення у процесі підготовки фахівців із інформаційних технологій. Розроблене програмне забезпечення дозволяє краще розуміти роботу нейронних мереж, переваги та недоліки різних варіантів їх побудови, а також сферу їх практичного використання.*

Дистанційна освіта є однією з передових форм навчання, яка набула широкого використання із розвитком інтернет-технологій. Але дистанційне навчання має низку специфічних особливостей, котрі потребують використання спеціалізованого програмного забезпечення. Не є винятком і вивчення нейронних мереж, які є одним із провідних напрямків штучного інтелекту.

Тривалий проміжок часу для дослідження нейронних мереж використовувалися фізичні лабораторні макети або розрізнені симулятори. Але ці варіанти мають низку обмежень, наприклад, неможливість вивчення процесів на потрібному рівні деталізації, тому створення віртуальних лабораторій є тим рішенням котре наразі активно досліджується експертами в галузі освіти [1].

В доповіді розглядаються особливості віртуальної лабораторії для дослідження нейронних мереж, котра була створена студентами факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету. Віртуальна лабораторія призначена для практичного навчання та проведення лабораторних занять. На момент написання публікації для вивчення нейронних мереж створено і практично використовуються наступні лабораторні макети:

- дослідження штучного нейрону (рис. 1);

- навчання нейронної мережі;
- нейронна мережа для розпізнавання тексту (рис. 2).

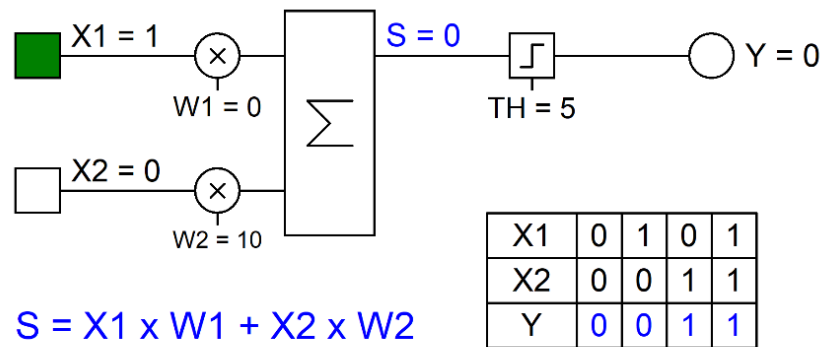


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд лабораторного макету для дослідження штучного нейрону

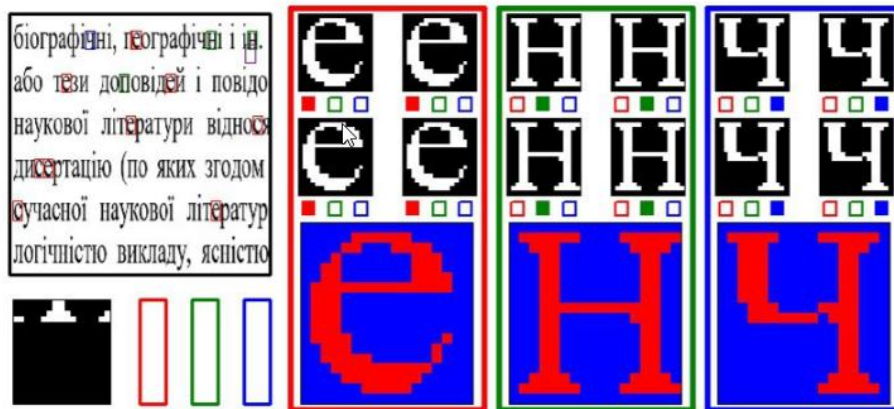


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд лабораторних макетів для дослідження розпізнавання тексту

Основною перевагою лабораторних макетів є те, що вони дозволяють працювати з нейронною мережею і налаштовувати її роботу без необхідності використання засобів та навичок програмування.

Головними перевагами розроблених лабораторних макетів є [2]:

- можливість практичної перевірки ефективності її роботи та налаштувань без використання фізичних макетів та дорогих симуляторів;
- здатність використовувати макети як при очній, так і при дистанційній формах навчання;
- підтримка декількох мов інтерфейсу;
- підтримка декількох різних варіантів схем, що призводить до того, що кожен студент працює зі власною версією схеми;

У такий спосіб віртуальна лабораторія надає можливість отримати практичні навички в роботі з нейронними мережами, а саме [3]:

- дозволяє поглиблено вивчити основні принципи та архітектури нейронних мереж;
- дозволяє дослідити різні методи тренування, обрати оптимальні налаштування та проводити оптимізацію для поліпшення ефективності нейронної мережі;
- дозволяє аналізувати результати та визначати ефективність використання тих чи інших нейронних мереж для вирішення практичних задач;
- досліджувати нейронні мережі у різних галузях, наприклад, для обробки зображень, природної мови або прогнозування тих чи інших подій.

## Література

1. Найкращі інтернет-ресурси та віртуальні лабораторії для проведення дистанційних уроків. URL: <https://myronivka-osvita.gov.ua/najkraschi-internetresursi-ta-virtualni-laboratorii-dlya-provedennya-distancijnih-urokiv-10-16-41-25-03-2021/>
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. Neural Network Developer. URL: <https://www.profguide.io/en/professions/neural-network-developer.html>

УДК 004.032.26:378.147

Прокоп Юлія Віталіївна  
Національний університет «Одеська політехніка»  
prokor.y.v@op.edu.ua  
Клімішина Ірина Вікторівна  
Міжнародний гуманітарний університет

## ВИКОРИСТАННЯ GPT ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТИЛЮ КОДУ СТУДЕНТІВ

*Анотація.* Перевірка якості коду в студентських програмах і формування зворотного зв'язку з поясненням зазвичай вимагає великих витрат часу, тому автоматизація цього процесу є вельми актуальною. Доведено ефективність технології GPT для перевірки правил стилю коду, які не можуть бути перевірені автоматично стандартними засобами.

Низька якість програмного коду не лише підвищує вартість підтримки і супроводу, а й може спричинити серйозні проблеми програмного забезпечення. Тому вміння писати якісний код є однією з найважливіших компетентностей майбутнього програміста, формування якої вимагає приділення значної уваги викладачів. Якщо від самого початку не привчити студентів писати якісний код, то у майбутньому на це доведеться витратити додатковий час та зусилля [1]. Пошук ефективних методів навчання студентів написання чистого коду є актуальною задачею для сучасних викладачів програмування.

Проблеми, пов'язані з формуванням у студентів IT-спеціальностей навичок створення якісного коду, в останнє десятиліття активно обговорюється викладачами по всьому світу. Перевірка, виявлення та опис порушених правил стилю коду в студентських програмах є нетривіальною задачею, яка вимагає великої кількості часу на її виконання. Отже, гостро стоїть потреба в автоматизації цього процесу.

Автоматичне оцінювання стилю коду було започатковано приблизно 20 років тому [2] і відтоді дослідники докладають зусиль для його вдосконалення. На думку авторів [3], найкращі результати дає така комбінація: викладач, який пояснює правила і помилки, автоматична перевірка AutoStyle й оцінка стилю зі зворотним зв'язком. Дисертаційне дослідження [4] показало, що найкращий результат у процесі навчання дає використання запропонованої А. Коєхлером автоматичної оцінки стилю кодування, яка супроводжується зворотним зв'язком. У роботі [5] описуються детектори дефектів якості коду, які можуть бути використані для автоматичної генерації цінного зворотного зв'язку для студентів. Автори [6] дійшли висновку, що наявних інструментів статичного аналізу загального



призначення недостатньо для оцінки всіх критеріїв стилю коду. Зокрема, стандартні засоби не можуть точно й чітко оцінити імена змінних та функцій.

Дослідники вивчають можливості та обмеження використання технології GPT в освітньому процесі [7; 8]. Автори дійшли висновку, що ця технологія має потенціал революціонізувати навчальний процес, уможливаючи персоналізоване та інтерактивне навчання, а також надаючи студентам доступ до величезної кількості знань та інформації. Однак при цьому використання технології GPT створює виклики й обмеження, включаючи занепокоєння щодо списування, конфіденційності даних та упередженості, які обов'язково треба враховувати та вживати відповідні заходи для їх подолання.

Метою роботи є дослідження можливості залучення технології GPT для перевірки окремих правил стилю кодування, автоматизація яких стандартними засобами обмежена.

Розглянемо найпростіший код (рис. 1). Програма пропонує користувачеві ввести ціну і кількість товару та обчислює його вартість. Цей код компілюється і виконується без помилок, але містить численні порушення правил стилю.

Спробуємо залучити штучний інтелект для виявлення цих помилок. Запитаємо в чат-бота: «Look at the code below. Check the coding style. Describe errors in the form: Line ... Error (its description)».

```
1 #include <stdio.h>
2 int main(void) {
3 float a, c; int b;
4 printf("Price: "); scanf("%f", &a);
5 printf("Amount: "); scanf("%d", &b);
6 c = a * b;
7 printf("You have to pay: %.2f\n", c);
8 return 0;
9 }
```

Рисунок 1 – Приклад коду мовою C для перевірки стилю

Для перевірки спочатку застосували Bing Chat від Microsoft, який використовує мовну модель GPT-4 від OpenAI. Його відповідь подана на рис. 2.

The code is functional and there are no syntax errors. However, there are some improvements that can be made to the coding style:

- Line 1: It is recommended to include a comment at the beginning of the code to describe its purpose.
- Line 3: It is recommended to declare each variable on a separate line for better readability.
- Line 4-7: It is recommended to use more descriptive variable names instead of single letters.
- Line 4-7: It is recommended to add spaces around operators for better readability.
- Line 4, 5, 7: It is recommended to place each statement on a separate line for better readability.

Рисунок 2 – Оцінка стилю коду від Bing Chat

Крім того, до відповіді Bing Chat додав виправлену версію коду – з правильними відступами та пробілами, відсутніми у кодї, запропонованому для перевірки.

Отже, Bing Chat виявив такі порушення базових правил стилю коду: відсутні необхідні коментарі (рядок 1), оголошення кожної змінної не розташовані на окремому рядку (рядок 3), назви змінних не описують призначення цих змінних (рядки 4-7), відсутність пробілів навколо операторів (рядки 4-7) та відступів на початку рядків, а також розташування кількох команд в одному рядку, що знижує читабельність коду (рядки 4, 5, 7).

Аналогічне питання щодо перевірки стилю коду також було задано чат-боту ChatGPT (chat.openai.com). Однак він виявив менше помилок, зокрема не вказав на недостатньо зрозумілі назви змінних. Тому надалі використовували саме Bing Chat як такий, що краще задовольняє потребам і виконує якіснішу перевірку.

Слід зазначити, що перевірку частини з виявлених порушень легко автоматизувати стандартними засобами. Зокрема, це стосується коментарів, розташування оголошень змінних та команд в окремих рядках, правильності відступів і пробілів. Однак встановити автоматично, чи відповідають правилам назви змінних, зазвичай доволі складно. Водночас вимога до надання змінним та функціям зрозумілих назв є однією з базових вимог до якісного коду.

Розглянемо інший фрагмент коду (рис. 3). Цей код теж компілюється та виконується без помилок, але містить порушення деяких правил стилю коду. Зокрема, назва функції `func` не вказує на призначення цієї функції, як і назви змінних `a` та `s`, які не описують їхнього призначення. Запропонуємо штучному інтелекту оцінити якість назв змінних і функції у цьому коді.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <math.h>
3  double func(float *a, int n) {
4      float s=0;
5      for (int i=0; i<5; ++i)
6          s+=a[i];
7      return s;
8  }
9
10 int main() {
11     float a[5], s;
12     int i;
13     printf("Input double array:\n");
14     for (i=0; i<5; ++i)
15         scanf("%f", &a[i]);
16     s = func(a, 5);
17     printf("Sum of array elements = %.2f",s);
18     return 0;
19 }
```

Рисунок 3 – Приклад коду мовою C для перевірки назв змінних та функції

Відповідь Bing Chat подана на рис. 4. Він встановив, що назви змінних `a`, `s` та функції `func` не описують їхнє призначення, що порушує правила стилю коду. Це повною мірою збігається з очікуваним результатом.

Here is my evaluation of the names of variables and function in the provided code:

- Line 3: The function name `func` is not descriptive. It is recommended to use a more descriptive name that reflects the purpose of the function.
- Line 4: The variable name `s` is not descriptive. It is recommended to use a more descriptive name that reflects the purpose of the variable.
- Line 11: The variable name `a` is not descriptive. It is recommended to use a more descriptive name that reflects the purpose of the variable.
- Line 11: The variable name `s` is not descriptive. It is recommended to use a more descriptive name that reflects the purpose of the variable.

Рисунок 4 – Оцінка назв змінних та функцій Bing Chat

Змінимо незрозумілі назви. Функцію `func` назвемо `sumElements`, змінну `a` назвемо `array`, а змінній `s` в обох функціях дамо назву `sum`. Після цього знову відправимо код для перевірки. Цього разу відповідь штучного інтелекту є схвальною (рис. 5). Bing Chat встановив призначення функції та змінних і зазначив, що імена, які використовуються в коді, пояснюють це призначення.

The names of the variables and function in the provided code are more descriptive and reflect their purpose. The function name `SumElements` clearly describes its purpose of summing the elements of an array. The variable names `array` and `sum` are also more descriptive and reflect their purpose.

Рисунок 5. Схвальна оцінка назв змінних та функцій штучним інтелектом

Отже Bing Chat може оцінювати якість коду, зокрема правильність назв змінних і функцій, що майже неможливо автоматизувати стандартними засобами. Водночас є певне обмеження. Розмір тексту, який надсилається в чат, має ліміт 4000 символів і може бути меншим за розмір коду для перевірки. З боку користувача це обмеження можна обійти, збільшивши значення ліміту в інспекторі браузера. Проте, якщо очікуваний результат – це виправлена програма, то відповідь чат-бота в будь-якому разі обмежиться лише чотирма тисячами знаків.

### Висновки

Технологію GPT можна використовувати для перевірки стилю кодування в студентських програмах. Особливе значення це має для тих правил, автоматизувати перевірку яких стандартними засобами складно або неможливо. Зокрема, технологію GPT можна використовувати для перевірки правильності назв змінних і функцій. Завдяки штучному інтелекту можна скоротити час, який витрачають викладачі на перевірку якості студентського коду та створення коментарів до помилок, а також підвищити ефективність такої перевірки.

### Література

1. Keuning, H., Heeren, B., Jeurig, J.: Code quality issues in student programs. In: 22nd ACM Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, ITiCSE'2017, pp. 110–115. Bologna, Italy (2017). doi: 10.1145/3059009.3059061.
2. Ala-Mutka, K., Uimonen, T., Jarvinen, H.: Supporting students in C++ programming courses with automatic program style assessment. Journal of Information Technology Education: Research, vol. 3(1), pp. 245-262 (2004). doi: 10.28945/300

3. Wiese, E., Yen, M., Chen, A., Santos, L., Fox, A. 2017. Teaching Students to Recognize and Implement Good Coding Style. In: 4th ACM Conference on Learning @ Scale, L@S '17, pp. 41–50. [file:///Users/yulia/CTU/Coding%20Style/](https://doi.org/10.1145/3051457.3051469) . New York, NY, USA (2017). doi: 10.1145/3051457.3051469
4. Koehler, A.: A Methodology for Teaching from Student Errors in Computer Science Education. A Dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Computer Science by University of California (2020), [https://escholarship.org/content/qt9x472353/qt9x472353\\_noSplash\\_24e49bb14b8e5c530578c32c02186ddd.pdf](https://escholarship.org/content/qt9x472353/qt9x472353_noSplash_24e49bb14b8e5c530578c32c02186ddd.pdf), last accessed 2023/06/21.
5. Effenberger, T., Pelánek, R.: Code Quality Defects across Introductory Programming Topics. In: 53rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE'2022, vol. 1, pp. 941–947. New York, NY, USA (2022). doi: 10.1145/3478431.3499415
6. Perretta, J.S., Weimer, W., DeOrio, A.: Human vs. Automated Coding Style Grading in Computing Education. In: ASEE Annual Conference & Exposition, pp.1–13 (2019). doi: 10.18260/1-2--32906, <https://peer.asee.org/32906>
7. Božić, Velibor. (2023). Chat GPT and education. 10.13140/RG.2.2.18837.40168.
8. Rahman, Md & Watanobe, Yutaka. (2023). ChatGPT for Education and Research: Opportunities, Threats, and Strategies. 10.20944/preprints202303.0473.v1.

**UDC 519.6:658.5; 378; 37.037; 658**

*Andriy Luntovskyy, Prof. Dr. habil.  
BA Dresden University of Technology, Saxon Study Academy  
Andriy.Luntovskyy@ba-dresden.de*

## **INTEGRATION ASPECTS BETWEEN ADVANCED NETWORKING AND MODERN AI TOOLS**

***Abstract.** This work is aimed to explore the potential of advanced network technologies to support Artificial Intelligence (AI) applications and vice versa. A duality slogan acts herewith as follows: “Networks meet AI as well as AI meets Networking!”.*

In 1950, as AI was defined for the first time, AI should solve the classes of problems, per definition, which were previously only intended for humans. However, the term remained controversial till nowadays. It is still unclear what exactly "intelligence" as a term encompasses – and to what extent it requires its own separate "consciousness".

ML is an important part of AI. With the big variety of AI approaches, there the knowledge is generated from large amounts of data. As a next topic, for instance, by using photos, AI assists to learn what a tree or car looks like. However, some experts do not yet see herewith intelligent behavior in this approach, called Computer Vision or Pattern Recognition.

The classical AI theory approaches include furthermore, Neural Networks (NN), Machine Learning (ML, refer to Fig. 1), Fuzzy Logic, Deep Learning (DL), Knowledge Bases, Ontologies, Image Recognition, Computer Vision, List Processing, Logical, and Rule-Based Output and Reasoning, Bayes Probability Calculation as well as modern Generative Large Language Models (LLMs), refer to Fig. 2. Furthermore, Genetic Algorithms (GA) and Computational Intelligence can belong to AI aspects too. GA operators include mutation, crossover, and selection, which used to support and generate high-quality solutions. They are metaheuristics which map natural genetic processes to achieve Computational Intelligence.

Google, Microsoft, and Amazon are major players herewith and claim the leading role in AI with paid dialogue systems and generative language models. The Facebook group Meta wants to catch up together with other platforms. The typical components of modern AI applications and chat platforms like Chat GPT (Open AI), Bing (Microsoft), Bard AI (Google), Meta's Platforms Chatbot (without FB and Instagram), Chinchilla (DeepMind), in the mid-term TruthGPT or X.AI (E.Musk), and, furtherly, Jasper, Quillbot, Bloom, Replika, ELSA, Bing AI, Dall-E are as follows (Fig. 3):

- Transformers: originally from Google Brain, trained with so-called Reinforcement Learning
- RLHF (Reinforcement Learning from Human Feedback)
- PPO (Proximal Policy Optimization)
- Text input and output for so-called language models (e.g., OpenAI's GPT-3.5/ GPT-4, refer to Fig. 3).

Model training data consists of a large number of texts created by humans. The text sources are as follows: search engines, online forums and communities, social media, blogs, newspapers, scientific articles, online books, wikis and encyclopaedias, spoken language, videos, and audio material.

Applied AI refers to modern healthcare process management, finance and credit policies, logistics, and transportation. Some examples of Applied AI include medical diagnosis, report completion, analysis and prohibition for security denials, collections of laws in jurisprudence, and fraud detection (Table 1).

The following further aspects of AI and network interconnecting nowadays are to be mentioned below [1-5].

## **1. AI in Digitalization and Industries**

AI is becoming of great importance in modern digitalization processes and industries. AI applications support process automation and improve human decision-making based on often repetitive routines. Some examples of AI in digitalization and industries include chatbots, predictive maintenance, and autonomous vehicles (UAV – unmanned automotive or aerial vehicles).

So-called Next Generation Networks (NGN) have defined advanced network technologies in the last good 20 years that support higher data rates (DR) and low-latency communication. Some meaningful examples of NGN consider 5G and Beyond, Starlink, Terahertz-Band, UWB, and VLC. These technologies are becoming increasingly important, providing Digital Ecosystems with integrated elements of AI as well AI applications themselves. Advanced networking technologies are especially important for AI-supporting applications, which are critical for real-time data processing and rapid decision-making.

As more and more devices become connected to the internet, the demand for bandwidth and low latency increases, especially in critical infrastructure systems such as smart grids and industrial services. 5G networks have the potential to provide the necessary performance, but managing the allocation of resources to different services in a dynamic and efficient manner can be challenging. The solution proposed by the topic is to use artificial intelligence (AI) to dynamically slice the network and allocate resources based on the priority of the services. The priority scheduling method takes into account the criticality of the services and the availability of resources to ensure that the most important services are given priority in the allocation of resources. Overall, the problem addressed by the topic is how to effectively manage the limited resources of a 5G network in a dynamic and efficient way that meets the diverse requirements of smart grid and industrial services. In this paper, we propose an AI-based dynamic 5G network slicing with a priority resource scheduling method for smart grid and industrial services. The two-level priority system, which includes inter-slice priority and intra-slice priority, is considered in the proposed method. The proposed approach aims to provide high QoS, reliability, and security for these critical applications. We evaluate the performance of our proposed approach using various metrics such as throughput, latency, and resource utilization. The results show that our approach outperforms the traditional network-slicing approach in terms of QoS, resource utilization, and scalability. The proposed

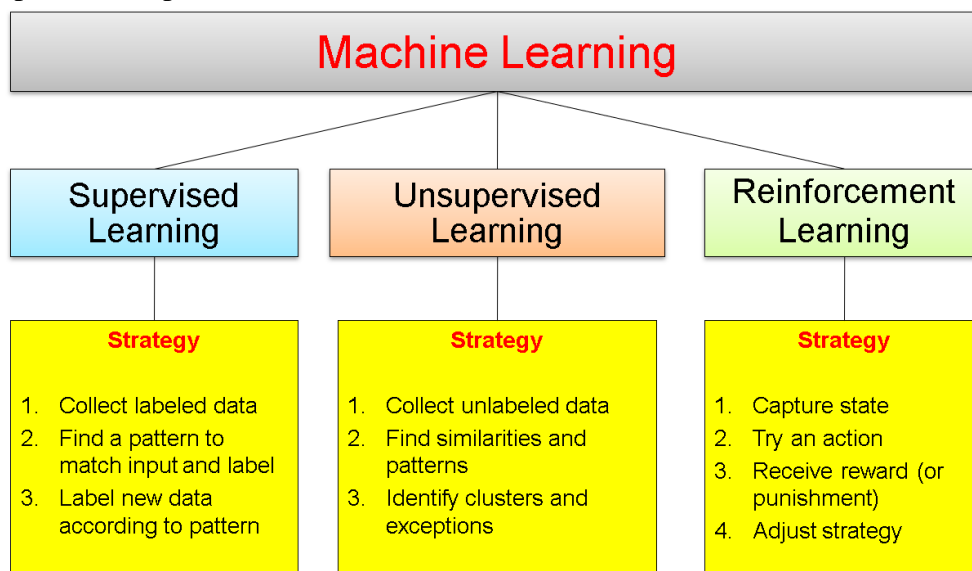
solution uses AI-based network slicing and priority scheduling to ensure that critical services receive the necessary resources to operate effectively.

The Industrial Internet of Things (IIoT) refers to the use of connected devices like base stations, access points, sensors, cameras, IoT devices in industrial environments (Digital Ecosystems). Data acquisition and analysis are provided in the industrial scenarios, overcoming and avoiding "Big Data" bottlenecks for IIoT devices with valuable insights and improving operational efficiency.

## 2. AI-based Software Engineering

The integration of AI in software development presents new challenges and opportunities. On the other hand, there are many risks tied to it. These challenges include necessarily human-AI collaboration in software engineering practices as well as require appropriate tools which boost the control on possible bias and "human factors", e.g., advanced GIT.

Such integration of AI and GIT can help to improve the quality and efficiency of software development, the usage grade of mistake-free source code fragments, embedding to so-called agile process models under the use of ML-like XP, Scrum, consecutive providing of some software engineering techniques like, e.g., agents or micro-services. By AI-supported version and data controlling, developers can better track changes over time and collaborate more effectively with other developers (DevOps).



**Fig. 1. Classification of Machine Learning**

**Table 1. AI chatbots in comparison [1,2]**

AI Platform	Chat GPT	Bard AI	Chinchilla AI
Vendor	Open AI	Google/ Alphabet	DeepMind (Google's AI firm)
Release dates	November 2022	February 2023	March 2022
Status	Free version and subscriptions: - Chat GPT Plus - Chat GPT Professional	Limited availability (currently only open to testers)	Currently unavailable to the public
Features	- Open-source conversational AI chatbot - Built on Open AI's GPT-3.5 - Draws information from data it's trained on	- AI-powered conversational chatbot - Built on Google's LaMDA - Draws information from the internet	- Made with 70 billion parameters

Components and particularities	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformers with an original ancestry from Google Brain, trained with so-called</li> <li>- RLHF (Reinforcement Learning from Human Feedback)</li> <li>- PPO (Proximal Policy Optimization)</li> <li>- Text input and output with language model GPT-3.5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformers are based on a neural networked model</li> <li>- LaMDA, Google-language model Google Research elaborated these transformers even in 2017</li> <li>- Surprisingly, the transformers and the GPT-3 language model use both the basics for Chat GPT too!</li> </ul>	Transformers of DeepMind are used
Deployment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chatbot functionality</li> <li>- Generating reports and summaries</li> <li>- Creation of marketing material</li> <li>- Performing language translation</li> <li>- Providing ideas</li> <li>- Elaboration of source code and essays</li> <li>- Explanation of complex concepts</li> <li>- Providing virtual assistants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assistance in basic search functions</li> <li>- Explanation of complex concepts</li> <li>- Providing ideas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chatbot functionality</li> <li>- Providing virtual assistants</li> <li>- Use of predictive models</li> <li>- Creating video game characters</li> <li>- Improvement of digital products</li> </ul>

### 3. AI in Didactics of Educational Institutions

The challenges and risks of this topic are obvious [6,7].

- Teaching media skills: One of the most important tasks of educational institutions (schools, high schools, universities) should be to train learners in the use of digital media and AI. They should learn the critical answering approaches, whether a text was generated by a human or by an AI.
- Integrating AI technology into teaching: AI will play an increasingly growing role in the mid-term, so educational institutions should integrate AI technology into the curriculum to prepare the pupils and students for the demands of a rapidly changing labor world. For example, chatbots or language assistants can be used in course works and class exercises.
- Generation of Teaching Materials: Generally, AI text generators can be a useful addition to teaching materials if used appropriately. However, universities should ensure that the generated materials are of appropriate quality, support the curricula, and are regularly reviewed to ensure timeliness and relevance. In addition, ethical and legal aspects for educational institutions should be considered, and the generated materials should always be used only as a complementary (secondary) to the materials produced by teaching staff.
- Training and guidelines for teaching staff, pupils, and students are required, which are aimed at avoiding plagiarism under the use of AI generators. The test and exam regulations should include clear requirements for training and policies that ensure all stakeholders understand the risks and consequences of plagiarism and how to identify AI-generated theses, course works, and essays.

### 4. AI Applications in Business Scenarios

The breakthrough of ML and DL approaches around 2013 has shown that they will completely change the way how people and businesses work. The very large NN have shown their practical usability when executing cognition tasks on images and texts.

One of the next tasks is a classification of AI applications, which will most probably be adopted in practice in the coming years. These AI applications are oriented to the so-called Large Language Models (LLMs) or Generative Language Models. Most prominently known from ChatGPT success, LLMs have produced a boom in different communities and inspired tons of possible usage scenarios. Now that the situation has settled a bit, it is on time to reflect on and classify the most promising ones to sketch which challenges are appearing in mid-term.

This classification is intended to help the researchers and developers to understand and to focus on the most realistic scenarios.

In the several years of the last decade, further methods have constantly appeared, like GPT3.5, with have to deepen LLMs in 2023 with ChatGPT 4, which demonstrated the power of generative models for plenty of tasks like answering questions, generating the text, text summarizations, translations, etc. The typical inputs and outputs of these models are any kind of text, including prompts, natural language texts, code, and (semi-structured) technical texts like JSON. In business scenarios, these inputs and outputs could be combined with other methods converting to texts, like voice commands or OCR, text, and handwriting recognition.

The following business scenarios are to be considered in this context:

1. Aggregate the text. Examples: sentiment analysis, summarization of text
2. Question answering. Examples: digital assistants.
3. Generate text. Example: marketing description, code generation
4. Transform text. Example: translate into another natural or technical language.
5. Validate text. Example: text corrections, code correction, source code debugging.
6. Derive further actions from the text. Example: making proposals on situation resolution.

Still, there are several risks and challenges for direct usage in productive scenarios:

1. Repeatability of results and avoiding bias and hallucination of the models
2. Customization for business domains
3. Legal architecture
4. Commercial model
5. Avoidance of knowledge draining from the company.

## **5. Opportunities and Risks of the Use of AI-Based Generative Language Models and Other AI-Supported Tools in University Background**

The opportunities of AI-based tools are awe-inspiring and powerful.

While the opportunities of AI-based tools are impressive, there are also several risks and challenges that need to be considered. One significant concern is the potential for AI-generated content to be biased, inaccurate, or plagiarized. It is essential to ensure that the data used to train the AI models are diverse and unbiased to avoid perpetuating harmful stereotypes or misinformation. Additionally, there is a risk that the over-reliance on AI-generated content could lead to a decrease in critical thinking skills among students.

Another challenge is the potential for the misuse of AI-based tools in academic settings, such as the use of AI-generated content for cheating purposes. It is crucial to implement appropriate measures to prevent academic dishonesty and ensure the integrity of the educational system.

Furthermore, the use of AI-based tools in university teaching raises ethical concerns related to privacy and data protection. It is essential to ensure that students' personal data and sensitive information are protected and used appropriately.

Overall, while the opportunities presented by AI-based tools in university teaching are significant, it is essential to address the potential risks and challenges to ensure that their use is ethical, effective, and beneficial for students and the academic community.

Below some legal and relatively easy-to-implement examples of the use of AI-based generative language models in the ChatGPT are listed, including:

- supportive advice for students in finding a topic for a seminar work, final qualification thesis, or research project,
- the summary of the literature on a chosen topic,
- finding sources or appropriate studies of which only a few details are known or remembered



- the creation of tests (e.g., multiple-choice tests) and their evaluation, e.g., for the preparation of exams for students or as a basis for the design of exam questions for teachers
- the grammatical, orthographic, and stylistic improvement and correction of texts.

## 6. Generative Language Models and Issues of Software Technology

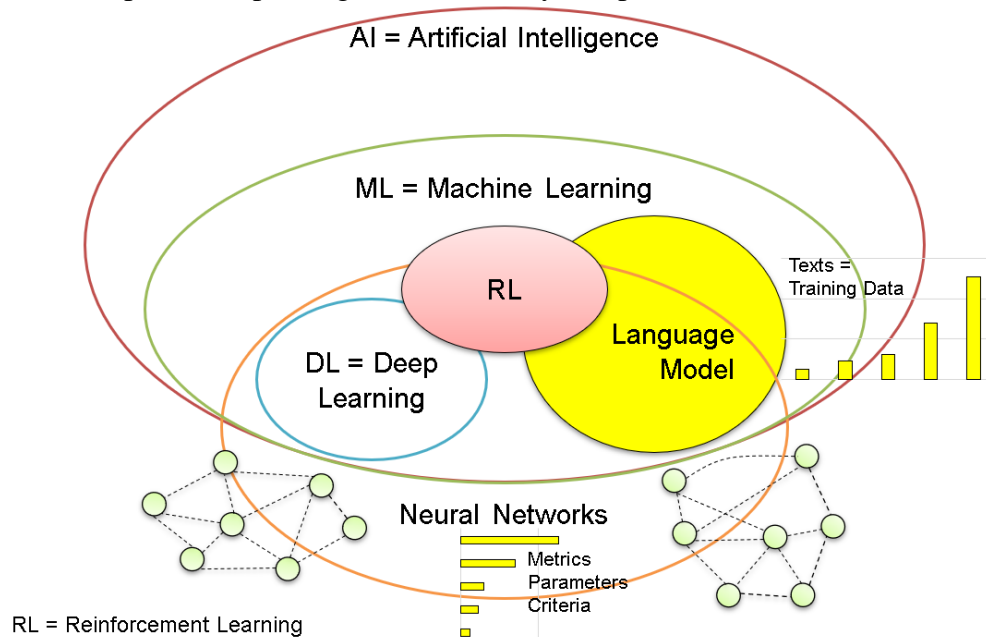
Google's Bard AI and Open AI ChatGPT are both based on Generative Language Models and act as powerful software tools that can generate automatically, explain, and debug source code across more than 20 programming languages (PL), including C++, Java, JavaScript, Python, TypeScript, and SQL.

One of the most impressive features of Bard AI is its ability to generate code for a given problem presented in text form. It can also analyze existing code fragments, explaining the program's structure step-by-step in text form and citing the source if larger passages are used from open-source projects.

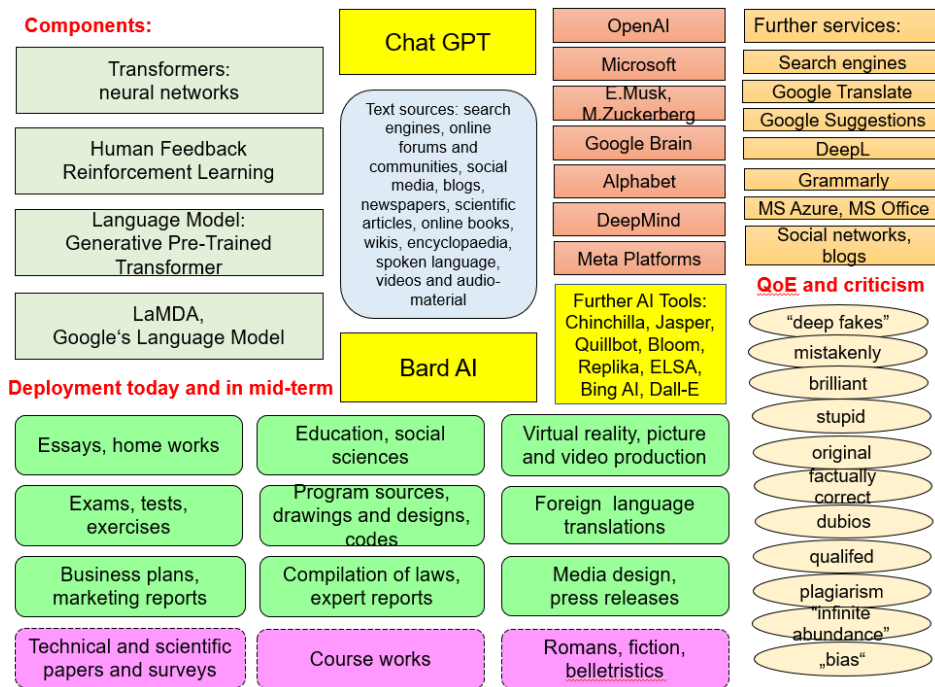
The bots analyse existing codes to explain how methods and functions work, which can be especially helpful when human-produced documentation is incomplete or difficult to understand. It has recently added math and logic functions and can even write useful functions for Google Sheets, allowing for efficient analysis of large amounts of data.

Using ChatGPT or Bard AI (refer to Fig. 4) can gradually improve and debug existing code, whether by optimizing inefficient code or fixing specific deficits. It can even debug its own code if it doesn't work as expected.

Overall, Generative Large Language Models are powerful tools that offer valuable assistance for developers in improving code efficiency and performance (refer to Table 2).



**Fig. 2. Demarcation of AI methods in LLMs**



**Fig. 3. AI applications nowadays**

**Table 2. AI chatbots in comparison [1,2]**

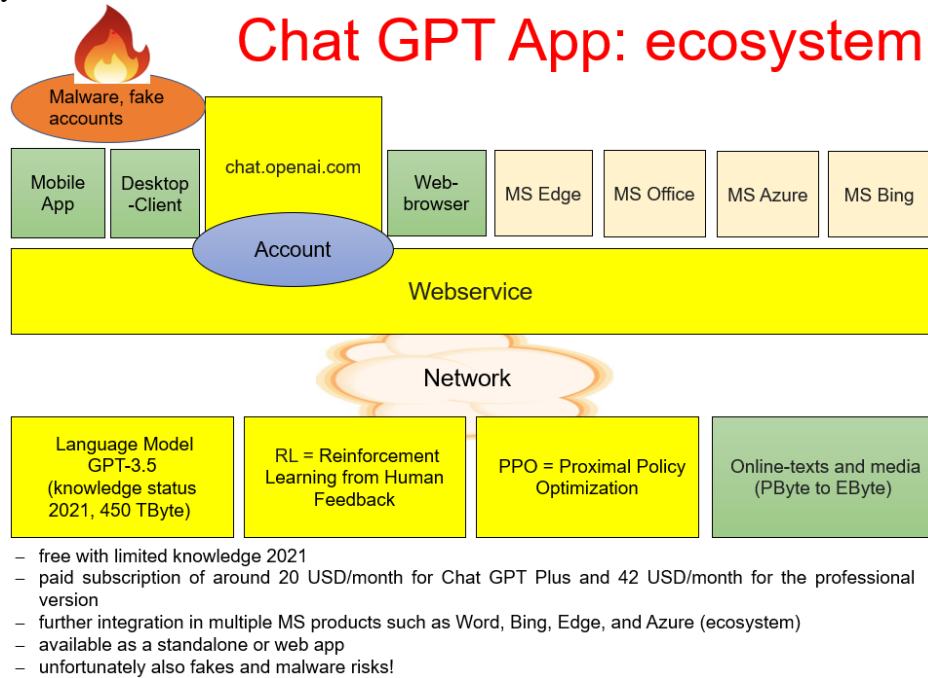
AI Platform	Chat GPT	Bard AI	Chinchilla AI
Vendor	Open AI	Google/ Alphabet	DeepMind (Google's AI firm)
Release dates	November 2022	February 2023	March 2022
Status	Free version and subscriptions: - Chat GPT Plus - Chat GPT Professional	Limited availability (currently only open to testers)	Currently unavailable to the public
Features	- Open-source conversational AI chatbot - Built on Open AI's GPT-3.5 - Draws information from data it's trained on	- AI-powered conversational chatbot - Built on Google's LaMDA - Draws information from the internet	- Made with 70 billion parameters

**7. Avoidance of the significant AI risks for Digital Ecosystems and Generative Language Models**

There is one of the most important topics. The Top10 of these risks are [8] as follows (refer to Fig. 4):

1. Plagiarism culture
2. Copyright issues and violence
3. Free user contributions with middle to low quality
4. Information but not knowledge
5. Intellectual stagnation
6. Data security and user privacy
7. Unrecognized bias (systematic error)
8. Human credulity
9. Digital dementia

## 10. Mythos about "Infinite Abundance".



**Fig. 4. ChatGPT at a glance and its ecosystem**

## 8. Criticism and Warnings Against Generative AI-Language Models

An updated survey from the USA confirmed that 43% of all employees have already used Chat GPT at work. Unfortunately, as this new survey has shown, too, the AI tools provide not only positive effects. Even in contrast: it could affect up to 300 million jobs worldwide, especially lawyer assistant and management employees. An open letter published by the non-profit society "Future of Life Institute" has already been signed by ~10,000 prominent people, including Elon Musk and Steve Wozniak. E. Musk: "Powerful AI systems should not be developed until we are confident that their impact will be positive and their risks manageable". The open letter also mentions the potential risks to our civilization from generative AI language models in the form of economic and political disruption (fake news, manipulated societies and finances, uncontrolled access to dangerous substances and weapons). The EUROPOL had already warned of the possible misuse of the Chat GPT for phishing attempts, disinformation, and cybercrimes.

Herewith some conclusions from the recent EUROPOL reports are cited: AI makes it easier for criminals to misuse available knowledge for malicious purposes such as illegal weapon operations, terror, porn and sex, drug-pushing, networking, and software hacking, but it also provides for law enforcement officers, agencies and forensics new ways to fight against such crime challenges. "AI is a potentially existential threat to humanity. A training pause for AI is required..." said Elon Musk [9-11].

Autocratic regimes can use AI for the production of fake news and propaganda purposes. Some such states regard AI as strategically very important and would like to give AI researchers excellent freedom grades. For this aim, domestic access to AI tools must be restricted (like Wassenaar Arrangement - 1996) [12].

### Conclusion

This is a work-in-progress. Based on the discussed aspects a new Springer LNEE series title is prepared for the year 2024: "Digital Ecosystems: Interconnecting Advanced Networks with AI Applications" with approx. 700 pages, 39 chapters each up to 16-20 pages in Springer format, under own edition, in close cooperation of scientists from Germany, Ukraine, Switzerland, Slovak Republic, Poland, Czech Republic, South Korea, China, Italy, North Macedonia, Azerbaijan, Kazakhstan, France, Latvia, Greece, Romania, USA, Finland, Morocco, Ireland, United Kingdom.

This book will continue the former Springer LNEE book series:

1. Andriy Luntovskyy, Mikhailo Klymash et al. (Eds.). "Intent-Based Networking" (2022, LNEE 831, ISBN 978-3-030-92433-1).
2. Andriy Luntovskyy, Mikhailo Klymash et al. (Eds.). "Emerging Networking" (2023, LNEE 965, ISBN: 978-3-031-24962-4).

#### References:

1. PCGUIDE: BARD AI vs. ChatGPT (online): <https://www.pcguidе.com/apps/bard-ai-vs-chat-gpt/>.
2. PCGUIDE: ChatGPT vs. CHINCHILLA AI (online): <https://www.pcguidе.com/apps/chat-gpt-vs-chinchilla-ai/>.
3. R. van Root. E-Books von ChatGPT tauchen bei Amazon auf – Problem für Verlage (online): <https://OpenAIunsplash.com/>.
4. F. Peters. E-Books von ChatGPT tauchen bei Amazon auf – Urheberrecht unklar. Basic thinking (online): <https://www.basicthinking.de/>.
5. Sam Altman. ChatGPT: OpenAI-Gründer Sam Altman fordert Regulierung von KI (online): <https://OpenAIunsplash.com/>.
6. L. Hoffmann. ChatGPT im Hochschulkontext – eine kommentierte Linksammlung, Hochschulforum Digitalisierung (online): <https://hochschulforumdigitalisierung.de/de/blog/chatgpt-im-hochschulkontext-kommentierte-linksammlung>.
7. C. Spannnagel. Regeln für Studierende für den Umgang mit Tools – „Rules for Tools“, PH Heidelberg (online): <https://csp.uber.space/phhd/rulesfortools.pdf>.
8. Peter Wayner. Angst x ChatGPT & Co.: Zehn Gründe, Generative AI zu fürchten (online): <https://www.computerwoche.de/ap/peter-wayner,3298>
9. E.Musk. Risiken für die Gesellschaft: Musk und andere Experten fordern Trainingspause für künstliche Intelligenz, LA/ Reuters (Online, in German: 29.03.2023, 11.16 Uhr): <https://www.manager-magazin.de/>.
10. Stuart Russell, Daniel Dewey, Max Tegmark. Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence, in "AI Magazine", Winter 2015, pp. 105-114.
11. Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence: An Open Letter (Online): [https://futureoflife.org/data/documents/research\\_priorities.pdf](https://futureoflife.org/data/documents/research_priorities.pdf).
12. The Wassenaar Arrangement on Export Controls for Conventional Arms and Dual-Use Goods and Technologies (online): <https://www.wassenaar.org/>.

**УДК 004.94**

*Філін Олег Васильович, студент  
Міжнародний гуманітарний університет*

### **РОЗРАХУНОК В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ANSYS 3 ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ ІМПОРТОВАНОЇ З «AUTODESK 3DS MAX»**

***Анотація:** використання програмного комплексу «Autodesk 3Ds Max», побудова та імпорт геометрії для аналізу напружено-деформованого стану залізобетонного стовпа в розрахунковому комплексі «Ansys», яка є потужною і зручною програмною системою з кожною новою версією надає дедалі ширші можливості для комп'ютерного моделювання фізичних процесів.*

ПК ANSYS – це багатоцільовий пакет програм для чисельного моделювання фізичних процесів та явищ у галузі міцності, динаміки рідин та газів, теплофізики, електромагнетизму, акустики. У ПК ANSYS представлені інструменти щодо наступних типів аналізу:

Fluid Mechanics – моделювання течій рідини та газу. Structural Mechanics – моделювання задач динаміки та міцності, включаючи лінійний статистичний аналіз, спектральний та гармонійний аналіз, оцінку втрати стійкості, механіку руйнування. Electromagnetics – розрахунок радіоелектронних компонентів та пристроїв, інтегральних схем, антен, електричних машин, приводів, силової електроніки, систем автоматики, трансформаторів, електричних батарей. Пов'язані розрахунки - моделювання завдань на стику різних розділів фізики, наприклад взаємодії потоків рідини або газу зі структурами (FSI). Дозволяє проводити багатодисциплінарний аналіз, заснований на поєднанні різних типів вирішувачів.

Був випробуваний варіант використання двох програмних комплексів. Для спрощення побудови геометрії та подальшого імпорту в програмний комплекс «Ansys» ми скористалися програмою «Autodesk 3Ds Max» (рис. 1).

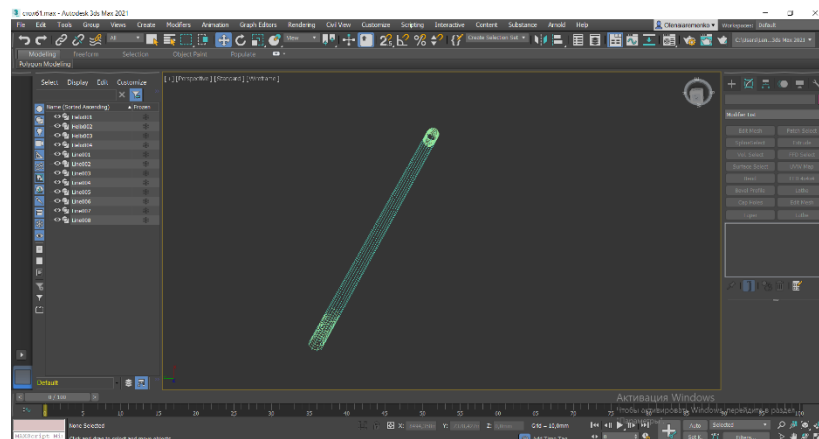


Рис. 1. Побудова геометрії

Для побудови залізобетонного стовпа використали програму «Autodesk 3Ds Max». Модель висотою 10,5 м та змінного перерізу. Імпортована модель була коректно сприйнята програмою «Ansys». Програма дозволяє проводити чисельний аналіз задач механіки суцільного середовища і надає широкі можливості для підготовки геометричних і сіткових моделей і подальшої обробки результатів розрахунку. Виконано побудову розрахункової сітки (рис. 3). Якісна розрахункова сітка в більшості випадків є одним з ключових аспектів отримання достовірних результатів чисельного рішення. Більш того, розрахунок на сітці, яка недостатньо добре відповідає конкретній задачі, може привести до зниження точності рішення, відсутності збіжності, виникнення різного роду нестійкостей і руйнування чисельного рішення.

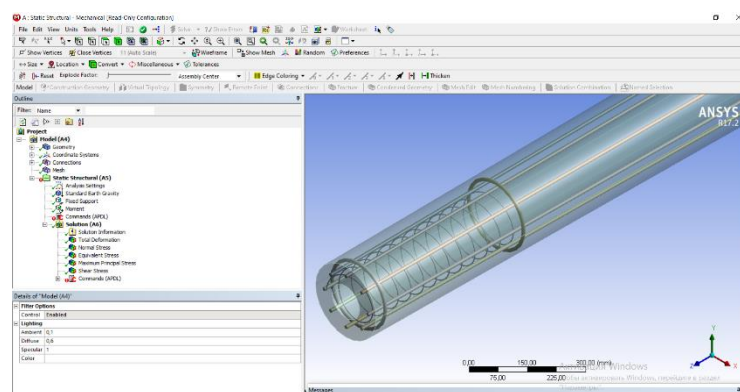


Рис. 2. Модель стовпа.

Одним з найважливіших етапів проектування конструкції є вибір розрахункових схем. Цьому етапу, як правило, приділяється мало уваги. Проектувальник зазвичай вибирає добре апробовану розрахункову схему. Наприклад, з просторової рами виділяється поперечна рама. Розрахунок виконується на частку навантаження, що припадає на неї. Очевидно, що такий підхід є наближеним.

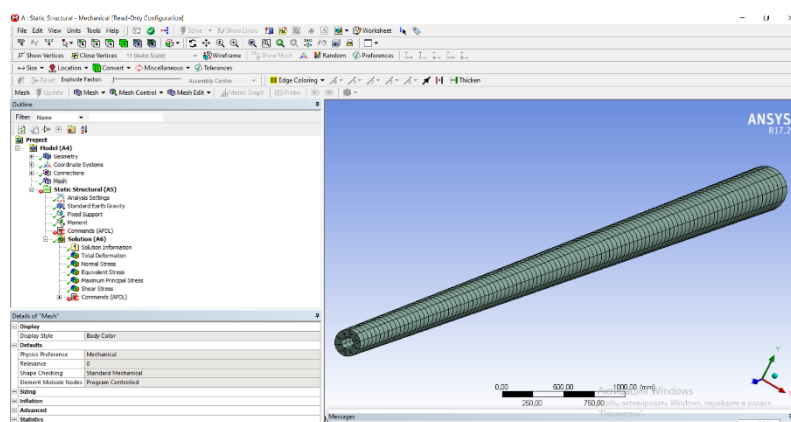


Рис. 3. Побудова розрахункової сітки

Сьогодні, у зв'язку зі значним розвитком комп'ютерів є можливість вивчення більш складних і досконалих розрахункових схем, що призводить до підвищення надійності, міцності і довговічності конструкцій і споруд, ефективного їх використання, зниження матеріаломісткості і вартості.

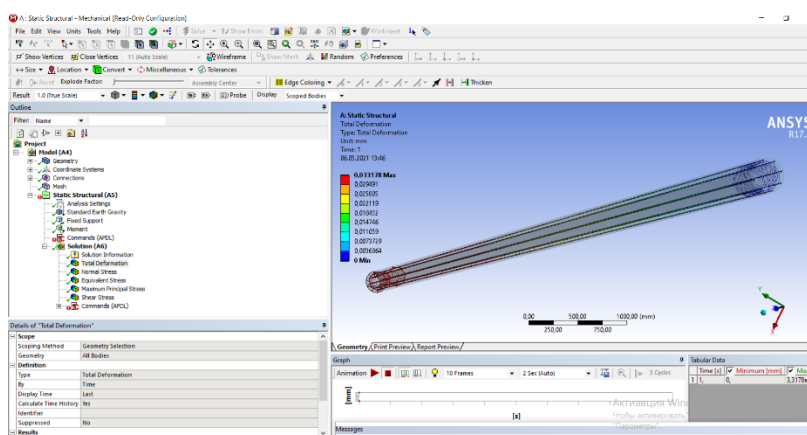


Рис. 4. Деформації

Було виконано розрахунок (рис. 4) для коректного сприйняття моделі використовувалася мова APDL.

**Висновки.** При побудові геометрії може бути використаний програмний комплекс «Autodesk 3dsMax» наступний імпорт моделі коректно сприймається програмою «Ansys», яка є потужною і зручною програмною системою, яка з кожною новою версією надає дедалі ширші можливості для комп'ютерного моделювання фізичних процесів.

Розрахунок з використанням програмного комплексу «Ansys» дає повне уявлення про напружено-деформований стан залізобетонного стовпа.

### Література:

1. Murdoch K. 3ds Max 2012 User's Bible / Kelly Murdoch. – John Wiley & Sons, 2012. – 1312 p.
2. Чихладзе Е. Д. Будівельна механіка : підручник. Харків : УкрДАЗТ, 2011. 320 с.

## СЕКЦІЯ 2. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА КІБЕРПСИХОЛОГІЯ

УДК 004.725.5

*Григор'єва Т.І., кандидат технічних наук, доцент,  
Міжнародний гуманітарний університет, місто Одеса  
tig15090808@gmail.com*

*Йона Л.Г., кандидат технічних наук, доцент,  
Міжнародний гуманітарний університет, місто Одеса  
yonalarisa66@gmail.com*

*Мазур Г.Д.  
Міжнародний гуманітарний університет, місто Одеса  
Anna2102@i.ua*

*Кравченко І.А.  
Міжнародний гуманітарний університет, місто Одеса  
irakravchenko609@gmail.com*

### ЗАХИСТ КОНФІДЕНЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ШЛЯХОМ ШИФРУВАННЯ НА ОСНОВІ ТЕНЗОРНИХ МЕТОДІВ

***Анотація.** Для забезпечення захисту основних властивостей інформації, а саме конфіденційності, цілісності та доступності, а також для прискорення процесу шифрування, з ціллю підвищення ефективності засобів захисту конфіденційної інформації, пропонується здійснювати шифрування повідомлення за допомогою операцій тензорного аналізу.*

У сучасному світі інформаційних технологій, при обміні документами по незахищених каналах зв'язку, користувачі можуть зіткнутися з проблемою витоку інформації чи її модифікування. Зловмисники можуть завдати істотних збитків банківським та комерційним структурам, державним підприємствам та організаціям, а також приватним особам, які використовують електронний документообіг. Для того, щоб вирішити цю проблему, необхідно забезпечити захист інформації, що міститься в документі та провести процедуру встановлення автентичності автора і самого документа.

Комплекс процесів та технологічних рішень, які допомагають здійснити захист даних та запобігання несанкціонованому доступу до системи, входять до складу понять, що визначають кібербезпеку, яка є одним із найважливіших елементів національної і інформаційної безпеки [1,2].

Застосування тензорних методів в технічних напрямках, в тому числі, в телекомунікаціях [3-10], отримані результати виводять дослідження на новий рівень, який не вдавалося отримати, використовуючи методи, що застосовувалися раніше. Використання тензорного аналізу запропоновано для дослідження характеристик якості мережі масового обслуговування, яка складається з систем масового обслуговування М/М/1 [4]. Обґрунтовано доцільність тензорного методу, що дозволяє отримувати ефективні рішення оцінки характеристик якості при одночасному аналізі мережі та мережі масового обслуговування різної структури та розмірів функціональних характеристик [4,8].

Тензорні методи дозволяють розв'язувати різні мережеві завдання, прогнозувати стан мережі на певному проміжку часу з урахуванням топології мережі та особливості функціонування використовуваних протоколів. Показано можливість спільного математичного моделювання структурних властивостей та функціональних характеристик телекомунікаційних систем за допомогою спеціального способу завдання системи координат

та властивості інваріантності тензора, де інваріантом є значення трафіку у кожний конкретний момент часу [3-5].

В [6] розглянуто тензорну модель телекомунікаційної мережі, яку представлено в базисі міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар. Перевагою використання саме тензорної моделі є забезпечення якості обслуговування за показниками пропускної здатності, середньої міжкінцевої затримки та ймовірності втрат пакетів.

Для дослідження якісних характеристик функціонування мережі MVNO/LTE запропоновано тензорний метод декомпозиції архітектури мережі з метою отримання оптимальної конфігурації з'єднання базових станцій e-NodeB за критеріями максимальної пропускної здатності та заданих параметрів затримки [8].

В задачах апроксимації випадкових процесів та полів, при відновленні дискретизованих сигналів пропонується використовувати тензорні сплайни [9,10].

На даний час теорія кодування [11-14] дуже добре розвивається і застосовує різноманітні розділи вищої математики: теорія ймовірностей, теорія чисел, математична логіка, такі розділи лінійної алгебри, як матриці, векторна алгебра і теорія поліномів.

Забезпечити захист основних властивостей інформації, а саме конфіденційності, цілісності та доступності, можна шляхом використання криптографічних алгоритмів. Якщо йдеться про забезпечення конфіденційності, тобто захисту від витоку інформації, то це вирішується шляхом шифрування відкритого повідомлення. Зашифроване повідомлення у вигляді криптограми передається одержувачеві по незахищеному каналу. При цьому, для зашифрування та розшифрування повідомлення, необхідно знати ключ шифрування (правило перетворення) [15].

В залежності від обраного алгоритму шифрування, операції зашифрування та розшифрування можуть виконуватися по-різному. Так, якщо використовувати симетричний алгоритм шифрування, то процедури зашифрування та розшифрування виконуватимуться одним спільним секретним ключем.

В разі використання асиметричного алгоритму, процес шифрування буде виконуватися двома різними ключами. Тобто зашифрування тексту буде здійснюватися відправником за допомогою відкритого ключа, а процес відновлення повідомлення з криптограми – за допомогою іншого секретного ключа одержувача. Ця пара ключів обирається за певним законом [16].

Проте, для процесу шифрування частіше обирають саме симетричні системи зі спільним секретним ключем. Цей вибір пояснюється швидкістю шифрування (асиметричні системи працюють повільніше).

Для підвищення ефективності засобів захисту конфіденційної інформації пропонується здійснювати шифрування повідомлення тензорними методами [17,18].

Розглянемо початковий вихідний текст, наприклад, у вигляді тензора четвертої валентності  $T_{ijk}^h$   $n$  – мірного простору,  $h, i, j, k = \overline{1, n}$ . Якщо здійснити алгебраїчне додавання з числовим коефіцієнтом 0,5 після операцій симетрування і альтернування по двох коваріантних індексах, то компоненти вихідного тензора не зміняться [17]:

$$T_{ijk}^h = 0,5(T_{(ij)k}^h + T_{[ij]k}^h), \quad (1)$$

де формулою  $T_{(ij)k}^h = T_{ijk}^h + T_{jik}^h$  задається операція симетрування по двох індексах  $i$  та  $j$ ;  $T_{[ij]k}^h = T_{ijk}^h - T_{jik}^h$  – операція альтернування по індексах  $i$  та  $j$ .

Перетворення (1) може виступати в якості ключа шифрування. В результаті операцій симетрування і альтернування по двох індексах із вихідного тензора  $T_{ijk}^h$  ми отримаємо два тензори  $T_{(ij)k}^h$  і  $T_{[ij]k}^h$ , які можна зберігати або відправляти. Тобто в процесі шифрування із одного тензора ми отримали два тензори. Потім за допомогою формули (1) можна здійснити розшифрування. Оскільки розглянуті операції симетрування і альтернування є дуже



простими, то всі обчислення не потребують затрати великих ресурсів. Тому процеси шифрування і розшифрування є простими і достатньо швидкими, тобто є ефективними.

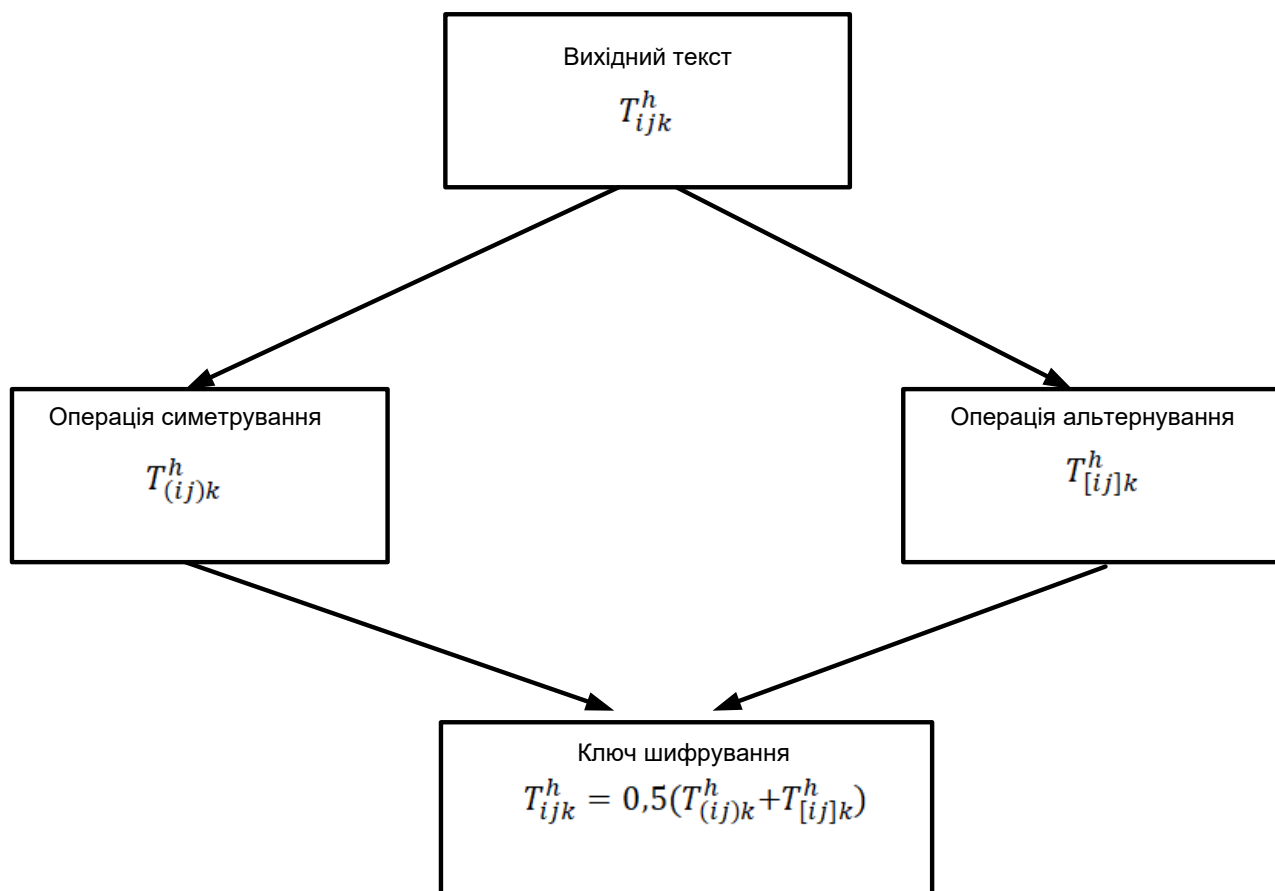


Рисунок 1. Процес створення ключа шифрування

Таким чином, можна зробити висновки, що за результатом виконання операцій тензорного аналізу, можна отримати можливість зашифрування повідомлень та розшифрування криптограм. При цьому відбувається підвищення швидкодії процесу забезпечення захисту конфіденційної інформації при здійсненні документообігу.

## Література

1. Kivalov S. Detection and prediction of DDoS cyber attacks using spline functions/ S. Kivalov, I. Strelkovskaya // IEEE TCSET 2022, 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) – 2022.
2. Горлинський В. Кібербезпека як складова інформаційної безпеки України / Віктор Горлинський, Борис Горлинський // Information Technology and Security. – 2019. – Vol. 7, Iss. 2 (13). – P. 136-148.
3. Поповський В. В. Основи теорії телекомунікаційних систем: підручник. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 368с.
4. Tensor method of traffic management problems solving with service quality network parameters maintenance [Text] / I.V. Strelkovskaya, I.N. Solovskaya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2011. – V. 5, № 3(53) – P. 37-42.

5. Тензорный метод оценки максимальной пакетной очереди узловой сети [Текст] / И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2010. – № 163. – С. 7-12.
6. Лемешко О. В. Дослідження вдосконаленої тензорної моделі маршрутизації в телекомунікаційній мережі, представленої в базисі міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар/ О. В. Лемешко, М. О. Євдокименко // Проблеми телекомунікацій. - 2020. – 1(26). – С. 3-22.
7. Strelkovskaya I.V. LTE/MVNO networks structure optimization based on tensor decomposition [Text] / I.V. Strelkovskaya, I.N. Solovskaya // Information and telecommunication sciences. – July-December – 2014. – V. 5, № 2(9). – P. 14-20.
8. Strelkovskaya I.V. Tensor model of multiservice network with different classes of traffic service/ I.V. Strelkovskaya, I.N. Solovskaya// Radioelectron.Commun.Syst – 2013. – 56, 296–303. <https://doi.org/10.3103/S0735272713060058>.
9. Стрелковская И.В. Тензорные сплайны в задачах восстановления дискретизированных случайных процессов и полей [Текст] / И.В. Стрелковская, Т.И. Григорьева // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2007. – Вып. 151. – С. 65-69.
10. Стрелковская И.В. Сплайн-матрицы в процедуре рекурсивной оценки состояний сетевых элементов и их режимов [Текст] / Стрелковская И.В., Григорьева Т.И. // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник наукових праць. – Львів, 2011. – №25. – С. 84-92
11. Білінський Й. Й. Електронні системи: навчальний посібник / Й. Й. Білінський, К. В. Огороднік, М. Й. Юкиш. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 208 с.
12. Романюк М.І. Основи теорії інформації та кодування. Конспект лекцій / М.І. Романюк, Ю. Г. Савченко// КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. –70 с.
13. Krasnobaev V. Mathematical Model of the Process of Tabular's Implementation of the Operation Algebraic Multiplication in the Residues Class/ V. Krasnobaev, M. Zub M, T. Kuznetsova, I. Perevozova, O. Maliy // 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). – 2019. – P. 1-6.
14. Краснобаев Віктор. Метод виконання операції додавання двох залишків за модулем/ Віктор Краснобаєв, Михайло Багмут, Єлизавета Лазарева, Людмила Горбачова, Катерина Кузнецова // IV Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем” (PCSITS)” 15 - 16 квітня 2021р.: тези доп. – Київ, Україна. – 2021. – С. 70-71.
15. Йона Л.Г. Криптографічний захист електронного документообігу [Текст] / Л. Г. Йона, О. О. Йона, В. С. Терешко // Цифрові технології.–2013. – № 13. – С. 142–146.
16. Hellman M.E. The Mathematics of Public-Key Cryptography / August 1979 Scientific American, INC, 1979. P. 146-157.
17. Разумова М. А., Хотяїнцев В. М. Основи векторного і тензорного аналізу. — К. : ВПЦ «Київський університет», 2011. – 216 с.
18. De Souza Sánchez Filho E. Tensor Calculus for Engineers and Physicists. — Springer, 2016. – 374 p.

## ОГЛЯД ПРОТОКОЛІВ ТА СЕРВІСІВ НАСКРІЗНОГО ШИФРУВАННЯ

***Анотація.** В роботі розглянуто найпопулярніші протоколи та сервіси наскрізного шифрування, які використовуються для захисту конфіденційності та безпеки даних під час їх передачі через мережу. Це може бути корисно для тих, хто цікавиться кібербезпекою, приватністю, а також для користувачів, які шукають безпечні методи комунікації та обміну інформацією.*

У багатьох службах зв'язку та обміну повідомленнями використовується шифрування. Однак, при традиційному шифруванні зашифроване повідомлення відправляється з пристрою відправника та досягає сервера служби обміну повідомленнями. На сервері повідомлення розшифровується, а потім шифрується назад і відправляється одержувачу. Отже, сервер може прочитати вміст повідомлення. Цей механізм не гарантує повної безпеки та конфіденційності важливих даних та інформації.

Наскрізне шифрування (end-to-end encryption, E2EE) – це тип шифрування, який забезпечує конфіденційність даних на всьому шляху їх передачі від відправника до отримувача. У E2EE дані шифруються в системі або пристрої відправника, і лише призначений одержувач може їх розшифрувати. Надіслане повідомлення не може бути прочитане чи змінено провайдером мережі, сервером, хакером або будь-якою іншою організацією чи службою.

Нижче описано основні кроки в процесі наскрізного шифрування.

***Генерація ключів.*** Кожен учасник комунікації генерує свою пару ключів – закритий (приватний) ключ і відкритий (публічний) ключ. Ці ключі унікальні для кожної розмови, генеруються та керуються виключно користувачами, а не постачальником послуг. Це означає, що навіть якщо третя сторона отримає доступ до даних, вона не зможе розшифрувати їх без криптографічних ключів. Приватний ключ залишається виключно на пристрої власника, а публічний ключ розповсюджується для комунікації з іншими учасниками.

***Шифрування даних.*** Коли відправник хоче надіслати повідомлення чи дані, вони шифруються за допомогою відкритого ключа отримувача. Це означає, що тільки власник закритого ключа може розшифрувати дані, використовуючи свій закритий ключ.

***Передача зашифрованих даних.*** Зашифровані дані передаються через комунікаційний канал або мережу. Технологія E2EE забезпечує захист даних від проміжних вузлів, таких як сервери, провайдери чи зловмисники, оскільки дані зашифровані таким чином, що лише власник приватного ключа може їх розшифрувати.

***Розшифрування даних.*** При отриманні зашифрованих даних, отримувач використовує свій закритий ключ для розшифрування повідомлення чи даних.

Важливо зауважити, що хоча E2EE забезпечує конфіденційність зв'язку, воно не захищає метадані, наприклад інформацію про відправника та одержувача або час і тривалість спілкування. Крім того, наскрізне шифрування не запобігає іншим ризикам безпеки, таким як зловмисне програмне забезпечення або неавторизований доступ до пристроїв.

Протоколи та сервіси наскрізного шифрування широко використовуються в різних програмах для обміну повідомленнями, службах електронної пошти та платформах обміну файлами для захисту конфіденційної інформації, наприклад особистих розмов, фінансових даних або конфіденційних документів, від несанкціонованого доступу або перехоплення. Розглянемо деякі із найпоширеніших.

Signal Protocol є одним із найпопулярніших протоколів наскрізного шифрування. Він використовується такими месенджерами, як Signal, WhatsApp та іншими платформами

обміну повідомленнями [1]. Протокол Signal поєднує розширений протокол Діффі-Хелмана (X3DH) для узгодження ключів та алгоритм Double Ratchet для шифрування. X3DH встановлює початковий спільний секретний ключ між двома сторонами, які взаємно автентифікують одна одну на основі відкритих ключів. До або після угоди про ключ за алгоритмом X3DH сторони можуть порівнювати свої ідентифікаційні відкриті ключі через певний автентифікований канал. Наприклад, вони можуть порівнювати відбитки відкритих ключів вручну або скануючи QR-код.

Pretty Good Privacy (PGP) є системою шифрування та підпису електронних повідомлень. PGP використовує гібридну схему шифрування, в якій розподіл ключів здійснюється за допомогою асиметричних криптоалгоритмів (RSA, ElGamal), а процес шифрування даних – за допомогою симетричних (IDEA, TripleDES, AES). Окрім шифрування PGP дозволяє також користувачам підписувати свої повідомлення із використанням алгоритму цифрового підпису DSA, таким чином забезпечуючи автентичність та цілісність даних.

OpenPGP є стандартом наскрізного шифрування, який розширює функціональність PGP і забезпечує зручний та безпечний обмін повідомленнями між користувачами [2]. Основною метою OpenPGP є створення відкритого та стандартизованого середовища для реалізації наскрізного шифрування електронної пошти, яке може бути використане різними програмами та службами для забезпечення конфіденційності комунікації. Сервери ключів OpenPGP є загальнодоступними репозиторіями для зберігання та отримання відкритих ключів. Користувачі можуть завантажувати свої відкриті ключі на сервери ключів, роблячи їх доступними для інших користувачів.

Наскрізне шифрування використовується платформою відеоконференцій Zoom для захисту конфіденційності аудіо- та відеоданих, які передаються під час зустрічей. Важливо зазначити, що E2EE у Zoom не увімкнене за замовчуванням і потребує активації користувачем. Проте, це обмежена функція, і не всі можливості Zoom, такі як запис зустрічей або використання деяких сторонніх інтеграцій, можуть бути доступні при використанні наскрізного шифрування.

Деякі поштові служби надають вбудовану підтримку наскрізного шифрування. Наприклад, Proton Mail є поштовим провайдером, який пропонує E2EE для всіх листів, які відправляються між користувачами Proton Mail [3]. Вміст електронних листів шифрується на пристрої користувача перед надсиланням на сервери, тобто лише відправник та одержувач можете розшифрувати дані.

Наприкінці 2022 року в Google повідомили, що для Gmail також буде впроваджено E2EE, яке отримало альтернативну назву «шифрування на стороні клієнта» (Client-side encryption, CSE). Це дозволить окремим користувачам пакету хмарного програмного забезпечення Google Workspace надсилати та отримувати надійно зашифровані листи. Шифрування вмісту виконується у браузері клієнта перед передачею чи збереженням даних у хмарному сховищі Google. Разом з тим, Google пояснює, що CSE відрізняється від E2EE, оскільки клієнти використовують ключі шифрування, які генеруються та зберігаються в хмарній службі керування ключами, тож адміністратори можуть контролювати ключі та тих, хто має до них доступ. З E2EE адміністратори не контролюють ключі клієнтів і не можуть впливати на доступ користувача до ключів.

Загалом, наскрізне шифрування є одним з найбільш надійних методів шифрування, проте важливо враховувати, що для його ефективного реалізації, як відправник, так і одержувач мають використовувати ту саму поштову службу або сумісні методи та протоколи шифрування.

## Література

1. Signal. Technical information. Specifications and software libraries for developers. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.signal.org/docs/>

2. Standard – OpenPGP. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.openpgp.org/about/standard/>
3. Secure email that protects your privacy. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://proton.me/mail>

**UDC 316.6:004.7**

*Andrii Shpilkin, student,  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
andrii.shpilkin@nure.ua*

## **PSYCHOLOGY OF CYBERSPACE. SOCIAL MEDIA ADVANTAGE FOR THREAT ACTORS**

**Abstract.** *This work is dedicated to the study of the existing patterns in cybersecurity and their relation with overall trends in cyberpsychology. Also, the object of social media for phishing and analysing behaviour is covered.*

Cybersecurity is only establishing subject of computer science. However, with the rapid development of information communication technology, the importance of it is growing every year.

Even though a lot of advanced tools and techniques compromise a system, the most effective remains the same for a lot of years straight. Some organizations, such as Identity Defined Security Alliance (IDSA), have gathered data from more than 500 individuals, who are responsible for information technology (IT) or security departments and have more than 1000 employees [1]. The results of the questionnaire are shown in Figure 1.

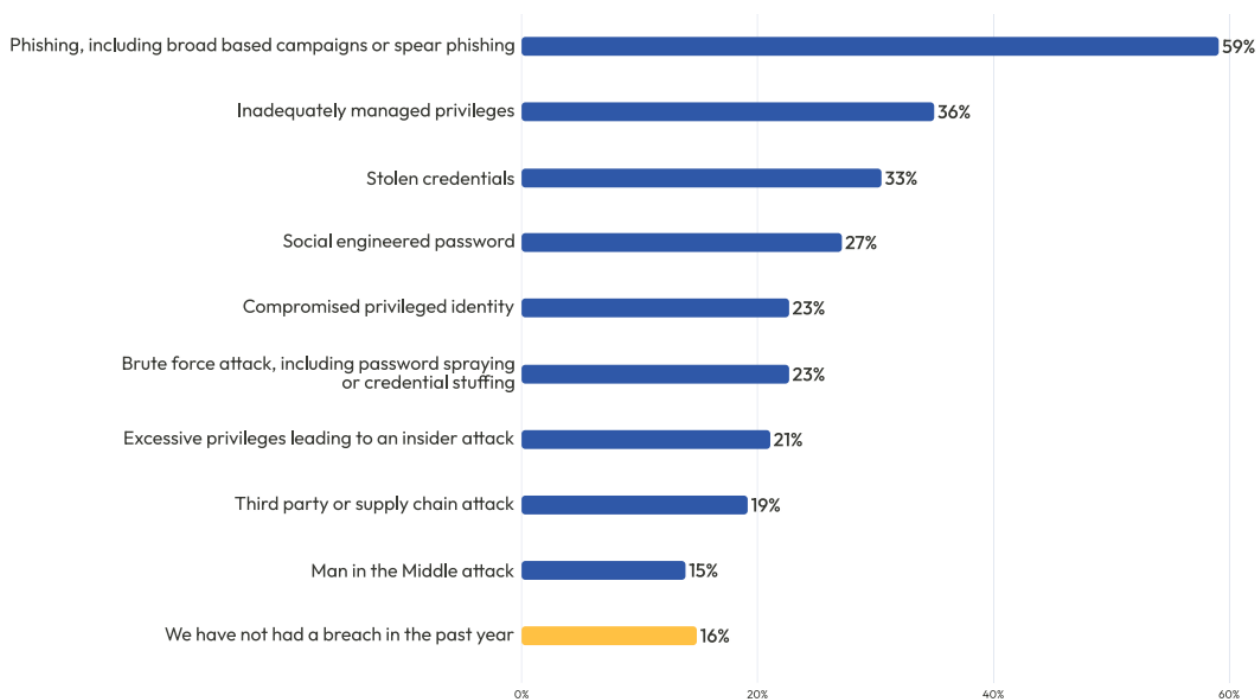


Figure 1 – Kinds of identity-related breaches in companies for 2021

By analysing Figure 1, it can be concluded that all kinds of phishing (spear phishing and others) remain the top threat for companies with a 59% rate. Socially engineered passwords have

occurred in 27% of organizations. The famous case of the Uber breach in the autumn of 2022 emphasizes the importance of staying cautious for not to become the next breached company or individual.

The interesting thing is that by adding insider attacks due to excessive privileges, the percentage of breaches related to humans significantly rises up. That is why people are the weakest link in cybersecurity.

And from that perspective, cyberpsychology started to form as an independent area, with a focus on understanding the psychological processes related to and underlying, all aspects and features of technologically interconnected human behaviour [2].

All our interactions on the Internet remain there. And the users form their digital footprint. By analysing comments and photos, the Big 5 personality traits can be predicted (Azucar et al. [3]). The Big 5 model is one of the most used in behavioural sciences. It consists of five dimensions – wide categories of personal traits.

Competence, self-discipline, self-control, perseverance and a sense of duty are all aspects of conscientiousness and adherence to rules and regulations.

Positive emotions, friendliness, assertiveness, ambition and a sense of adventure are all characteristics of Extraversion.

Compassion, cooperation, belief in the inherent goodness of people, reliability, helpfulness, obedience and directness are all characteristics associated with agreeableness.

Being open to new and different experiences, inventive ideas and unconventional views implies a tendency towards creativity, adaptability and imagination.

The tendency to experience negative emotions, anxiety, pessimism, impulsivity, susceptibility to stress and self-doubt are characteristics of neuroticism [4].

According to this information, a threat actor can try to use some of the six methods of influence that were represented by famous psychologist and academic R. Cialdini in his book «Influence».

Authority – this implies that people tend to obey the orders or requests from those, who are hierarchically higher by their position or status.

Commitment and consistency – mostly, the majority of people try to act consistently in similar situations.

Reciprocity – based on the social norms to give back after favour.

Liking – if one human likes another, it results in a higher agreement rate.

Social proof – as people try to seem normal and fit in society, they trust more to someone who has done such things before.

Scarcity – limitation of resources. This technique is widely used in marketing because rare things make people desire them more. Even information with limited access persuades better [4].

Figure 2 represents the relation between the Big 5 model and Cialdini's influence methods [4].

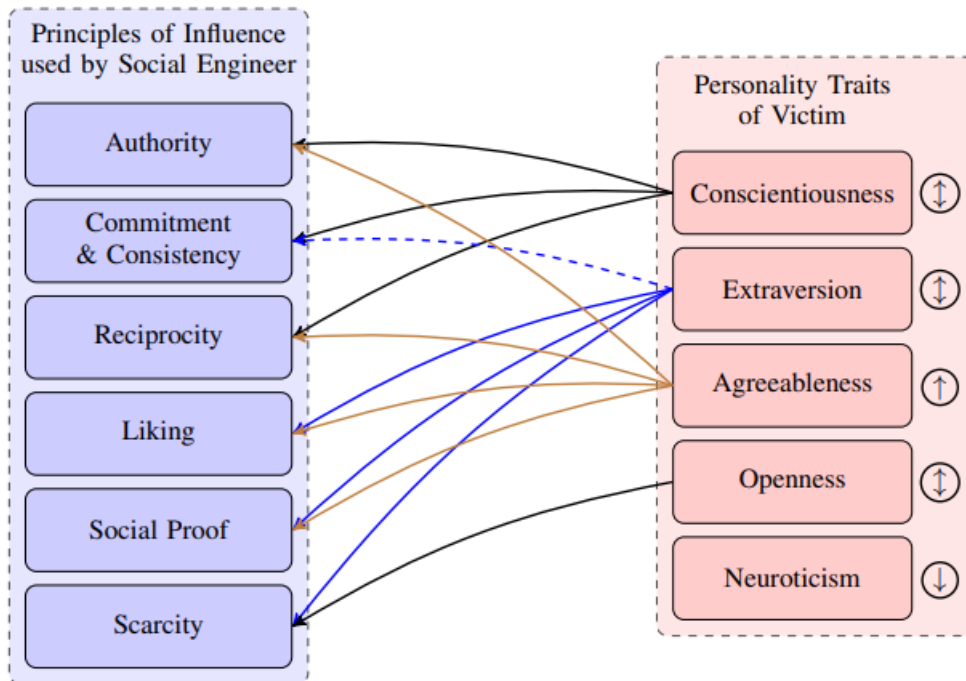


Figure 2 – The relation between the Big 5 model and Cialdini’s influence methods

Analysis of Figure 2 also shows how personality traits affect susceptibility to phishing messages. Arrow up – for increasing this chance, down – for decreasing and two-way arrow – for both (depends on circumstances and not yet researched extensively).

So, because people can intentionally or unintentionally disclose a lot of personally identifiable information (PII), the task becomes much easier for threat actors. Of course, because threat actors often do not know their victim, they are more likely to use authority or urgency (lack of time).

Research by Alkhalil et al [5] also emphasizes that age and demographics are important factors to define the resistance of soshing (a term to refer phishing through social media). In general, young adults from 18 to 25 and old people (65+) click on the phishing link with more probability. Demographics here represent not only nationality but rather the working environment. For example, those who spend more time in front of computers are less susceptible to these threats. The same is true for information technology and engineering students.

The CERT-UA has documented cases of phishing attacks in Ukraine involving fraudulent SMS messages as well as fraudulent emails purporting to be official government communications. In one worrying incident, people are having 10 UAH deducted daily from their bank accounts as a result of unauthorised SMS subscriptions to unidentified services. These incidents highlight the need for people to be vigilant, to be cautious when disclosing personal information, and to use security measures to protect themselves against phishing scams and unauthorised financial transactions.

It is clear from the evidence presented that successful phishing attacks require not only technical expertise but also an understanding of human psychology. Phishers use psychological vulnerabilities including trust, curiosity, and the desire for rewards to trick others into falling for their frauds. As a result, it is critical to educate oneself on basic phishing strategies as well as the psychological manipulation involved.

A multi-pronged approach is required to effectively combat phishing efforts. Individuals might benefit from awareness training in recognizing and responding to phishing threats. Technical methods such as spam filters, encryption, and two-factor authentication can provide additional protection layers. Furthermore, legal measures are critical in pursuing and discouraging those who engage in phishing activities.

By combining knowledge of psychology with technical safeguards and legal action, individuals and organizations can enhance their defences against phishing attacks and protect themselves from the potential harm caused by online scams.

#### References:

1. 2022 Trends in Securing Digital Identities [Electronic resource] // Identity Defined Security Alliance. – [2022]. – Mode of access: <https://assets.beyondtrust.com/assets/documents/2022-Trends-in-Securing-Digital-Identities.pdf>
2. Cyberpsychology: Defining the Field [Electronic resource] // Psychology Today. – [2020]. – Mode of access: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-cyberpsychology-page/202011/cyberpsychology-defining-the-field>
3. Predicting the Big 5 personality traits from digital footprints on social media: A meta-analysis. Personality and Individual Differences [Electronic resource] // Azucar, Danny & Marengo, Davide & Settanni, Michele. – [2018]. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/321965757\\_Predicting\\_the\\_Big\\_5\\_personality\\_traits\\_from\\_digital\\_footprints\\_on\\_social\\_media\\_A\\_meta-analysis](https://www.researchgate.net/publication/321965757_Predicting_the_Big_5_personality_traits_from_digital_footprints_on_social_media_A_meta-analysis)
4. The Social Engineering Personality Framework [Electronic resource] // Uebelacker, Sven & Quiel, Susanne. – [2014]. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/271135217\\_The\\_Social\\_Engineering\\_Personality\\_Framework](https://www.researchgate.net/publication/271135217_The_Social_Engineering_Personality_Framework)
5. Phishing Attacks: A Recent Comprehensive Study and a New Anatomy // Alkhalil Zainab & Hewage Chaminda & Nawaf Liqaa and Khan Imtiaz. – [2021] – Mode of access: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcomp.2021.563060/full>

*Манько Денис Григорович,  
доктор юридичних наук, доцент,  
завідувач кафедри державно-правових дисциплін,  
Міжнародний гуманітарний університет  
місто Одеса, Україна. ORCID: 0000-0002-7677-397X*

## **ІТ-ПРАВО ЯК КОМПОНЕНТ ГАРМОНІЇ РЕАЛЬНОГО ТА ВІРТУАЛЬНОГО СВІТУ**

*Все те, що є – це інформація...*

Аналізуючи інформаційне суспільство постмодерну ми можемо ідентифікувати відчутну зміну засад світоглядних позицій у бік технологізації, як перспективи, сенсу і форми подальшого розвитку людства. Зазначені трансформації отримують прояв на всіх рівнях: мислення, діяльності, віри.

За дослідженнями відомого техно-футуролога Р. Курцвела, зроблено прогноз до 2099 р., щодо розвитку ІТ-індустрії, зокрема: до 2020 р., комп'ютери досягнуть потужностей людського мозку; у 2022 р., в США та Європі будуть приймати закони, що регулюватимуть відносини людей і роботів; у 2029 р., комп'ютер пройде тест Тьюрінга на предмет наявності у ньому розуму, що фактично стане створенням розумного штучного інтелекту; в 2038 р., з'являться роботизовані люди; 2042 р., буде роком першої потенційної реалізації безсмертя; у 2044 р., небіологічний інтелект у мільярди разів стане розумнішим, аніж біологічний... [6]

О. Вінник, звертає увагу що, цифрові технології забезпечили створення та функціонування цифрового світу, що надає грандіозні можливості щодо: поширення інформації і, відповідно, просування своїх ідей в суспільстві та товарів на ринку; створення принципово нових цінностей, що не мають речової форми; можливості діяти анонімно (що притаманно й учасникам віртуальних підприємств), швидкість, економічність та легкість онлайн спілкування; інноваційного розвитку тощо. Зазначені можливості використовуються



з різною метою: суспільно корисною, суспільно нейтральною, суспільно шкідливою, що зумовлює необхідність зваженого і соціально спрямованого ставлення державно-організованого суспільства та міжнародної спільноти до цифровізації, встановлення цивілізованих правил гри в аналого-цифровому світі, включно із закріпленням: основних цифрових прав та обов'язків учасників цифровізованих відносин, заборони зловживання своїми цифровими можливостями на шкоду іншим особам та суспільству в цілому, правового становища віртуальних суб'єктів і правового режиму цифрових благ/ресурсів, правил віртуального спілкування (включно з договірним), правил конкуренції на цифровізованих ринках, а також адекватних цифровому світу засобів відповідальності за порушення зазначених правил [1, с.37].

Відтак, технологізація зумовила виділення у особливе становище інформацію (данні), яка стала першоелементом структурування нової моделі світогляду й світосприйняття.

Ю. Харарі, у своїй книзі «Homo Deus. Коротка історія майбутнього» зазначає появу нових форм трансгуманізму: техногуманізм і релігію даних (датаїзм). Релігія даних стверджує, що люди виконали свою космічну місію і тепер мають передати естафету абсолютно новим видам сутностей. На відміну від датаїзму, в якому прийняття рішень відбувається на підставі цифрових показників, техногуманізм на перше місце ставить бажання та специфічні інтереси людини. Техногуманізм погоджується, що Homo sapiens, яким ми його знаємо, уже пройшов свій історичний шлях і буде зайвим у майбутньому, однак його вдосконалені фізичні й ментальні здібності допоможуть йому зберегти себе навіть у протистоянні найскладнішим несвідомим алгоритмам. Оскільки інтелект відділяється від свідомості, і тому, що несвідомий інтелект розвивається з карколомною швидкістю, люди повинні активно вдосконалювати свій розум, якщо хочуть залишитися в грі» [4].

Слід враховувати, що розвиток технологій штучного інтелекту, великих даних і алгоритмів не тільки допоможе людині вирішувати глобальні проблеми, але й має суттєві ризики. Так цінність людини, її бажання розвиватися визначатиметься лише тими даними, які для неї буде генерувати технологічний алгоритм. За таких умов людина стає лише ланкою в ланцюзі, а будь-який людський досвід знецінюється. Однак зазначене не зменшує тієї ролі яку відіграє інформація у сучасному суспільстві

Маючи настільки глобальний характер, зазначені процеси безумовно мають отримати належне правове регулювання. З цього приводу Р. О. Стефанчук зазначає, що «зміна суспільних відносин, зумовлена створенням і бурхливим розвитком інформаційних технологій, потребує швидкої та адекватної реакції з боку права. Водночас сучасний правовий механізм регулювання і охорони суспільних відносин не може повною мірою належно забезпечити відповідні зміни, спричинені експансією ІТ» [3, с.30].

Правове регулювання в сучасній державі має відбуватися з застосуванням цілісної системи засобів, які підпорядковані головній меті – забезпеченню реалізації й захисту прав і свобод індивідів. Указані засоби мають бути досконалими не лише з точки зору вимог юридичної техніки й технологій, але й відповідати потребам і інтересам суспільства, в тому числі й з урахуванням розвитку інформаційно-технологічних і комунікативних процесів [2, с.19].

На сьогоднішній день ми можемо констатувати відсутність єдиного підходу до розуміння таких понять як: Інформаційне право, Право інформаційних технологій, Інтернет-право, Цифрове право та ін.

На наш погляд, найбільш вдале загальнотеоретичне обґрунтування концепту ІТ-права було зроблено Є.О. та О.І. Харитоновими. Вчені пропонують розглядати ІТ-право як сукупність уявлень, понять, знань, асоціацій, емоцій, які виникають у зв'язку з правовим впорядкуванням суспільних відносин, пов'язаних зі створенням і використанням інформаційних технологій. Доцільно наголосити, що розгляд ІТ-права як концепту не заперечує “нормативного” (законодавчого) наповнення цього поняття, але позбавляє

необхідності оцінювати його як систему правових норм, що утворюють галузь права, відповідні правові інститути тощо [5, с.24].

В цілому підтримуючи зазначений концепт, слід зауважити, що в ньому поза урахуванням залишається сфера віртуального та метавсесвіту. Враховуючи тенденції розвитку та активного використання інформаційно-комунікативних технологій реальний та віртуальний світи невпинно зближуються і невдовзі зіллються у збалансовану різому. Інструментом, формою та змістом такого злиття безумовно є інформація (данні) і, у зазначеному аспекті, ми можемо розуміти ІТ-право як один із системоутворюючих компонентів гармонії реального та віртуального світу.

Своєю чергою, динаміка технологічного розвитку й процесів обміну інформацією зумовлюють, в тому числі, особливе становище й роль технологічних алгоритмів у праві, які слід розглядати як сукупність техніко-технологічних продуктів (електронні документи, електронний підпис, комп'ютерні програми, пошукові бази даних, електронні реєстри, електронні площадки вирішення спорів, юридичні боти та інше), які використовуються в юриспруденції.

Всі зазначені аспекти підкреслюють високий рівень затребуваності загальнотеоретичних розробок питань обґрунтування природи ІТ-права, встановлення його складових компонентів та співвідношення із суміжними категоріями.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Вінник О. Межі цифрової свободи: правовий аспект. *Підприємництво, господарство і право*. 2021. № 2. С. 36-41.
2. Манько Д. Г. Діджиталізація правового регулювання: технологічні алгоритми та електронні документи. *Держава та регіони. Серія: Право*. 2020. № 1. С. 18–23.
3. Стефанчук Р. О. Інформаційні технології та право: quo vadis? *Право України*. 2018. № 1. С. 30-50.
4. Харарі Ю. Н. Homo Deus. Коротка історія майбутнього. URL: <http://surl.li/imjoc>
5. Харитонов Є. О., Харитонova О. І. Сутність ІТ-права: пошук парадигми. *Право України*. 2018. № 1. С. 18-29.
6. Ray Kurzweil's Crazy Yet Somewhat Precise Predictions about the Future. URL: <http://surl.li/imjom>

### СЕКЦІЯ 3. ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

УДК 621.391

Лемешко О.В., д.т.н., проф.

Єременко О.С., д.т.н., проф.

Лемешко В.О., студ.

Персіков М.А., студ.

Харківський національний університет радіоелектроніки  
oleksandr.lemeshko@nure.ua, oleksandra.yeremenko@nure.ua,  
valentyn.lemeshko@nure.ua, mykhailo.persikov@nure.ua

#### ІЄРАРХІЧНИЙ МЕТОД ДВОРІВНЕВОГО УПРАВЛІННЯ ЧЕРГАМИ ПАКЕТІВ НА МАРШРУТИЗАТОРАХ, ЗАСНОВАНИЙ НА КЛАСАХ

***Анотація.** Запропоновано використання ієрархічного методу дворівневого управління чергами пакетів на маршрутизаторах, заснованого на класах. Нижній рівень обчислень пов'язаний з розв'язанням оптимізаційної задачі і відповідає за вирішення двох завдань. По-перше, це агрегація та розподіл потоків пакетів між макрочергами та підчергами, організованими на інтерфейсі маршрутизатора, для упередження проблеми перевантаження. По-друге, вирішення завдання розподілу ресурсів, пов'язане зі збалансованим розподілом пропускної здатності інтерфейсу між підчергами макрочерг, зваженим відносно їхніх класів згідно з концепцією Traffic Engineering Queues. Функції нижнього рівня методу рекомендується покласти на набір процесорів маршрутизатора, відповідальних за обслуговування пакетів окремих макрочерг. При цьому процесор-координатор може виконувати функції верхнього рівня обчислень, що забезпечують розподіл пропускної здатності інтерфейсу між макрочергами.*

Сучасні мережі зв'язку будуються як багаторівневі мультисервісні платформи, і основним завданням залишається забезпечення заданої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) для кінцевих користувачів [1, 2]. З ростом територіального розподілу мережних пристроїв (комутаторів, маршрутизаторів, контролерів мереж тощо), збільшенням обсягу мережного навантаження та неоднорідності трафіку проблема забезпечення QoS тільки загострюється. Кожен потік пакетів, що генерується мережним додатком, вимагає диференційованого обслуговування і є особливо чутливим до певних показників QoS [2].

Ієрархічні черги все частіше використовуються для покращення масштабованості рішень щодо управління чергами на інтерфейсах маршрутизаторів. З іншого боку, для підвищення продуктивності маршрутизаторів, які повинні обслуговувати гігабітні, а іноді і терабітні потоки в режимі реального часу, ці пристрої часто будуються на багатопроцесорній (багатоядерній) архітектурі. Таким чином, рішення щодо управління чергами повинні враховувати можливість розподілених (паралельних) обчислень, які також можуть бути ефективно реалізовані на основі ієрархічних черг. Тому в даній роботі пропонується вдосконалений ієрархічний метод дворівневого управління чергами на маршрутизаторах мереж, заснований на класах та балансуванні, для розв'язання задач управління перевантаженнями та розподілу ресурсів.

Загалом удосконалений ієрархічний метод також спрямований на підвищення масштабованості рішень щодо управління чергами.

В межах запропонованого методу необхідно вирішити наступні завдання:

- управління перевантаженнями;
- розподіл каналного ресурсу.

Нехай на першому етапі розрахунку на вхід інтерфейсу маршрутизатора надходить  $M$  потоків пакетів з відомою середньою інтенсивністю  $i$ -го потоку  $a_i$  ( $i = \overline{1, M}$ ), що вимірюється в бітах за секунду,  $K_i = \{k_i^h, l = \overline{1, H}\}$  – множина параметрів пакетів  $i$ -го потоку,

які використовуються для класифікації мережного трафіку в межах реалізованої технології (IP, MPLS тощо);  $H$  – загальна кількість параметрів для класифікації трафіку. Прикладом подібних параметрів в IP-технології є пріоритет пакета (вміст полів IP-пакета: IP-precedence, DSCP або значення QoS-group); IP-адреси відправника та (або) отримувача пакетів; стандартний або розширений список доступу до відправників/отримувачів; TCP/UDP-порти відправника та (або) отримувача пакетів; код довжини пакета. Нехай значення класу  $k_i^f$  ( $i = \overline{1, M}$ ) відповідає кожному  $i$ -му потоку пакетів, що визначається на основі аналізу множини параметрів  $K_i$ . Отже, клас  $k_i^f$  є деякою функцією від елементів множини  $k_i^h$ . У загальному випадку ця функція може мати нелінійний характер, як, наприклад, у роботах [3, 4].

Припустимо, що взагалі клас потоку кількісно визначається числом, яке варіюється від 0 до  $K - 1$ , де  $K$  – максимальне значення класу потоку. У загальному випадку величина  $k_i^f$  є безрозмірною, і для зручності подальшого викладу вважатимемо, що  $k_i^f$  нормується в межах від нуля до 99. Найважливіший потік матиме максимальне значення класу, тобто  $k_i^f = 99$ . Що менший клас, то значення  $k_i^f$  буде ближчим до нуля. Чим вище значення класу потоку  $k_i^f$ , тим вищий рівень QoS йому повинен забезпечуватись на інтерфейсі.

Введемо дворівневу ієрархію черг, створених і налаштованих на певному інтерфейсі маршрутизатора з пропускною здатністю  $B$  (біт в секунду). Нехай на інтерфейсі організовано  $L$  макрочерг. Кожна макрочерга поділяється на підчерги  $N_l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) відповідно до встановленої системи класифікації трафіку та підтримуваного рівня диференціації QoS. Тоді загальна кількість підчерг на інтерфейсі дорівнює  $N = \sum_{l=1}^L N_l$ .

Організація черг на основі класів ґрунтується на залученні поняття класу черги, який повинен бути безпосередньо пов'язаний з класом потоків пакетів. Далі вводимо наступні параметри для кожної з підчерг будь-якої макрочерги:

$K_{j,l}^{\min}$  та  $K_{j,l}^{\max}$  – мінімальне та максимальне значення класу потоку пакетів, який може обслуговувати  $j$ -а підчерга  $l$ -ої макрочерги;

$K_{j,l}$  – загальна кількість класів потоку пакетів, які може обслуговувати  $j$ -а підчерга  $l$ -ої макрочерги ( $l = \overline{1, L}$ ).

Параметри  $K_{j,l}$ ,  $K_{j,l}^{\min}$  та  $K_{j,l}^{\max}$  є натуральними числами, пов'язаними між собою рівнянням:

$$K_{j,l} = K_{j,l}^{\max} - K_{j,l}^{\min} + 1 \quad (j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}).$$

Діапазони значень класів  $K_{j,l}^{\min}$  та  $K_{j,l}^{\max}$  між підчергами та макрочергами можуть бути розподілені статично або динамічно за різними критеріями, наприклад, рівномірно. При надходженні на інтерфейс потоку пакетів, який має клас  $k_i^f$ , він одразу спрямовується в  $l$ -ту макрочергу  $j$ -ї підчерги, для якої виконується умова  $K_{j,l}^{\min} \leq k_i^f \leq K_{j,l}^{\max}$ . Фактично, клас  $j$ -ої підчерги  $l$ -ої макрочерги дорівнює середньому арифметичному значенню  $K_{j,l}^{\min}$  та  $K_{j,l}^{\max}$ . Таким чином, формується множина потоків пакетів, які направляються в ту чи іншу макрочергу. Позначимо через  $M_l$  загальну кількість потоків пакетів, що потрапили до  $l$ -ї макрочерги внаслідок розподілу та агрегації. Агрегування потоків за підчергами однієї макрочерги відбувається, якщо  $M_l > N_l$ .

Результат розв'язання задачі управління перевантаженнями шляхом визначення набору змінних  $x_i^{j,l} \in \{0,1\}$  ( $i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}$ ) (табл. 1), кожна з яких характеризує частку  $i$ -го потоку, що направляється на обслуговування до  $j$ -ї підчерги  $l$ -ї макрочерги [5]. У більшості механізмів планування черг, таких як PQ, CQ, CBQ, LLQ, адміністратор вирішує задачу управління перевантаженням шляхом встановлення, наприклад, ACL (Access Control Lists) [2]. Після розв'язання задачі оптимальної агрегації та розподілу потоків пакетів між

макрочергами та підчергами, представленими набором розрахункових значень  $x_i^{j,l}$ , виконується розподіл ресурсів, що відноситься до другого етапу обчислень.

Для вирішення завдання розподілу ресурсів, яке в першу чергу пов'язане з визначенням множини змінних  $b_l$  та обчисленням  $b_{j,l}$  ( $j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}$ ), в роботі буде використано принцип прогнозування взаємодії [5]. Принцип прогнозування взаємодії, який реалізує дворівневу ієрархію обчислень, спрямований на підвищення масштабованості рішень з управління чергами, коли окремі процесори (ядра) обчислювальної системи маршрутизатора виконують задачі управління відповідними макрочергами.

Таблиця 1 – Класифікація черг та алгоритм вирішення завдання управління перевантаженнями

<b>Алгоритм I. Класифікація черг й управління перевантаженнями</b>	
1:	<b>Вхідні параметри:</b> $L, N_l, K, M$
2:	<b>for</b> $l = 1, 2, \dots, L$ <b>do</b> % кількість макрочерг
3:	<b>for</b> $j = 1, 2, \dots, N_l$ <b>do</b> % кількість підчерг
4:	Визначити $K_{j,l}^{\min}, K_{j,l}^{\max}$ та $k_{j,l}^q$
5:	<b>end for</b>
6:	<b>end for</b>
7:	<b>for</b> $i = 1, 2, \dots, M$ <b>do</b> % кількість потоків пакетів
8:	<b>for</b> $l = 1, 2, \dots, L$ <b>do</b> % кількість макрочерг
9:	<b>for</b> $j = 1, 2, \dots, N_l$ <b>do</b> % кількість підчерг
10:	<b>if</b> $K_{j,l}^{\min} \leq k_i^f \leq K_{j,l}^{\max}$
11:	$x_i^{j,l} = 1$
12:	<b>else</b> $x_i^{j,l} = 0$
13:	<b>end if</b>
14:	<b>end for</b>
15:	<b>end for</b>
16:	<b>end for</b>
17:	<b>Вихідні параметри:</b> $K_{j,l}^{\min}, K_{j,l}^{\max}, k_{j,l}^q, x_i^{j,l}$ та $M_l$

Таким чином, в межах запропонованого методу управління чергами вводиться дворівнева ієрархія рішень. Згідно з принципом прогнозування взаємодії на верхньому ієрархічному рівні розв'язується задача розрахунку пропускної здатності інтерфейсу, що виділяється макрочергам ( $b_l, l = \overline{1, L}$ ). Нижній рівень відповідає за розподіл пропускної здатності макрочерги  $b_l$ , отриманої на верхньому рівні розрахунків, між відповідними підчергами шляхом визначення змінних  $b_{j,l}$  ( $j = \overline{1, N_l}, l = \overline{1, L}$ ).

Запропонований ієрархічний метод управління чергами на основі класів та балансування (рис. 1) базується на наступній ітеративній послідовності дій.

Нижній рівень обчислень, який базується на розв'язанні оптимізаційної задачі, відповідає, по-перше, за агрегацію та розподіл потоків пакетів між макрочергами та підчергами, організованими на інтерфейсі маршрутизатора (Congestion Management Problem), а по-друге, за збалансований розподіл пропускної здатності інтерфейсу між підчергами, зважений відносно їх пріоритетів (Resource Allocation Problem).

Задача збалансованого розподілу пропускної здатності інтерфейсу маршрутизатора між класовими підчергами вирішується з урахуванням вимог Traffic Engineering Queues, так як для кожної з макрочерги мінімізується зважений відносно її класу верхній поріг використання ( $\alpha_l$ ). З адопомогою параметра  $D$  регулюється рівень диференціації обслуговування пакетів потоків в різних підчергах макрочерг. Зі збільшенням  $D$  рівень диференціації зменшується. Мінімальне значення  $D$  визначається експериментально.

Верхній рівень обчислень методу відповідає за розподіл пропускну́ї здатності інтерфейсу між макрочергами шляхом виконання ітераційної процедури. Ці рішення формуються відповідно до виконання критерію, пов'язаному з виконанням умови щодо рівності коефіцієнтів використання різних макрочерг. Тобто коли кожен поріг використання  $\alpha_l$  макрочерги дорівнює їхньому середньому значенню  $\bar{\alpha}$ . При виконанні цього критерію робота метода закінчується.

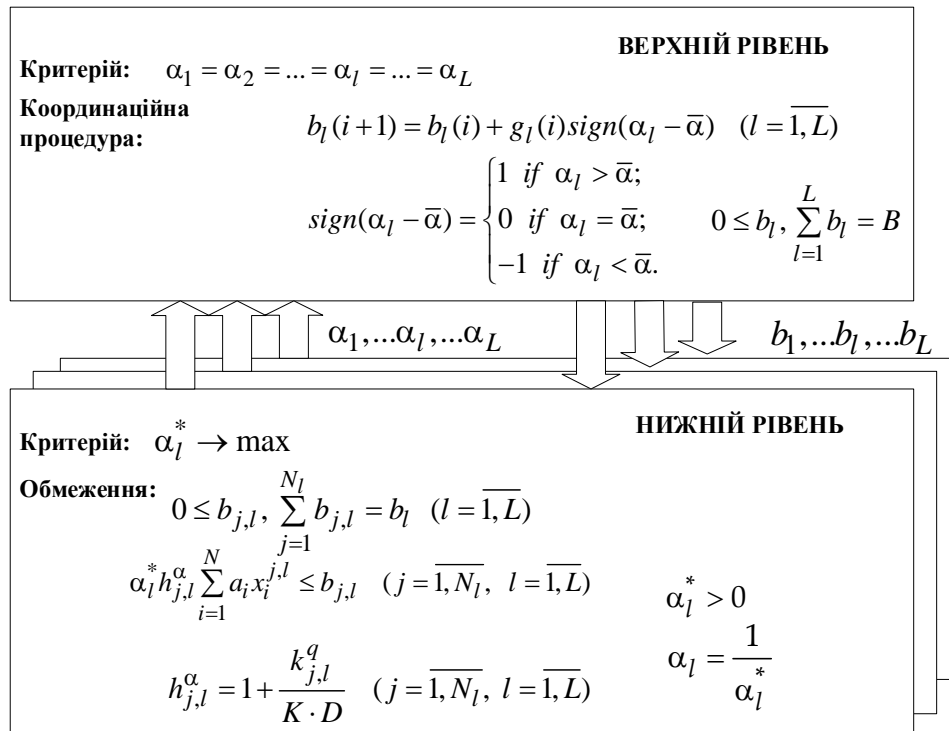


Рисунок 1 – Дворівнева ієрархічна схема управління чергами на основі класів і балансування

Практичне застосування запропонованого методу пов'язане з програмованими мережами, коли необхідно ефективно обслуговувати велику кількість потоків користувачів. При цьому технологічні рішення повинні задовольняти вимоги до масштабованості та якості обслуговування.

### Література

1. D. Li, W. Wang and Y. Kang, "A Hierarchical Approach for QoS-Aware Edge Service Scheduling and Composition," In Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI), 2021, pp. 677-681. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICETCI53161.2021.9563355>
2. QoS: Congestion Management Configuration Guide, Cisco IOS XE Everest 16.5, Cisco Systems, Inc., 2019.
3. Lemeshko, O.; Lebedenko, T.; Nevzorova, O.; Snihurov, A.; Mersni, A.; Al-Dulaimi, A. Development of the Balanced Queue Management Scheme with Optimal Aggregation of Flows and Bandwidth Allocation. In Proceedings of the 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2019, pp. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2019.8779246>
4. Lemeshko, O.; Lebedenko, T.; Mersni, A.; Hailan, A. M. Mathematical Optimization Model of Congestion Management, Resource Allocation and Congestion Avoidance on Network Routers. In Proceedings of the 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 2019, pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165445>

5. Lemeshko, O.; Yremenko, O.; Titarenko, L.; Barkalov, A. Hierarchical Queue Management Priority and Balancing Based Method under the Interaction Prediction Principle. *Electronics* **2023**, *12*, 675. <https://doi.org/10.3390/electronics12030675>

УДК 621.391

Уривський Л.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
доктор технічних наук, професор  
leonid\_uic@ukr.net

Шмігель Б.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
доктор філософії  
bshmigel@gmail.com

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЗА СТАНДАРТОМ 802.11.XX ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ЗНАЧНІ ВІДСТАНІ

### **Анотація:**

*Часто згадка про стандарти 802.11.xx асоціюється із поняттям "Wi-Fi" і, відповідно, із зв'язком на обмеженій території. Проте, цей клас стандартів надає широкі можливості для організації радіозв'язку на суттєві відстані. Сімейство стандартів 802.11 включає різні підкласи, які прогресивно покращують здатність передачі даних на великій відстані.*

*Сучасні виробники телекомунікаційного обладнання базуються на стандартах IEEE 802.11, включно з IEEE 802.11ac, що має покращені технічні характеристики порівняно з попередніми версіями. Актуально оцінити роботу безпроводового обладнання на основі IEEE 802.11ac, аналізуючи енергетичні характеристики каналу зв'язку для прогнозування параметрів безпроводової системи передачі. Результати цієї роботи включають теоретичну оцінку, лабораторні дослідження та верифікацію результатів в польових умовах.*

### **1. Вступ**

**Актуальність.** Безпроводові мережі займають ключову роль у разі необхідності оперативного розгортання, мобільності, гнучкості організації мережі і широті можливих додатків, у багатьох випадках будучи єдиним економічно виправданим рішенням.

Враховуючи вищезгадане, актуальним питанням при впровадженні бездротових мереж є правильне теоретичне проектування: визначення необхідної кількості пристроїв, їх параметрів, розташування, енергетичних характеристик каналів, шляхів розповсюдження та зон покриття тощо. Коректний теоретичний аналіз забезпечить безпомилкову побудову мережі для успішного виконання поставлених завдань, і не призведе до необхідності залучення додаткових матеріальних витрат.

Wi-Fi є технологією LAN і передбачає роботу пристроїв у вільному діапазоні 2,4 або 5 ГГц. Найбільший звичайні випуски сьогодні є широко використовуваними стандартами IEEE як 802.11 a/b/g/n/ac/ax [5-6].

## 2. Схема і топологія зв'язку

Застосування стандартів IEEE 802.11 не обмежується зв'язком на короткій відстані між Ad-hoc пристроями та покриттям послуг через точку доступу AP (Access Point). Стандарти IEEE 802.11 сьогодні також використовуються для побудови магістральних ліній зв'язку (Backbone, СВ), що дозволяє побудувати гнучку мережеву архітектуру разом із AP.

Перевага такого підходу виражається в наступних особливостях:

- Побудова безпроводових мереж доступу (AP) для користувачів в зоні обслуговування, сотні метрів.
- Магістральна мережа (Backbone) – зв'язок для підключення віддалених частинах мережі, на десятки кілометрів і більше.
- З'єднання різних частин мережі (точок доступу, маршрутизаторів, магістралі) на основі єдиного і сумісного обладнання.
- Можливість швидкого розгортання та налаштування мережі, як для довгострокового, так і для короткострокового використання.

Огляд ринку сучасного обладнання для побудови мереж на базі WiFi, лідерами є такі виробники, як Mikrotik і Ubiquity [7-8]. Крім того, кожен виробник розробляє пристрої для сумісності зі стандартами IEEE 802.11, і в той же час виготовляє варіанти використання деяких модифікованих власних протоколів в обладнанні.

Для прикладу на рис. 1 наведена схема лабораторної мережі на базі обладнання виробника MikroTik [7] з можливістю реконфігурації залежно від поставленої задачі.

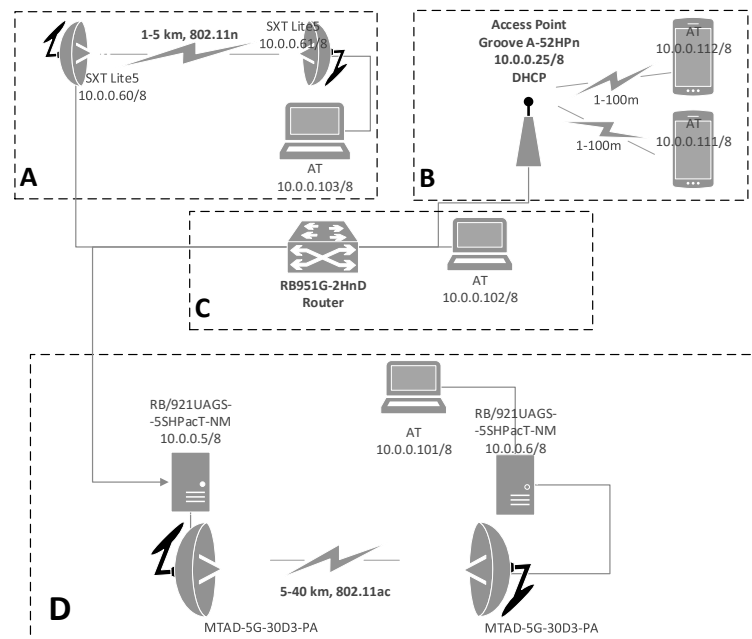


Рис. 1 Структурна схема випробувань обладнання Mikrotik в лабораторних умовах  
На рис. 1 показана схему лабораторної мережі та її частин А, В, С, D, де:

А, D – комунікаційні магістралі для зв'язку між віддаленими частинами мережі з високими швидкостями передачі даних (Mikrotik і SXT Lite5 на короткі відстані до 5 км і RB/921UAGS-5SHPaCT-нм на далекі відстані до 40 км);

В – точки доступу для обслуговування клієнтів у зоні покриття (Mikrotik 52HPn для роботи до 100 м);

С – маршрутизатор для виконання функцій комутації потоків, мультиплексування і маршрутизації, а також підключення до інших маршрутизаторів або Інтернет при необхідності (Mikrotik RB951G-2HnD).

Схема мережі (рис. 1) є легко масштабованою та простою в налаштуванні. Обладнання Mikrotik є функціональним і простим в налаштуванні. Пристрої підтримують



протоколи стандарту IEEE 802.11 різних модифікацій, що дозволяє будувати мережі з використанням обладнання різних виробників.

### 3. Тестування магістралі зв'язку для мережі з гнучкою архітектурою

Метою випробувань є вимір характеристик зв'язку в лабораторних умовах при використанні приймально-передавального обладнання RB/921UAGS-5SHPasT-N в схемі «точка-точка» з імітацією лінії зв'язку на основі атенуаторів з фіксованим ослабленням 40 дБ і додатковим змінним ослабленням рівня сигналу 20-80 дБ.

Отримані дані можуть бути використані для прогнозування показників якості зв'язку (рівня вхідного сигналу приймача, швидкості передачі) з використанням цифрової карти місцевості і подальшим розгортанням обладнання для високошвидкісної передачі інформації в реальних умовах.

Максимальна досягнута швидкість передачі даних становить 140 Мбіт/с для TCP з імітацією лінії СВ на основі атенуаторів. Тестування здійснювало передачу трафіку TCP і UDP, передачу файлів (через TCP) і передачу трафіку VoIP з очікуваною якістю відео та мови. На рис. 2 наведені результати.

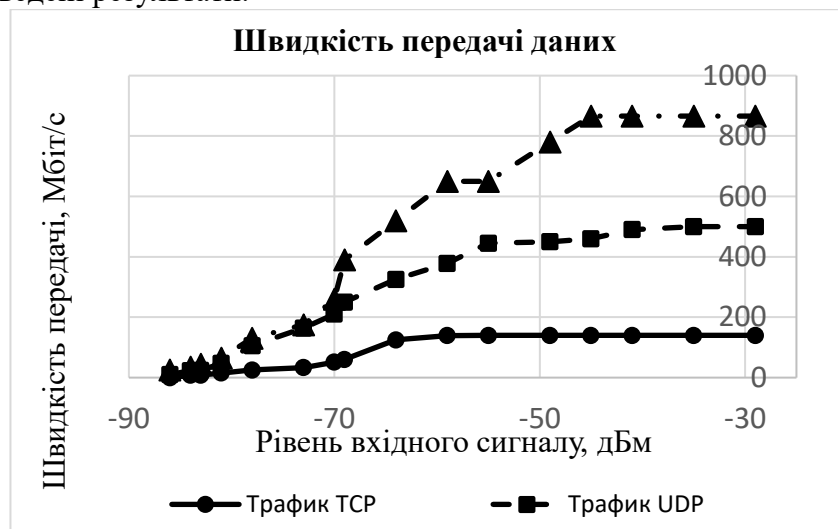


Рис. 2 Результати тестування магістральної лінії з використанням обладнання MikroTik RB/921UAGS-5SHPasT-NM: TCP, UDP і схеми модуляції та кодування (MCS), використовуючи два просторових канала

Результати попереднього теоретичного розрахунку для реальної лінії СВ довжиною 11,56 км представлені в табл. 2. Розрахунок виконано в інструменті [9].

Згідно з теоретичними оцінками магістральної лінії, сигнал на вході приймача повинен бути на рівні -42.37 дБм, що відповідає TCP трафіку зі швидкістю 140 Мбіт/с, використовуючи два з трьох доступних каналів в обладнанні (обмеження по конструкції антени) згідно з тестами, проведеними в лабораторії.

Таблиця 2 Результати теоретичного розрахунку магістралі

Точка А		Точка В	
Широта	46.292118	Широта	46.375951
Довгота	30.661238	Довгота	30.750293
Рельєф Землі	15.3 m	Рельєф Землі	36.0 m
Висота антени	15.0 m	Висота антени	25.0 m
Радіо система		Втрати	
Потужність сигналу передавача TX	33.01 dBm	Втрати у вільному просторі	129.08 dB
Втрати на лінії TX	3.00 dB	Втрати від впливу перешкод	-2.85 dB

Підсилення антени TX	30.00 dBi	Втрати від впливу лісу	0.00 dB
Підсилення антени RX	30.00 dBi	Міські втрати	0.00 dB
Втрати на лінії RX	0.50 dBm	Статистичні втрати	5.65 dB
RX sensitivity	-96 dBm	Сумарні втрати	131.88 dB
Продуктивність			
Відстань			11.56 km
Точність			10.0 m
Частота			5900.000 Hz
Еквівалентна ізотропно випромінювана потужність			1002.374 W
Підсилення			202.53 dB
Необхідна надійність			70.000 %
Отриманий сигнал			-42.37 dBm
Отриманий сигнал			1703.37 $\mu$ V
Запас потужності			70.65 dB

Пристрої MikroTik RB921UAGS-5SHPasT-NM для використання в лініях СВ на відстані 11,56 км були протестовані в реальній лінії СВ для оцінки швидкості передачі даних. Антени MikroTik MTAD-5G-30D3-PA були використані для прийомопередавача MikroTik RB921UAGS-5SHPasT-NM.

Профіль досліджуваної траси для оцінки енергетичних характеристик каналу показано на рис. 3. Це повністю відкрита лінія без будь-яких завад на шляху для зон Френеля.

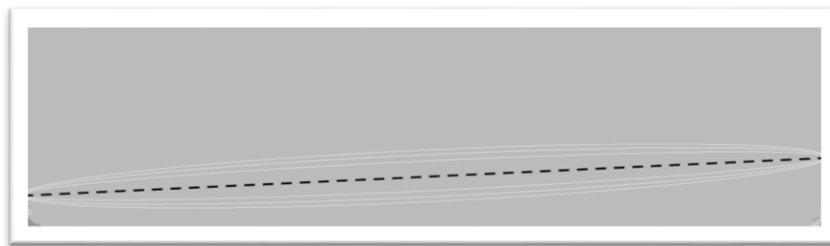


Рис. 3 Профіль магістралі довжиною 11.56 км, прийомопередавачі MikroTik RB921UAGS-5SHPasT-NM були протестовані з антенами MikroTik MTAD-5G-30D3-PA

Схема випробування на реальній магістралі на основі прийомопередавачів MikroTik RB921UAGS-5SHPasT-NM і антен MTAD-5G-30D3-PA показана на рис. 4. За даною схемою буде протестовано в натурних випробуваннях якість надання таких сервісів зв'язку, як швидкість передачі даних TCP, VoIP та відео стримінгу.

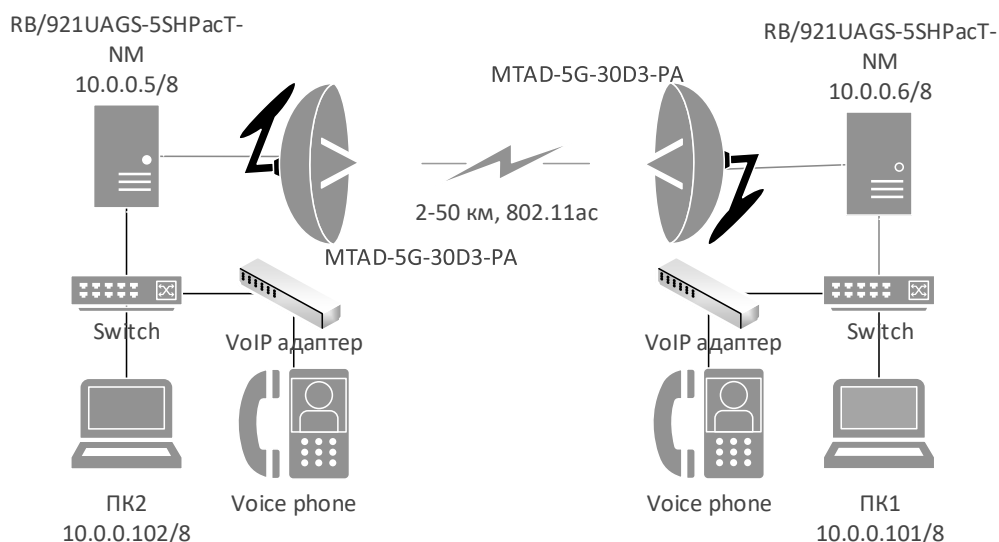


Рис. 4 Структурна схема підключення обладнання для оцінки продуктивності з використанням РПЛ обладнання Mikrotik RB/921UAGS-5SHPaсT-N та антен MTAD-5G-30D3-PA

Після встановлення обладнання на відповідних точках, його підключення до мережі живлення та юстирування антен, було досягнуто встановлення надійного зв'язку і швидкості передачі даних в магістральній лінії до 133 Мбіт/с в симплексному режимі передачі, і до 60 Мбіт/с в режимі повного дуплексу для TCP трафіку. Рівень сигналу на вході приймача досягав -43 дБм. Слід зазначити, сигнально-кодових конструкції, що використовувались в той час були 866.6Мбіт/с-80МГц/2S/SGI і 780Мбіт/с-80МГц/2S/SGI, які відповідають сигналу на вході приймача -43 дБм і цей результат підтверджує результати випробувань в лабораторії (рис. 2).

Таким чином, отримано результати польових випробувань високошвидкісної магістральної лінії для мережі з гнучкою конфігурацією, які відповідають результатам, наведеним у лабораторних випробуваннях, а також у теоретичній оцінці лінії СВ.

#### 4. Висновки

У доповіді розглянуто перспективи використання обладнання на основі стандартів 802.11 для високошвидкісної бездротової передачі даних на значні відстані. Розглянуто основні елементи гнучкої архітектури мережі, такі як маршрутизатори, точки доступу та магістральні канали зв'язку. Стандарти IEEE 802.11 мають широкий спектр застосувань, та не обмежені на короткі відстані. Крім того, вони активно використовуються сьогодні для створення основних ліній магістрального зв'язку (СВ), що формують основу гнучкої мережевої архітектури.

В лабораторних іспитах виміряно характеристики передачі даних з використанням приймачів Mikrotik RB/921UAGS-5SHPaсT-N в режимі доступу "точка-точка" з моделюванням втрат в радіолінії на основі атенуаторів. Визначено залежність продуктивності від енергетичних характеристик каналу та виконано порівняння з результатами аналітичного моделювання. Розбіг в оцінці продуктивності – 5%. Максимальна швидкість TCP трафіку досягає 360 Мбіт/с. Вбудовані методи дослідження швидкості обладнання Mikrotik не показують реальної швидкості передачі, так як генерація пакетів та обробка контрольних сум утилізує CPU на 100%. Перевантаження CPU обмежує максимальну швидкість передачі по протоколу TCP до 140 Мбіт/с. При використанні UDP швидкість і досягає 400 Мбіт/с.

Виконані натурні випробування на відстані 11,56 км показали, що отримані енергетичні характеристики каналу відповідають проведеним теоретичним розрахункам, а отримана продуктивність співпадає з результатами, отриманими в лабораторних дослідженнях. Це

підтверджує відповідність теоретичних розрахунків і практичних експериментів. Похибка склала 7%. При натурних випробуваннях тестування проводилось на магістралі з прямою видимістю на відстані 11,56 км. При проведенні вимірювань, досягнуто швидкості передачі даних в магістральній лінії до 133 Мбіт/с в симплексному режимі передачі, і до 60 Мбіт/с в режимі повного дуплексу для TCP трафіку. Рівень сигналу на вході приймача досягав -43 дБм. При передачі використовувались сигнально-кодові конструкції 866.6Мбіт/с-80MHz/2S/SGI і 780Мбіт/с-80MHz/2S/SGI, які відповідають сигналу на вході приймача -43 дБм.

## 5. Список використаної літератури

1. Шмігель Б. О. Високоєфективна безпроводова мережа на основі гнучкої архітектури IEEE 802.1. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2021. № 4 (73), с. 79-86.
2. Matthew G. 802.11ac: A Survival Guide. – O'Reilly Media, 2012. -144p.
3. IEEE Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," in IEEE Std 802.11-2020 (Revision of IEEE Std 802.11-2016) , vol., no., pp.1-4379, 26 Feb. 2021
4. Патент на корисну модель №UA 95365 U (Україна). «Спосіб адаптивного вибору виду багатопозиційної модуляції», Уривський Л.О., Осипчук С.О., Прокопенко К.А. публікація відомостей про видачу патенту: 25.12.2014, випуск № 24.
5. IEEE Standard for Information technology 802.11n: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>
6. IEEE Standard for Information technology 802.11ac: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11ac-2013.pdf>
7. The review of Mikrotik WiFi devices [Internet resource] = MikroTik Routers and Wireless – The access mode: <http://www.mikrotik.com/>.
8. The review of Ubiquiti WiFi devices [Internet resource] = Ubiquiti Wireless networking products - The access mode: <https://www.ubnt.com/>.
9. Онлайн-інструмент для оцінки траси розповсюдження радіохвиль: <http://www.ve2dbe.com/rmonline.html>.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АУДІОТРАФІКУ В НИЗЬКОШВИДКІСНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

*Стрелковська І.В., д.т.н., професор*

*декан факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук  
Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна  
i.strelkovskaya@mgu.edu.ua*

*Золотухін Р.В., заступник начальника спеціального конструкторського бюро,  
начальник департаменту програмування  
ТОВ «Телекарт-Прилад», Одеса, Україна  
zolutukhinrv@gmail.com*

*Паскаленко В.М., викладач кафедри інформаційних технологій  
Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна  
paskalenkoviktoria@gmail.com*

***Анотація.** Для визначення необхідних характеристик телекомунікаційного обладнання будують математичні або імітаційні моделі трафіку в мережах зв'язку. Для мереж загального користування на сьогоднішній час розроблено математичні моделі різного типу трафіку та визначено їх основні характеристики. Низькошвидкісні мережі зв'язку, які побудовані на базі ультракороткохвильових радіостанцій, відрізняються низькою швидкістю, великою затримкою та джиттером передачі даних. Для роботи в таких мережах зв'язку розробляються спеціальні протоколи передачі або адаптують існуючі. В даній роботі проводиться дослідження характеристик аудіотрафіку та їх вплив на низькошвидкісні мережі зв'язку, що побудовані на базі ультракороткохвильових радіостанцій.*

***Ключові слова:** низькошвидкісні мережі зв'язку, трафік, аудіо, радіостанція, УКХ, показники якості функціонування, швидкість передачі даних, джиттер.*

### **Вступ**

Для мереж загального користування вже визначено характеристики та типи трафіку, що циркулюють в цих мережах зв'язку. Наприклад, для мережі LTE описано декілька класів обслуговування QoS (Quality of Service) [1], параметри трафіку послуг (тривалість обслуговування, необхідна полоса пропускання), а також визначено закон розподілу інтервалів між вимогами кожного типу послуг [1, 2]. Ультракороткохвильові (УКХ) радіомережі відрізняються низькою швидкістю, великою затримкою та джиттером передачі даних [3], тому для роботи в таких мережах зв'язку розробляються спеціальні протоколи передачі або адаптують існуючі.

В роботах [4, 5] було проведено моделювання автоматизованих систем управління в низькошвидкісних мережах зв'язку, отримано показники трафіку щодо стандартів STANAG 4677 та AdatP-36, визначено щільність розподілу проміжків часу між моментами надходження пакетів на обслуговування цих стандартів. У роботі [6] проведено дослідження протоколів передачі файлів в УКХ радіомережі, отримано характеристики трафіку та надано рекомендації щодо використання цих протоколів. Але через сучасні низькошвидкісні радіомережі на базі УКХ радіостанцій можливо передавати аудіо та відеотрафік.

Параметризація трафіку в радіомережах зв'язку виконується відповідно до класів обслуговування QoS [1, 2]: розмовного, інтерактивного, потокового та фонового. До розмовного класу послуг відносяться послуги передачі аудіо та відеотрафіку. Кожен тип послуги має свій закон розподілу інтервалів між вимогами, наприклад, для аудіотрафіку - це

експоненціальний, а для відеоконференцій - розподіл Парето [1, 2]. Згідно з ITU-R.1768 [1], визначено, що аудіотрафік передається зі швидкістю 64 кбіт/с і тривалістю обслуговування 90 - 450 с. Але в низькошвидкісних каналах зв'язку побудованих на базі УКХ радіостанцій максимальна полоса пропускання зазвичай не перевищує 64 кбіт/с, а значення джиттеру значно більший ніж у мережах загального користування. Для передачі голосових повідомлень в таких мережах зв'язку використовуються спеціальні кодеки, що мають свою швидкість та вплив на джиттер передачі даних в УКХ радіомережах.

Мета роботи – визначити полосу пропускання необхідну для передачі аудіотрафіку та дослідити вплив передачі голосових повідомлень на джиттер в низькошвидкісних мережах зв'язку, побудованих на базі УКХ радіостанцій, щодо подальшої реалізації імітаційного моделювання трафіку та визначення доступності сервісів на етапі планування та проектування системи зв'язку.

### Дослідження аудіотрафіку

Для проведення дослідження показників аудіотрафіку в низькошвидкісних мережах зв'язку, побудованих на базі ультракороткохвильових радіостанціях (УКХ), будується схема, що показана на рис.1. В якості УКХ радіостанцій використовуються сучасні радіостанції RF-7850M-HH, виробництва Harris. Радіостанції знаходяться одна від одної на відстані 100м, персональні комп'ютери (ПК) під'єднанні до радіостанцій за допомогою спеціального кабелю Ethernet з RJ-45 (12067-5220-01) з комплекту аксесуарів до радіостанції. До радіостанцій підключені антени типу штир. Потужність радіостанцій встановлено на 1Вт, вимірювання проводиться на відкритому просторі при температурі 24-26°C, вологості повітря 60% та тиску 761 мм рт.ст.



Рисунок 1 - Схема мережі зв'язку для вимірювання

Для оцінки характеристик аудіотрафіку використаємо три режими роботи радіостанцій: FF – вузькосмуговий режим з фіксованою несучою частотою, ANW2C – широкосмуговий режим, QL1A – вузькосмуговий режим з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ). Голос в усіх режимах роботи кодується та стискується за допомогою кодеку MELP 2400 [7]. MELP 2400 – це низькошвидкісний цифровий аудіокодек з бітрейтом 2400 біт/с, що прийнятий стандартом НАТО STANAG-4591 [7]. Для передачі голосових повідомлень достатньо натиснути бокову кнопку «тангенту» і почати говорити. Радіостанції налаштовано з можливістю передачі голосових повідомлень паралельно з передачею даних.

На персональних комп'ютерах встановлено програмне забезпечення «iperf-v2.0.5». Перед початком дослідження характеристик трафіку необхідно визначити параметри радіоканалу між персональними комп'ютерами. Згідно роботи [3], на протязі трьох хвилин проведемо вимірювання полоси пропускання та джиттеру низькошвидкісної радіомережі в трьох режимах роботи: FF, ANW2C та QL1A (табл.1).

Таблиця 1 - Результати вимірювання без передачі голосу

Режим роботи	Полоса пропускання	Джиттер
FF	64,8 Кбіт/с	258,31 мс
ANW2C	357 Кбіт/с	46,07 мс
QL1A	15,8 Кбіт/с	955,81 мс

Для оцінки впливу передачі голосу на показники функціонування УКХ мережі зв'язку проведемо наступний експеримент. Згідно роботи [3] проведемо вимірювання полоси пропускання та джиттеру, але під час вимірювання будемо передавати голосове повідомлення з однієї УКХ радіостанції на іншу. Результати дослідження показано в табл.2.

Таблиця 2 - Результати вимірювання з передачею голосу

Режим роботи	Полоса пропускання	Джиттер
FF	62,3 Кбіт/с	310,11 мс
ANW2C	355 Кбіт/с	49,28 мс
QL1A	13,4 Кбіт/с	1005 мс

Порівнюючи роботу програми «iperf-v2.0.5» без передачі голосу та з передачею голосу, було визначено, що при передачі голосу в радіостанціях відбувається більша буферизації даних ніж при передачі лише даних. Без передачі голосових пакетів програма «iperf-v2.0.5» приймала пакети кожної секунди, а при передачі голосу – приймала пакети раз в 3 секунди втричі більшого розміру. Ця буферизація впливає на джиттер у каналі зв'язку, що бачимо по результатам роботи програми «iperf-v2.0.5» (табл.1 і табл.2).

Неважко бачити, що показники QoS низькошвидкісної мережі зв'язку погіршились при передачі голосу. Для режиму FF полоса пропускання зменшилась на 2,5 Кбіт/с, а джиттер збільшився на 52,2 мс, для режиму ANW2C різниця полоси пропускання складає 2 Кбіт/с, джиттеру – 3,21 мс, а для режиму QL1A різниця полоси пропускання складає 2,4 Кбіт/с, джиттеру 49,91 мс відповідно. Різниця показників QoS низькошвидкісної мережі зв'язку без передачі голосу та з передачею голосу показано в табл.3.

Таблиця 3 - Різниця полоси пропускання та джиттеру без передачі голосу та з передачею голосу

Режим роботи	Полоса пропускання	Джиттер
FF	-2,5 Кбіт/с	+52,2 мс
ANW2C	-2 Кбіт/с	+3,21 мс
QL1A	-2,4 Кбіт/с	+49,91 мс

Таким чином, передача в голосу в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій займає полосу пропускання 2 - 2,5 Кбіт/с, що приблизно відповідає бітрейту аудіокодеку MELP 2400.

### Висновки

1. Проведено дослідження впливу передачі голосових повідомлень на джиттер в низькошвидкісних мережах зв'язку та отримано показники полоси пропускання, що займає передача голосових повідомлень в трьох режимах роботи УКХ радіостанції: FF, ANW2C та QL1A.

2. Визначено, що передачу голосу в УКХ радіомережах займає полосу пропускання 2 – 2,5 Кбіт/с. В вузькосмугових режимах роботи УКХ радіостанцій відбувається значне збільшення джиттеру передачі даних ~ 50 мс.

3. На основі отриманих характеристик аудіографіку можливо створити програмну реалізацію імітаційного моделювання трафіку в низькошвидкісних мережах зв'язку щодо подальшого визначення доступності сервісів на етапі планування та проектування системи зв'язку.

### Література

1. Рекомендація ITU-R MCE-R M.1768. Methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of the terrestrial component of IMT-2000, 2003.

2. Соловська І.М., Бірюков С.В., Гонсіоровський Д.М., Гуцова К.С, Золотухін Р.В., Фомичов П.А. Дослідження трафіка мережі LTE/MVNO при сумісній експлуатації декількома операторами мобільного зв'язку. Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова 2012`1 - ОНАЗ ім. О.С.Попова Одеса, 2012 – С. 167-176.

3. Strelkovskaya I. Research of low-bandwidth radionetworks QoS parameters / I. Strelkovskaya, , R. Zolotukhin // Information and Telecommunication Sciences, International Research Journal, Volume 11, Number 1(20), January-June 2020, DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.77-81>.

4. Стрелковська І.В. Дослідження характеристик трафіку протоколу JDSS стандарту STANAG 4677 / Стрелковська І.В., Золотухін Р.В. Макоганюк А.О. // Інфокомунікації – сучасність та майбутнє: матеріали десятої міжнар. наук.-пр. конф. м. Одеса 16-19 лист. 2020 р. – Одеса: ОНАЗ, 2020. – 375-378 с. ISBN 978-617-582-073-5.

5. Strelkovskaya I.V. Modeling of telecommunication components of automated control systems in low-bandwidth radio networks / I.V. Strelkovskaya, R.V. Zolotukhin, A.O. Makoganiuk // In: P. Vorobiyenko, M. Ilchenko, I. Strelkovska. Current Trends in Communication and Information Technologies. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021,. Springer, Cham, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_9), P 150-170.

6. Strelkovskaya I. Comparative analysis of file transfer protocols in low-bandwidth radionetworks / I. Strelkovskaya, R. Zolotukhin, J. Strelkovska // Proceedings of the 9rd International Conference on Applied Innovations in IT (ICAИТ-2021), Vol. 9, Is. 1, Koethen, Germany, March, 16, 2021.– Anhalt University of Applied Sciences. – P. 27-32.

7. NATO - STANAG 4591. THE 600 BIT/S, 1200 BIT/S AND 2400 BIT/S NATO INTEROPERABLE NARROW BAND VOICE CODER

**УДК 621.391:519.65**

*Стрелковська І.В., д.т.н., професор, Соловська І.М., к.т.н., доцент,  
Стрелковська Ю.О., к.ю.н., доцент  
Міжнародний гуманітарний університет, Worthing college  
[i.strelkovskaya@mgu.edu.ua](mailto:i.strelkovskaya@mgu.edu.ua), [i.solovskaya@mgu.edu.ua](mailto:i.solovskaya@mgu.edu.ua), [4800632s@gmail.com](mailto:4800632s@gmail.com)*

### **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ СПЛАЙН-ФУНКЦІЙ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

**Анотація.** Розглянуто рішення задач телекомунікаційних та інформаційних технологій за допомогою сплайн-апроксимації та сплайн-екстраполяції на базі дійсних й комплексних сплайн-функцій. Показано використання сплайн-апроксимації для вирішення задач відновлення сигналів та самоподібного трафіку, задач управління мережними об'єктами та мережею в цілому, процесами функціонування телекомунікаційних об'єктів та мереж. Запропоновано використання сплайн-екстраполяції на базі різних видів дійсних сплайн-функцій для вирішення задач прогнозування характеристик самоподібного трафіку та підтримки характеристик QoS при його обслуговуванні. Для рішення задачі позиціонування



*користувача в мережі радіодоступу, розглянуто використання комплексних плоских сплайн-функцій. Використання методів дійсних та комплексних сплайн-функцій дозволяє отримати результати підвищення характеристик якості обслуговування в телекомунікаційній мережі та забезпечити масштабованість отриманих рішень. Для визначення та прогнозування кібератак DDoS використано метод сплайн-екстраполяції. Запропоновано використання параметричних сплайнів в задачах інформаційних технологій, а саме, побудови кривих та поверхонь в 3D-моделюванні.*

## **Вступ**

Стрімкий розвиток телекомунікаційних та інформаційних технологій зумовлює зміну багатьох технологічних рішень, вдосконалення протоколів та алгоритмів функціонування систем та програмного забезпечення. Такі зміни потребують перегляду існуючих рішень та пошуку нових методів рішення задач аналізу та синтезу телекомунікаційних та інформаційних технологій. Процес створення теорії телекомунікаційних та інформаційних технологій поки що не завершено, однак, інженерна інтуїція сьогодні часто опереджає науку і дозволяє знайти необхідні рішення задач на стику різних наук, тим самим, перейти від чисто технологічних рішень, до рішень на основі теорії систем [1].

Вирішення багатьох задач телекомунікаційних та інформаційних технологій потребує пошуку ефективних інструментів системного аналізу й синтезу сучасних телекомунікаційних та інформаційних систем на базі нових математичних методів. Огляд відомих рішень дозволяє стверджувати, що вони базуються на низці вже відомих математичних методів, таких як: функціональний аналіз, інтегральне й диференціальне числення, теорія груп, теорія операторів, спектральний аналіз та інші. Важливим питанням є пошук інших математичних методів, альтернативних до відомих, які дозволять значно спростити процес рішення та одночасно надати нові можливості рішення. Таким рішенням може бути використання методів сплайн-функцій, таких як сплайн-апроксимація та сплайн-екстраполяція. Проведені авторами дослідження в роботах [1-6], [8-24] дозволяють стверджувати про перевагу використання сплайнів, адже: сплайни просто обчислюються, мають хороша збіжність, стійкі до локальних збурень, мають властивості масштабованості та просто змінюються на окремих ділянках, надають можливості забезпечення необхідної точності.

Використання методів інтерполяції, апроксимації та екстраполяції процесів і режимів мережних елементів, а також функцій мережі дозволять отримати рішення значного класу задач за допомогою дійсних та комплексних сплайн-функцій [1-6], [8-24], що дозволили більш просто розв'язати деякі задачі телекомунікацій. Використання дійсних та комплексних сплайн-функцій має важливу практичну перевагу – досить просту реалізацію сплайн-функцій та можливості майже універсального використання.

В роботах [8-10] показано відновлення сигналів за допомогою відліків та порівняння результатів відновлення за допомогою ряду Котельникова та сплайн-апроксимації на базі кубічних сплайнів. Встановлено, що використання сплайн-апроксимації для сигналу з частотними коливаннями дозволяє отримати результати з найменшою похибкою. Результати рекурсивних оцінок стану мережних елементів розглянуті в роботі [9], запропоновано використання фільтру Кальмана-Б'юсі та сплайн-апроксимації дозволяють стверджувати, що результати відновлення стану мережних елементів протоколу RTP (Real Time Protocol)/RTCP (Real Time Control Protocol) за допомогою кубічних сплайн-функцій можуть бути значно покращені. Перевага сплайн-апроксимації при рішенні задач відновлення трафіку доведена за допомогою різних видів сплайн-функцій (лінійних, квадратичних, кубічних, В-сплайнів та інші) в роботах [2-6]. На сучасному етапі розвитку телекомунікацій важливим питанням є вирішення задач прогнозування характеристик трафіку, який обслуговується в мережі. Для цього в роботах [11-19] запропоновано використання сплайн-екстраполяції на базі різних сплайн-функцій (лінійних, квадратичних, квадратичних В-сплайнів, кубічних, кубічних В-сплайнів та кубічних сплайнів Ерміта), які дозволяють підвищити точність прогнозу. Результати прогнозування дозволяють передбачити необхідний розмір буферних пристроїв та

характеристик об'єктів мережі, тим самим запобігти перевантаженням в мережі та сприяють перевищенню нормативних значень характеристик якості QoS.

Однак, існує низка задач, рішення яких неможливо отримати за допомогою дійсних сплайнів, наприклад, задачі позиціонування. При рішенні таких задач існує потреба визначення координати користувача у відношенні до отриманої потужності сигналу. У цьому випадку авторами запропоновано використання комплексних плоских сплайн-функцій, які дозволяють зменшити похибку позиціонування у порівнянні з іншими відомими методами [20-23].

Галузь інформаційних технологій сьогодні потребує іншого підходу до вирішення значної кількості завдань, які потребують зменшення обчислювальної складності та витрат часу на розрахунки, але мають вимоги щодо точності отриманих результатів. Таким прикладом може бути процес 3D-модельовання, який має потреби у відтворенні кривих та поверхонь з заданою точністю. Використання сплайн-інтерполяції в даному випадку має переваги та дозволяє використовувати сплайнові криві для створення форми модельованого 3D-об'єкту, а сплайнові поверхні можуть наближати його тривимірну форму.

*Метою даної роботи є пошук нових методів рішення задач аналізу та синтезу в інформаційних технологіях.*

## 1 Задачі сплайн-апроксимації

За допомогою дійсних сплайн-функцій (лінійних, квадратичних, кубічних В-сплайнів, кубічних, кубічних В-сплайнів та кубічних сплайнів Ерміта) вирішено багато задач в телекомунікаційних технологіях, а саме [1-6], [8-10]:

- відновлення випадкових сигналів й самоподібного трафіка, рішення яких дозволяють отримати необхідні значення між вузлами інтерполяції з необхідною похибкою [8-10];
- відновлення станів мережних об'єктів та характеристик в реальному часі, рішення яких забезпечить отримання рекурсивних оцінок стану часу затримки протоколу RTP/RTCP, ємності завантаження буфера RED та інших з метою зменшення похибки відновлення [9];
- управління мережними об'єктами і мережею в цілому, які базуються на результатах моніторингу мережі та обробці отриманих даних [9];
- підтримки процедур функціонування об'єктів і мережі в цілому з метою підвищення характеристик якості QoS/QoE функціонування [5-6].

### 1.1 Задача відновлення неперервних сигналів за допомогою сплайн-апроксимації на базі дійсних кубічних сплайнів

На рис. 1 показано апроксимацію відновленого неперервного сигналу вигляду (1) [10]

$$f(x) = 2 \frac{\sin(16\pi(x - \frac{1}{2}))}{16\pi(x - \frac{1}{2})} - 3 \frac{\sin(8\pi(x - \frac{1}{2}))}{8\pi(x - \frac{1}{2})}. \quad (1)$$

за допомогою дійсного кубічного сплайну виду (2), заданого на сегменті  $[a, b]$ ,

$$S_3(x) = f_i(1-t)^2(1+2t) + f_{i+1}t^2(3-2t) + m_i h_i t(1-t)^2 - m_{i+1} h_i t^2(1-t), \quad (2)$$

причому  $t = (x - x_i) / h_i$ ,  $S_3(x_i) = f_i$ ,  $S_3(x_{i+1}) = f_{i+1}$ ,  $m_i = S'(f; x_i)$ ,  $h_i = h = (b - a) / n$ ,  $n$  – кількість елементів розбиття сегменту  $[a, b]$ ,

в порівнянні з рядом Котельникова [10].

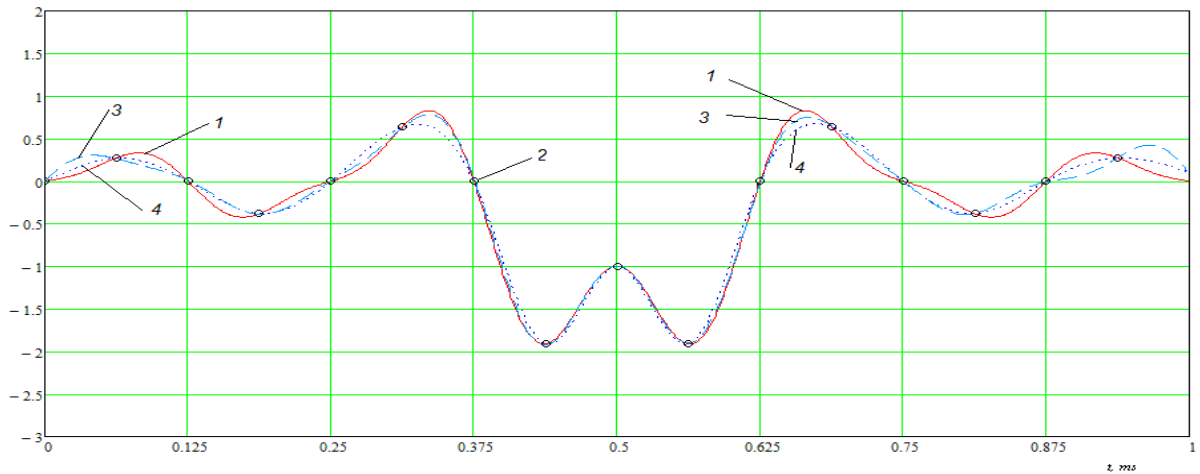


Рисунок 1 – Вихідний неперервний сигнал  $f(x)$  та його відновлення за допомогою ряду Котельникова та кубічної сплайн-функції

В результаті проведеного аналізу відновлення неперервних сигналів за їх відліками за допомогою рядів Котельникова, кубічного сплайна встановлено, що використання сплайн-апроксимації має меншу похибку і може бути використано для відновлення сигналів, які характеризуються наявністю швидких коливань [10].

Таким чином, можливо відмітити, що при рішенні телекомунікаційних задач, використання сплайн-апроксимації дозволяє простіше отримати рішення класу задач, таких як, відновлення та оцінки станів (даних, сигналів, трафіку), задач обробки сигналів та зображень, включно з задачами фільтрації та стиснення даних, виявлення та вимірювання сигналів та підвищення характеристик якості QoS функціонування телекомунікаційних мереж з необхідною похибкою.

## 1.2 Задача сплайн-апроксимації кривих та поверхонь на базі дійсних параметричних лінійних сплайнів

Розглянемо методи сплайн-функцій в задачах інформаційних технологій для побудови кривих та поверхонь в 3D-моделюванні. Сплайнові криві та поверхні використовуються у анімації, відеоіграх та інтерактивних додатках, адже створення траєкторії руху об'єктів у часі для створення плавних та природних рухів, процесів деформації у відповідь на дії користувача або зміни у навколишньому середовищі є складним та ресурсовитратним процесом.

Для рішення задач моделювання, а саме, побудови кривих та поверхонь використаємо лінійні параметричні сплайни. При інтерполяції кривої, яку задано параметрично вигляду (3), розіб'ємо проміжок зміни параметру  $u$ , таким чином  $u_0 < u_1 < \dots < u_N$ . Знайдемо значення функції у точках розбиття  $u_i$ ,  $i = \overline{0, N}$ , причому

$$(3) \quad \begin{cases} x_i = x(u_i); \\ y_i = y(u_i). \end{cases}$$

Інтерполяційний параметричний сплайн першого ступеню на проміжку між точками  $P_i$  та  $P_{i+1}$  має вигляд [25-26]:

$$\begin{cases} S_1(x; s) = (1-t)x_i + tx_{i+1}; \\ S_1(y; s) = (1-t)y_i + ty_{i+1}. \end{cases} \quad (4)$$

де  $t = (s - s_i) / l_i$ ,  $l_i = s_{i+1} - s_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, N-1$ .

Сукупність сплайнів  $S_1(x; u)$  та  $S_1(y; u)$  називається лінійним інтерполяційним параметричним сплайном. В залежності від виду функцій розглядають лінійні параметричні або квадратичні, або кубічні та інші сплайни [25-26].

Приклад побудови лінійного параметричного сплайна виду (1) для заданої кривої  $L$  показано пунктирною лінією на рис. 2.

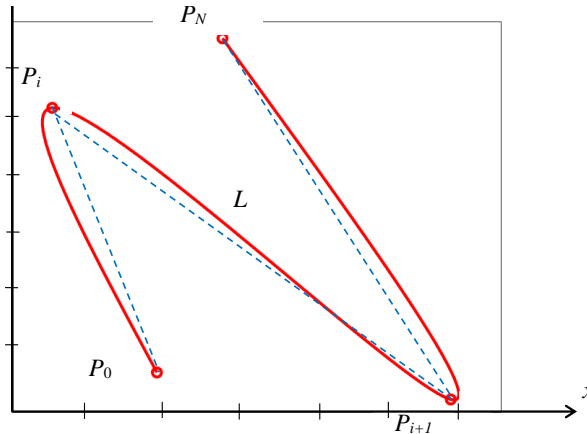


Рисунок 2 – Інтерполяційна крива параметричного лінійного сплайну

Неважко бачити, що така крива має значні похибки до 25 %, зниження яких може бути досягнуто за рахунок зменшення кроку інтерполяції. Для зменшення похибки відтворення кривих та поверхонь можливо використати сплайни більш вищих порядків, такі як квадратичні, кубічні сплайни або кубічні В-сплайни.

### 1.3 Задача сплайн-апроксимації на базі комплексних плоских сплайнів

Для визначення місцезнаходження користувача в мережі Wi-Fi/Indoor розглянемо сплайн-апроксимацію. В якості наближуючої функції будемо використовувати комплексний плоский квадратичний сплайн [20-23]. Розглянемо мережу Wi-Fi/Indoor (рис. 3), яка складається з сукупності точок доступу  $AP_i$ , де  $i$  – кількість точок доступу  $AP_i$ ,  $i = \overline{1,3}$ .

Позначимо область покриття мережі Wi-Fi/Indoor через  $\bar{G}$ , для якої  $\bar{G} \subset Q$  (рис. 7), де

$Q = [a, a+H] \times [b, b+H]$ , з стороною  $H > 0$  та кроком  $h_N = \frac{H}{N}$ ,  $N$  – натуральне число,  $x_k = a + kh_N$ ,

$y_j = b + jh_N$ ,  $k, j = 0, 1, \dots, N$ . Причому,  $\bar{G} = G \cup \partial G$ , де  $\partial G$  – границя області  $G$ . Розіб'ємо область

покриття мережі Wi-Fi/Indoor на сегменти, тоді  $Q = \bigcup_{k,j=0}^{N-1} Q_{k,j}$ , де

$Q_{k,j} = \left\{ z = x + iy : x \in [x_k, x_{k+1}], y \in [y_j, y_{j+1}] \right\}$ . Таке розбиття позначимо через  $\Delta_N$ . Визначимо область

$G_N$  як об'єднання всіх сегментів  $Q_{k,j}$ , для яких  $Q_{k,j} \cap G \neq \emptyset$ .

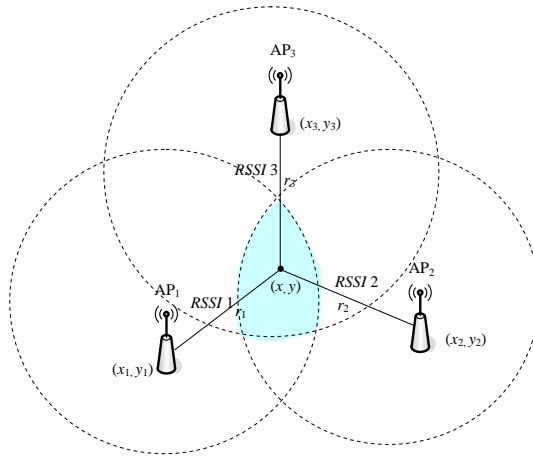


Рисунок 3 – Мережа Wi-Fi/Indoor

Для знаходження координат місцезнаходження користувача розглянемо один з елементів розбиття, який входить в область  $G_N$  з вершинами  $P_1, P_2, P_3$  та  $P_4$  для яких, виконуються наступні умови (рис. 4):

$$\operatorname{Re} P_1 = \operatorname{Re} P_4, \operatorname{Re} P_2 = \operatorname{Re} P_3, \operatorname{Im} P_1 = \operatorname{Im} P_2, \operatorname{Im} P_3 = \operatorname{Im} P_4. \quad (5)$$

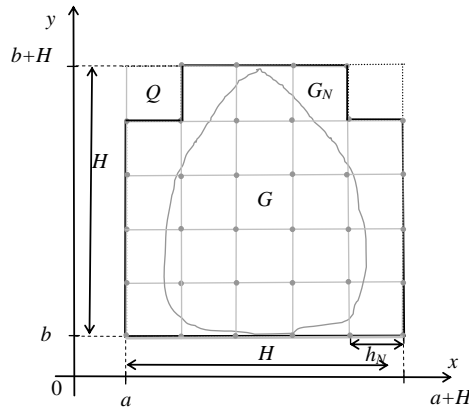


Рисунок 4 – Область  $G_N$

Побудуємо по сітчастій області  $G_N$  квадратичний плоский комплексний сплайн  $S_\Delta(z)$ , який інтерполює функцію  $f(z)$  (або її продовження) у вершинах прямокутників  $Q_{k,j}$ , що увійшли до області  $G_N$ , вважаючи

$$S_\Delta(z) = a + bz + c\bar{z} + d(z^2 - \bar{z}^2), \quad (6)$$

при  $z \in Q_{k,j} \subset G_N$ , де коефіцієнти  $a, b, c, d$  визначаються з інтерполяційних умов у точках  $z_{k,j} = x_k + iy_j$ :

$$S_\Delta(z_{k,j}) = f(z_{k,j}), \quad S_\Delta(z_{k+1,j}) = f(z_{k+1,j}), \quad S_\Delta(z_{k,j+1}) = f(z_{k,j+1}), \quad S_\Delta(z_{k+1,j+1}) = f(z_{k+1,j+1}).$$

Функція  $S_\Delta(z)$  – неперервна в  $G_N$  [23].

## 2 Задача сплайн-екстраполяції

Рішення задач телекомунікацій та інформаційних технологій отримані за допомогою сплайн-екстраполяції на базі дійсних сплайн-функцій (лінійних, квадратичних, квадратичних

В-сплайнів, кубічних, кубічних В-сплайнів та кубічних сплайнів Ерміта). Отримані рішення наступних задач [11-19]:

Методи сплайн-екстраполяції, дозволили вирішити значний клас задач аналізу та синтезу телекомунікацій та кібербезпеки, які показано в роботах [11-19]:

– прогнозування характеристик трафіку, рішення яких в реальному часі для різних видів трафіку (data traffic, voice traffic, telemetry traffic та video streaming traffic) забезпечить можливості підтримки характеристик якості QoS/QoE [11-19];

– підтримки характеристик якості QoS/QoE, а, саме, характеристик часу затримки та ймовірності втрат й спотворення пакетів при обслуговуванні різних видів трафіку та формуванні вимог до мережних буферних пристроїв [11-19];

– вибору оптимальної конфігурації об'єктів телекомунікаційної мережі, рішення яких базується на результатах прогнозування характеристик трафіку об'єктів і мережі в цілому для підвищення характеристик якості функціонування телекомунікаційної мережі;

– визначення та прогнозування трафіку кібератак типу DDoS (SYN-Flood, ICMP-Flood, UDP-Flood) з використанням сплайн-функцій.

## 2.1 Задача визначення та прогнозування трафіку кібератак типу DDoS з використанням сплайн-функцій

При розгляді характеристик трафіку кібератак DDoS (Distributed Denial of Service), часто відзначаються часті періодичні, короткі і значні «сплески» інтенсивності трафіку, а легітимний трафік має невелику амплітуду пульсацій, які відбуваються протягом тривалого часу. Враховуючи, що трафік кібератак має властивості самоподібності, сплайн-екстраполяція може бути використана при вирішенні задач виявлення та прогнозування атак DDoS (SYN-Flood, ICMP-Flood, UDP-Flood). Використовуємо метод сплайн-екстраполяції для прогнозування трафіку кібератак типу DDoS (рис. 5) [27].

Запропонована сплайн-екстраполяція на базі сплайн-функцій, має низку переваг у порівнянні з відомими методами. Він досить простий у реалізації, має меншу похибку прогнозування трафіку кібератак, а також може бути використано для визначення та прогнозування трафіку кібератак DDoS у реальному масштабі часу.

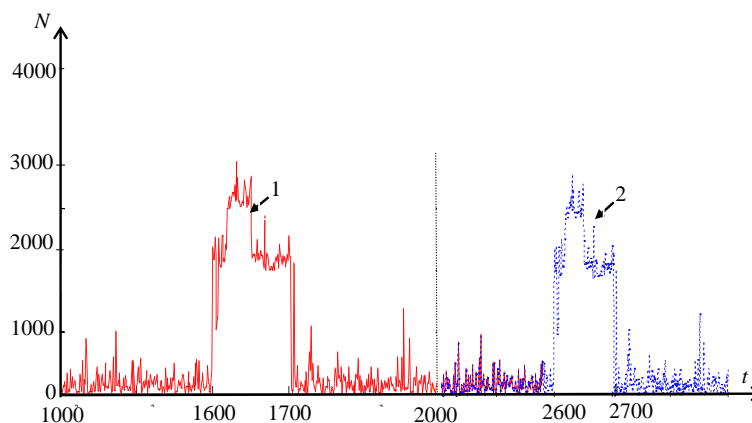


Рисунок 5 – Результати екстраполяції трафіку DDoS кібератаки на відрізок [2600;2700] з використанням кубічного сплайна, 1) трафік DDoS атаки, 2) екстраполяція трафіку з використанням кубічного сплайна

Вдалий вибір виду сплайн-функцій під час сплайн-екстраполяції дозволяє підвищити точність визначення трафіку DDoS атак. Перспективами подальших досліджень є подальше підвищення точності визначення та прогнозування характеристик трафіку різних кібератак DDoS (SYN-Flood, ICMP-Flood, UDP-Flood) за допомогою методу вейвлет-екстраполяції з відповідним вибором вейвлет-функцій [27].

## Висновки

1. Наряду з вирішеними задачами телекомунікацій за допомогою сплайн-апроксимації запропоновано та використано сплайн-апроксимацію і сплайн-екстраполяцію в задачах інформаційних технологій, що дозволяє значно спростити процес рішення та одночасно надати нові можливості отримання результатів.

2. Показано, що суттєві переваги серед відомих методів апроксимації мають сплайн-функції. Сплайни стійкі щодо локальних «сплесків» та мають хорошу збіжність сплайн-інтерполяції на відміну від поліноміальної. Для функцій з нерегулярними властивостями гладкості незаперечний пріоритет за сплайн-інтерполяцією, сплайни мають корисні екстремальні властивості, важливою практичною перевагою є досить проста реалізація сплайн-функцій.

3. Запропоновано використання сплайн-апроксимації, яка дозволяє простіше отримати рішення таких задач, як, відновлення та оцінки станів (даних, сигналів, трафіку), задач обробки сигналів та зображень, включно з задачами фільтрації та стиснення даних, вимірювання сигналів та підвищення характеристик якості QoS функціонування телекомунікаційних мереж з необхідною похибкою.

4. Розроблено метод сплайн-екстраполяції, який дозволяє отримати рішення задач прогнозування характеристик трафіку, визначення та прогнозування DDoS атак та підвищити точність прогнозу, забезпечивши масштабованість рішень.

5. Визначено, що для рішення задач позиціонування доцільно використання комплексних плоских сплайнів, які дозволяють спростити визначення координат місцезнаходження користувача в мережі радіодоступу та підвищити точність позиціонування.

6. Для моделювання кривих та поверхонь запропоновано використання лінійних параметричних сплайнів. Встановлено, що інтерполяція кривих та поверхонь в 3D-моделюванні з використанням параметричних сплайнів має більш високу точність у побудові кривих та поверхонь у порівнянні з використанням інших методів відновлення цих кривих та поверхонь.

## Література

1. Стрелковська І.В. Застосування дійсних та комплексних сплайнів в задачах інфокомунікацій / І.В. Стрелковська, І.М. Соловська, Ю.О. Стрелковська // Проблеми телекомунікацій. – 2021. – № 01 (28). – С. 3-19.

2. Strelkovskaya, I.V., Solovskaya, I.N., Severin, N.V., Paskalenko, S.O. Approximation of self-similar traffic by spline-functions. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: proceedings of the XIII<sup>th</sup> International Conference (TSET'2016), Slavske, Ukraine, February 23 – 26, 2016. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – P. 132-135.

3. Strelkovskaya, I.V., Solovskaya, I.N., Severin, N.V. Modeling of self-similar traffic. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Applied Innovations in IT (ICAII-2016), Vol. 1, Is. 5, Koethen, Germany, March, 10, 2016.– Anhalt University of Applied Sciences. – P. 61-64. <https://doi.org/10.13142/KT10004.23>

4. Strelkovskaya, I., Solovskaya, I., Severin, N., Paskalenko, S. Spline approximation based restoration for self-similar traffic. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. (2017). № 3/4 (87). P. 45-50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102999>.

5. Strelkovskaya, I., Solovskaya, I., Strelkovska, J. Spline-approximation and spline-extrapolation methods in telecommunication. In: Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 212. Springer, Chap № 1. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_1)

6. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. «Spline-Approximation and Spline-Extrapolation Methods in Telecommunication Problems», Current Trends in Communication and

- Information Technologies. IPF 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 212, Springer, Cham, 2021, P. 3-22. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_1).
7. G. Opfer, M. Puri Complex planar splines, J. Approxim. Theory, vol. 31, № 4, P. 383-402, 1981.
  8. Стрелковская И.В. Теория и методы сплайн-аппроксимации в телекоммуникациях: диссертация. На соискание ступени доктора технических наук. Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, 2010.
  9. Strelkovskaya I.V., Bukhan D.Yu. Restoration of continuous signals based on the Kalman-Bucy filter and cubic splines, Radio engineering: All-Ukr. Inter. scien. tech. col., Vol. 156, 2009. P. 61-63.
  10. Стрелковская И.В., Лысюк Е.В., Золотухин Р.В.. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Т.2, № 9(62), 2013. С. 12-15 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.12437>.
  11. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Predicting characteristics of self-similar traffic, Third International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2018), O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunication, Odessa, Ukraine, September, 2018. <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047536>.
  12. Strelkovskaya I., Solovskaya I. Using spline-extrapolation in the research of self-similar traffic characteristics, Journal of Electrical Engineering, Vol. 70, Is. 4, 2019. P. 310-316. <https://doi.org/10.2478/jee-2019-0061>.
  13. Strelkovskaya I.V., Solovskaya I.N., Paskalenko V.M. Spline-extrapolation method for restoring self-similar traffic. Digital technologies. Collection of scientific works, Vol. 25, 2019. P. 42-51.
  14. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Different extrapolation methods in Problems of Forecasting, Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_12).
  15. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Predicting self-similar traffic using cubic B-splines, 3<sup>rd</sup> IEEE International Conference Advanced Information and Communication Technologies (AICT-2019), Lviv, Ukraine, July 2019. – P. 153-156. <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847761>
  16. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Tolmak V. Use of spline-extrapolation to increase the quality indicators of telecommunication systems, Proceedings of the O.S. Popov ONAT, Vol. 2, 2019. P. 77-85. <https://doi.org/10.33243/2518-7139-2019-1-2-77-85>.
  17. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A. Forecasting 5G network multimedia traffic characteristics, 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv Polytechnic National University, Slavske, Ukraine, February, 2020. P. 982 - 987. <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235585>.
  18. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Makoganiuk A., Rodionova T. Multimedia Traffic Prediction Based on Wavelet- and Spline-extrapolation, 8<sup>th</sup> Black Sea Conference on Communications and Networking, Odessa, Ukraine, May, 2020. – P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/BlackSeaCom48709.2020.9234998>.
  19. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. Spline-extrapolation of video traffic of IoT-devices based on various cubic splines, 2020 International Scientific-Practical Conference Proceedings of Problems of Infocommunications Science and Technology (PICS&T 2020), Kharkiv, Ukraine, Kharkiv National University of Radio Electronics, October 2020.
  20. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovska J. The use of linear complex planar splines to improve the accuracy of determining the location of the user in Wi-Fi/Indoor networks, 2021 International Scientific-Practical Conference Proceedings (PICS&T 2021), P. 1-4, 2021.
  21. Strelkovskaya I. Fingerprinting/Indoor positioning using complex planar splines / I. Strelkovskaya, I. Solovskaya, J. Strelkovska // Journal of Electrical Engineering. Vol. 72 (2021), N06, pp. 401-406. <https://doi.org/10.2478/jee-2021-0057>.



22. Стрелковська І.В. Застосування дійсних та комплексних сплайнів в задачах інфокомунікацій [Електроний ресурс] / І.В. Стрелковська, І.М. Соловська, Ю.О. Стрелковська // Проблеми телекомунікацій. – 2021. – № 01 (28). – С. 3-19.
23. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Strelkovskaya J., Paskalenko V. Complex spline approximation in positioning problems. Radioelectronics and Communications Systems. 2022. Vol. 65 (7). P. 376–385. <https://doi.org/10.3103/S0735272722100028>.
24. Popovsky V.V., Strelkovskaya I.V. Accuracy of procedures for filtering, extrapolating and interpolating random processes, Telecommunication problems, 1(3), 2011. P. 3-10.
25. 7. Ahlberg J.H., Nilson E.N., Walsh J.L. The Theory of Splines and Their Applications, Academic Press, New York, 1967.
26. Larry L. Schumaker Spline Functions: Basic Theory, Cambridge University Press, New York, 2007.
27. Kivalov S., Strelkovskaya I. Detection and prediction of DDoS cyber attacks using spline functions. IEEE TCSET 2022: 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, Ukraine, February 22 – 26, 2022. – Lviv: Lviv Polytechnic National University. – P. 710-713. <https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766940>

**УДК 004.5/004.7:621.5+641**

*Лановський М О.*

*студент IV курсу спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія  
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук  
lanovskiy@gmail.com*

*Гура В І.*

*кандидат технічних наук, доцент  
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій  
Міжнародний гуманітарний університет  
м. Одеса, Україна  
ihu@ukr.net*

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

**Анотація.** У статті розглядається розроблена автором система моніторингу складських приміщень та холодильних вітрин продуктового магазину, яка ґрунтується на технологіях Інтернету речей. Ця система дає змогу дистанційно відстежувати температуру та стан холодильного обладнання, що допомагає запобігати псуванню харчових продуктів. Саме через псування продовольчих товарів та їх вилучення через порушення умов зберігання продуктів ритейлери зазнають значних фінансових збитків.

**Актуальність теми.** Практичне застосування технологій Інтернету речей можна знайти в багатьох виробничих, транспортних та житлово-комунальних організаціях. Концепція Internet of Things (IoT) також використовується в агрокомплексах, інфраструктурі, домашній автоматизації тощо [1,2]. У даній роботі приділяється увага використанню IoT у продуктовому магазині. Згідно зі Звітом про індекс харчових відходів Програми ООН із довкілля за 2021 рік, приблизно 17 % загального обсягу світового виробництва харчових продуктів стають відходами. Продуктові магазини зазнають значних збитків від псування харчів та їх вилучення через порушення умов зберігання [3]. Одним зі способів розв'язання

цієї проблеми є інтеграція системи моніторингу температури. Рішення Інтернету речей засвідчили свою практичну цінність у запобіганні псуванню різних категорій харчових продуктів [4,5].

**Мета роботи.** Розгляд використання технологій Інтернету речей на прикладі розробленого автором програмно-апаратного комплексу для моніторингу складських приміщень та холодильних вітрин продуктового магазину.

У роботі будуть вирішені такі **завдання**: описання апаратної (мікроконтролер-шлюз) та програмної (вебінтерфейс) частин системи моніторингу.

Контроль температури є вкрай важливою функцією для сучасних продуктових магазинів. Саме температура є вирішальним чинником для визначення терміну придатності всіх видів харчових продуктів [4].

Розроблена система моніторингу забезпечує збір і аналіз даних із різних датчиків, надаючи необхідну аналітичну інформацію для підвищення ефективності та можливості оперативного прийняття рішень. IoT-рішення може попередити псування харчів, наприклад, якщо якийсь холодильник вийде з ладу. Окрім цього, оператори можуть підтримувати холодильне обладнання в належному стані, відстежуючи потрібні параметри дистанційно.

Центральний вузол апаратної частини – 32-бітний мікроконтролер ESP32 від компанії Espressif Systems, який підтримує стек TCP/IP та має вбудований інтерфейс Wi-Fi. ESP32 відіграє важливу роль у системі: збирає дані з різних датчиків та передає їх на наявний сервер за допомогою мережевого модуля з контролером Fast Ethernet на шині SPI від компанії WIZnet – W5500. Деякі датчики використовують протокол 1-Wire (DS2405, DS18B20), інші передають дані мережею (Wi-Fi) використовуючи HTTP (наприклад, такі ж шлюзи чи датчики). Структурну схему апаратної частини наведено на рис. 1.

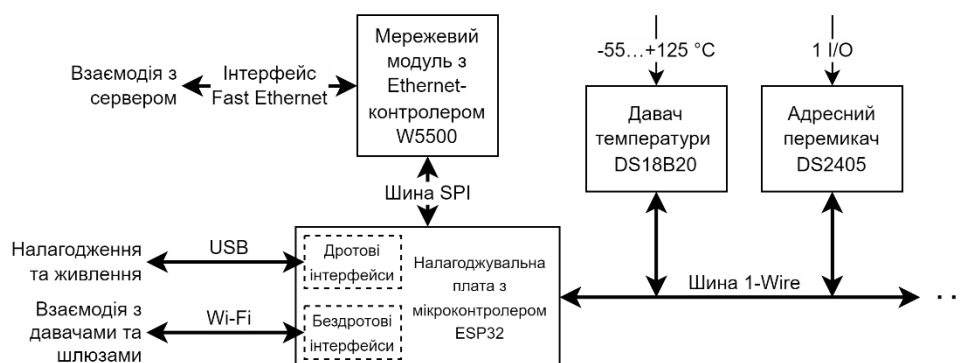


Рисунок 1 – Структурна схема апаратної частини системи моніторингу

Функції, що виконуються шлюзом: керування підлеглими пристроями; вимірювання та фільтрація вхідних параметрів; сигналізація про вихід параметрів за встановлені межі; надання інтерфейсу передачі виміряних параметрів та налаштування шлюзу. Зібрані параметри передаються та зберігаються в базі даних (БД) сервера магазину з використанням спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) із закритим початковим кодом. Це ПЗ також сповіщає оператора системи моніторингу через Telegram-бота при отриманні повідомлення-сигналізації від шлюзу. Приклад повідомлень оператору у Telegram зображено на рис. 2.

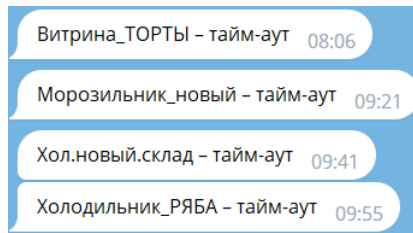
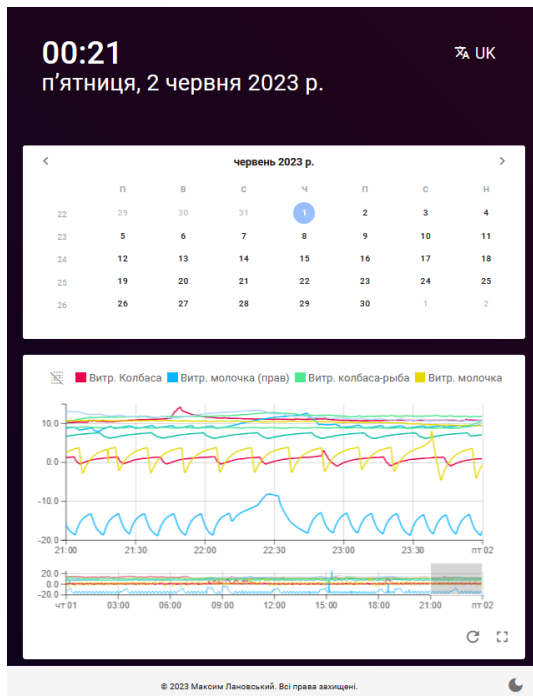


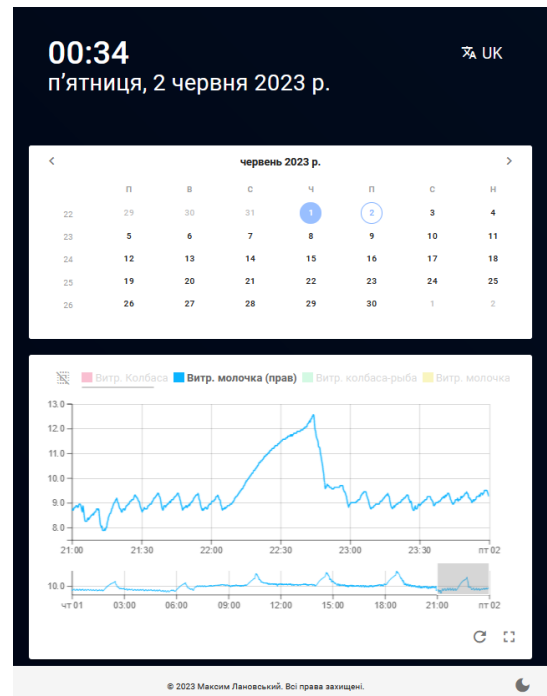
Рисунок 2 – Повідомлення-сигналізація оператору системи моніторингу про вихід параметрів за встановлені межі в чаті Telegram

Інформація з БД сервера перетворюється та візуалізується розробленою автором програмною частиною – односторінковим застосунком (англ. Single-page application, SPA). SPA – це HTML-сторінка, на якій динамічно оновлюються дані, які беруться з вказаного джерела даних (у нашому випадку – БД сервера), за допомогою JavaScript під час взаємодії користувача із системою. Вебсервер, на якому розгортається SPA, використовує SSL/TLS, захищається від DDoS-атак та шпигунських ботів шляхом використання сервісів Cloudflare [6]. Доступ до SPA та запити до БД захищені дайджест автентифікацією. SPA побудовано з використанням сучасних фреймворків – Vue.js і Vuetify – та бібліотек – Axios (генерує HTTP-запити до БД) і Vuex (надає інтерфейс для централізованого збереження/кешування отриманих даних у веббраузері).

Зовнішній вигляд вебінтерфейсу оператора показано на рис. 3. На знімках екранів показано сторінку з діаграмами, де можна обрати дату та отримати візуалізацію у вигляді графіків зміни температури за часом. Ділянка обраного графіка може зручно змінюватися виділенням часової області з попереднім переглядом показань за добу. Кожна лінія графіка відповідає використаному датчику. На рис. 3а зображено зміни параметрів усіх датчиків, а на рис. 3б – вибраного датчика. Також сторінка містить елементи вибору мови інтерфейсу (українська або англійська) та зміни колірної гами («світла» або «темна» тема).



а



б

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд вебінтерфейсу системи моніторингу

**Висновки.** Автором роботи розглянуто використання технологій Інтернету речей на прикладі розробленого програмно-апаратного комплексу для моніторингу складських приміщень та холодильних вітрин продуктового магазину. Описано апаратну частину, до якої входить 32-бітний мікроконтролер із телекомунікаційними можливостями, який виконує роль шлюзу, та програмну частину – односторінковий застосунок як вебінтерфейс користувача системи моніторингу. Система моніторингу надає оператору можливість відстежувати необхідні дані дистанційно, що допомагає підтримувати холодильне обладнання в належному стані та запобігати псуванню харчових продуктів.

### **Література**

1. Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2020. Вип. 31 (70), № 6 Частина 1. С. 142–148.
2. Уривський Л.О. et al. Дослідження і розробка рішень Інтернету речей широкого застосування // Sciences of Europe. Praha, Czech Republic: Global Science Center LP, 2019. Вип. 1, № 36. С. 39–54.
3. UNEP Food Waste Index Report 2021 | UNEP - UN Environment Programme. URL: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021> (дата звернення: 01.06.2023).
4. da Costa T.P. et al. A Systematic Review of Real-Time Monitoring Technologies and Its Potential Application to Reduce Food Loss and Waste: Key Elements of Food Supply Chains and IoT Technologies // Sustainability. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Вип. 15, № 1. С. 614.
5. Maheshwari P. et al. Internet of things for perishable inventory management systems: an application and managerial insights for micro, small and medium enterprises // Annals of Operations Research. Springer, 2021. С. 1–29.
6. What is Cloudflare? | Cloudflare. URL: <https://www.cloudflare.com/learning/what-is-cloudflare/> (дата звернення: 01.06.2023).

**УДК 621.372.8**

*Педяш В.В., к.т.н, доцент  
Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку  
vpedyash@gmail.com  
Мазур Г.Д.  
Міжнародний гуманітарний університет  
Anna2102@i.ua*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛУ ВОСП З ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯМ**

***Анотація.** У роботі виконано оцінку впливу характеристик сигналу когерентної ВОСП на якість оптичного каналу зі швидкістю передачі 264 Гбіт/с. Дослідження проведено методом імітаційного моделювання у програмному середовищі MatLab. Встановлено, що при використанні в приймачі декодера з гнучким рішенням (SD-FEC), довжина ділянки 3R регенерації оптичного каналу становить близько 1600 км.*

Розширення набору послуг телекомунікаційної мережі потребує вирішення завдання зі збільшення пропускної спроможності систем передачі. Основою побудови транспортних мереж є волоконно-оптичні системи передачі оптичної транспортної

ієрархії (OTN), що дозволяють організувати оптичні канали зі стандартизованими швидкостями від 2,7 до 112 Гбіт/с. Подальше збільшення швидкості до 200 Гбіт/с та вище вимагає використання сукупності ефективних методів модуляції та мультиплексування сигналів [1]. Також актуальним завданням є визначення оптимальних характеристик сигналу (метод модуляції, потужність, форма спектру та ін.) з метою мінімізації його спотворень в середовищі поширення ВОСП [2].

Тому метою даного дослідження є визначення оптимальних характеристик сигналу когерентної ВОСП з поляризаційним мультиплексуванням.

Для вирішення поставленого завдання було використано метод імітаційного моделювання, оскільки він дозволяє отримати достовірний результат з повноцінним урахуванням лінійних та нелінійних спотворень сигналу в оптичному волокні. Структурна схема розробленої MatLab моделі оптичного каналу включає блоки передавача, волоконно-оптичного лінійного тракту (ВОЛТ) і приймача (рис. 1). Основні характеристики функціональних блоків наведено у табл. 1.

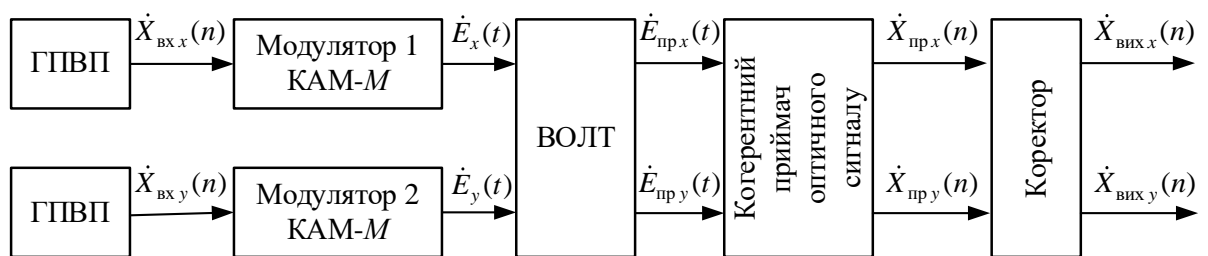


Рисунок 1 – Структурна схема каналу ВОСП з КАМ модуляцією та поляризаційним мультиплексуванням

Передавач ВОСП містить два генератори псевдовипадкової послідовності символів (ГПВП) та два модулятори КАМ-М. На їх виході формуються оптичні сигнали  $E_x(t)$  та  $E_y(t)$  у двох взаємно ортогональних площинах поляризації. У цій роботі представлені результати досліджень для модуляції КАМ-16 і каналної швидкості передачі 264,536 Гбіт/с, що відповідає характеристикам транспондера FlexRate 200G для платформи MICROSENS MSP3000 [3].

Таблиця 1 – Характеристики MatLab моделі каналу ВОСП з КАМ модуляцією

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Швидкість передавання $V_{пер}$	264,536 Гбіт/с (2xOTU4)	Довжина підсилювальної секції $L_{секц}$	100 км
Тип модуляції	КАМ-16	Шум-фактор оптичного підсилювача $nf$	6 дБ
Кількість тестових символів	20000	Смуга частот каналу ВОСП	100 ГГц
Символьна швидкість $V_{симв}$	33,067 Гсимв/с	Смуга пропускання ФНЧ приймача	0,75 $B_{симв}$

Волоконно-оптичний лінійний тракт (ВОЛТ) складається з  $N_{секц}$  однакових оптичних секцій. Кожна з них включає середовище поширення завдовжки  $L_{секц}$ , оптичний підсилювач на базі волокна, легованого ербієм та компенсатор хроматичної дисперсії. До

вихідного сигналу ВОЛТ додавався шум посиленого спонтанного випромінювання, який відповідає шум-фактору оптичного підсилювача.

Когерентний приймач оптичного сигналу виконує функцію демодулятора з поділом з поляризації. Компенсація амплітудних і фазових спотворень сигналу в середовищі поширення проводиться в блоці коректора. Для кожної з вихідних послідовностей символів  $\dot{X}_{\text{вих},x}(n)$  та  $\dot{X}_{\text{вих},y}(n)$  розраховувалися показники якості оптичного каналу – відносна помилка модуляції EVM та ймовірність помилки біта BER (рис. 2).

У ході досліджень визначалася залежність  $EVM(P_{\text{пер}}, N_{\text{секц}})$  і було встановлено, що якісні характеристики обох цифрових потоків (горизонтальної та вертикальної площини поляризації оптичного сигналу) каналу зв'язку практично однакові, тому в подальшому тексті наведено результати потоку даних для горизонтальної поляризації ( $\dot{X}_{\text{вих},x}(n)$ ). Також було встановлено, що для фіксованої протяжності ВОЛТ (числа секцій  $N_{\text{секц}}$ ) залежність  $EVM(P_{\text{пер}})$  має екстремум у вигляді мінімуму (рис. 2, а), якому відповідає оптимальне значення потужності сигналу передавача (рис. 2, б) та мінімальна ймовірність помилки

(рис. 2, в). Збільшення протяжності ВОЛТ призводить до накопичення нелінійних перешкод фазової самомодуляції, тому оптимальне значення потужності передавача слід зменшувати з 2 до 0,8 мВт одну площину поляризації.

До сучасних ВОСП висувається вимога щодо припустимої ймовірності помилки біта  $BER_{\text{вих}} < 10^{-12}$  на виході оптичного каналу. Тому цифровий сигнал транспондером ВОСП передається за допомогою коду з виправленням помилок, який у разі використання декодерів з м'яким рішенням SD-FEC припускає роботу каналу при вхідному  $BER_{\text{вх}} < 10^{-2}$  [4]. Виходячи з цієї умови, довжина ділянки регенерації складе 1600 км (16 секцій по 100 км згідно рис. 2, в).

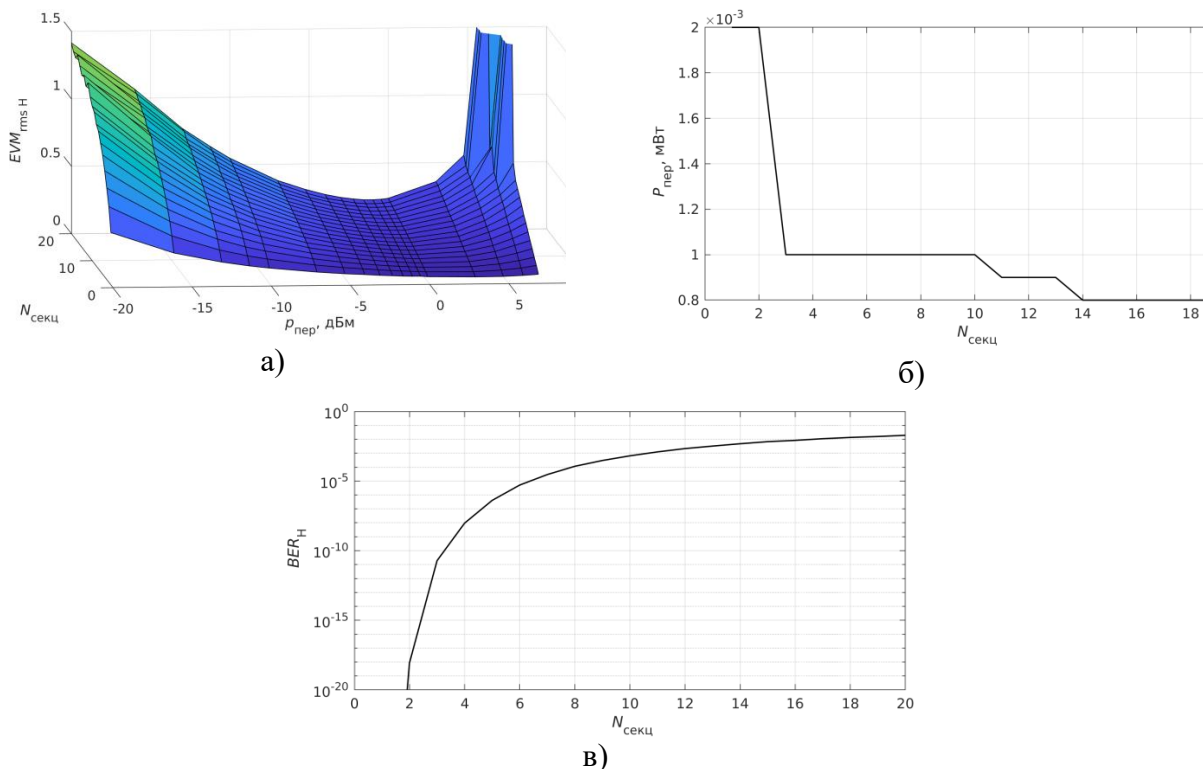


Рисунок 2 – Результати моделювання каналу ВОСП з КАМ-16 та поляризаційним мультиплексуванням (підканал горизонтальної поляризації): а) відносна помилка модуляції EVM; б) оптимальна потужність сигналу; в) ймовірність помилки BER

Підсумовуючи проведені дослідження, можна стверджувати, що поставлене в роботі завдання з визначення оптимальних характеристик ВОСП з поляризаційним мультиплексуванням виконано повністю. Отримана залежність оптимальної потужності передавача від протяжності ВОЛТ, яка дозволяє мінімізувати ймовірність помилки біта *BER* у каналі ВОСП. Встановлено, що для ВОСП із канальною швидкістю 264 Гбіт/с при використанні декодера з гнучким рішенням довжина ділянки регенерації становитиме близько 1600 км.

### **Література**

1. I. Kaminow, T. Li, A.E. Willner. Optical Fiber Telecommunications VB: Systems and Networks. New York: Academic Press, 2008. 916 p.
2. Agrawal GP Nonlinear Fiber Optics. New York: Academic Press, 2013. 629 p.
3. FlexRate 200G Muxponder (MS430943/4M). URL: [https://www.microsens.com/fileadmin/files/uploads/products/1\\_public/0\\_DAT/4\\_OTN/DAT422b\\_MS430943-4M\\_MSP3000-200G-FFI-Module\\_EN\\_1019.pdf](https://www.microsens.com/fileadmin/files/uploads/products/1_public/0_DAT/4_OTN/DAT422b_MS430943-4M_MSP3000-200G-FFI-Module_EN_1019.pdf) (дата звернення: 02.12)
4. Alvarado A., Agrell E., Lavery D., Maher R., Bayvel P. Replacing soft-decision FEC граничний paradigm в дизайні optical communication systems. Journal of lightwave technology. 2015. Vol. 33, No. 20. P. 4338-4352.

**УДК 621.314**

*Русу Олександр Петрович, к.т.н.  
Міжнародний гуманітарний університет  
shurusu@ukr.net*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

**Анотація.** *Проведено дослідження рівня перетворювальної потужності імпульсних перетворювачів електричної енергії. Показано, що використання певних схемотехнічних рішень дозволяє зменшити кількість енергії, що проходить через магнітне поле силового накопичувального дроселя, що, у свою чергу, дозволяє зменшити масу, габарити та вартість вузлів живлення. Отримані результати дозволяють краще розуміти енергетичні процеси в імпульсних перетворювачах електричної енергії та покращувати техніко-економічні показники телекомунікаційної, радіотехнічної та комп'ютерної техніки.*

Імпульсні перетворювачі електричної енергії є невід'ємною складовою апаратної частини телекомунікаційної, радіотехнічної та комп'ютерної техніки, оскільки її надійна та стабільна робота неможлива без електропостачання необхідної якості. Високі значення коефіцієнту корисної дії та питомої потужності, притаманні імпульсному перетворенню, призвели до того, що цей спосіб, на сьогоднішній день, фактично, є безальтернативним варіантом вирішення задач зміни величини напруги та струму, що майже завжди виникають при створенні електронного обладнання.

Однак, незважаючи на велику кількість робіт, присвячених підвищенню техніко-економічних показників імпульсних перетворювачів, у тому числі і провідних світових виробників електронного обладнання, наприклад [1, 2], існує ряд питань, які ще й досі не визначені та потребують проведення додаткових досліджень, як на практичному, так і на

теоретичному рівнях. Одним із таких питань є визначення ключового параметру імпульсного перетворювача, який безпосередньо впливає його масу, розміри та вартість.

Специфічною особливістю імпульсного перетворення є циклічне переміщення певної кількості енергії  $E_{\text{ПЕР}}$  в магнітне поле силового дроселя, з подальшим її поверненням в електричну частину схеми, оскільки при зворотному перетворенні енергії електромагнітного поля магнітопровода дроселя в енергію електричного струму відбувається зміна параметрів електричної енергії, що отримується від первинного джерела живлення. При такому способі перетворення, середня потужність перетворювача  $P_{\text{ПЕР}}$ , тобто кількість енергії, що проходить через його силову частину за певний проміжок часу  $T$ , визначається як відношення сумарної кількості перетвореної енергії до тривалості цього інтервалу [3]:

$$P_{\text{ПЕР}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{ПЕР}}} E_{\text{ПЕР}i}}{T}; \quad (1)$$

де  $N_{\text{ПЕР}}$  – кількість повних циклів перетворення, що відбулися за час  $T$ .

Аналіз формули (1) показує, що для забезпечення необхідної вихідної потужності  $P_{\text{ПЕР}}$  потрібно або збільшувати кількість енергії  $E_{\text{ПЕР}}$ , що накопичується у силовому дроселі, або збільшувати кількість циклів перетворення  $N_{\text{ПЕР}}$ . Перший варіант призводить до збільшення ваги, розмірів та вартості перетворювача, оскільки для цього потрібно використовувати дросель із магнітопроводом більшого об'єму, а другий варіант призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії, оскільки у кожному циклі перетворення через неідеальність елементної бази відбуваються втрати певної частини енергії.

До недавнього часу, у відомих роботах вважалося, що при фіксованій кількості перетворень за одиницю часу  $N_{\text{ПЕР}}$ , потужність перетворювача  $P_{\text{ПЕР}}$  однозначно визначає масу, габарити і вартість силових накопичувальних елементів, оскільки від них залежить їх енергетична ємність і, відповідно, величина  $E_{\text{ПЕР}}$ . Однак дослідження, проведені автором даної роботи, показують що це не завжди так. У доповіді розглянуті особливості побудови силової частини перетворювачів, що дозволяють при фіксованих значеннях вихідної потужності перетворювача  $P_{\text{ВИХ}}$  та кількості циклів перетворення  $N_{\text{ПЕР}}$  зменшити кількість енергії  $E_{\text{ПЕР}}$ , що проходить через магнітне поле накопичувального дроселя. У цьому випадку загальна вихідна потужність перетворювача  $P_{\text{ВИХ}}$  є сумою перетворювальної потужності  $P_{\text{ПЕР}}$  та потужності  $P_{\text{ЕЛ}}$ , що проходить через перетворювач завдяки наявності безпосереднього електричного зв'язку між його входом та виходом:

$$P_{\text{ВИХ}} = P_{\text{ЕЛ}} + P_{\text{ПЕР}}. \quad (2)$$

Прикладом такої схеми є перетворювач підвищувального типу, який можна подати як класичну вольтододатну схему, побудовану, наприклад, на основі схеми із зворотним включенням діода (рис. 1). У цій схемі цикл перетворення електричної енергії складається із двох етапів. На першому етапі силовий ключ  $S1$  знаходиться у провідному стані, а  $S2$  – у непровідному, що забезпечує обмін енергією лише між джерелом первинного електроживлення та магнітопроводом силового дроселя  $L1$ . Навантаження на протязі цього інтервалу живиться енергією, накопиченою у вихідному конденсаторі  $C2$  на протязі попередніх циклів. На другому інтервалу перетворення дросель, що вже містить певну кількість енергії  $E_{\text{ПЕР}}$ , за допомогою ключа  $S2$  підключається до вихідного конденсатора  $C2$  (ключ  $S1$  при цьому знаходиться у непровідному стані). При використанні вольтододатної схеми, силовий дросель  $L1$  до вихідного конденсатора  $C2$  підключається послідовно із джерелом первинного живлення. Таким чином, на протязі



цього інтервалу у конденсатор  $C2$  та кола навантаження надходить енергія як від джерела первинного живлення (без будь-яких перетворень), так і від дроселя  $L1$ . Це означає, що вихідна потужність перетворювача складається із двох компонент: потужності  $P_{ЕЛ}$ , обумовленої наявністю електричного зв'язку між входом та виходом перетворювача, та потужністю  $P_{ПЕР}$ , що пройшла через магнітне поле силового дроселя  $L1$ .

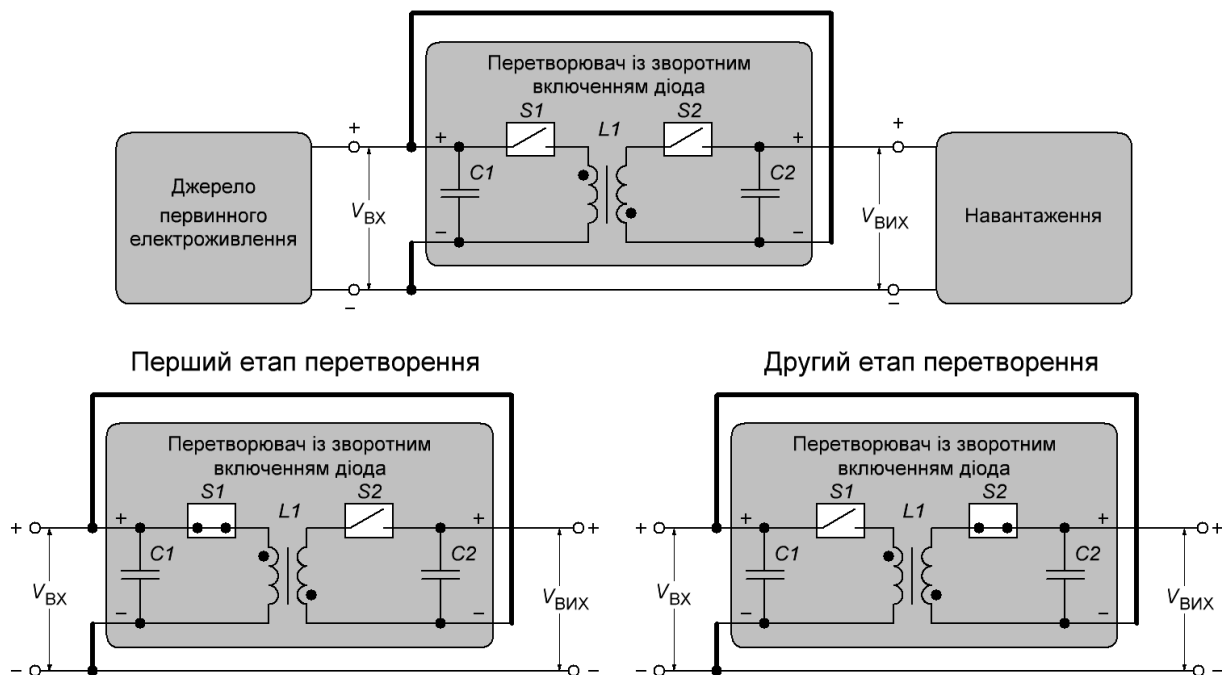


Рисунок 1 – Принцип перетворення лише частини електричної енергії

Очевидно, що потужність  $P_{ПЕР}$ , що проходить через магнітну систему дроселя, у цьому випадку, може бути менше ніж потужність перетворювача  $P_{ВИХ}$  (рис. 2). При цьому перетворювальна потужність  $P_{ПЕР}$  буде залежати від співвідношення вхідної  $V_{ВХ}$  та вихідної  $V_{ВИХ}$  напруг перетворювача – чим меншою буде це співвідношення, тим меншою буде величина перетворювальної потужності  $P_{ПЕР}$  (рис. 3):

$$P_{ПЕР} = P_{ВИХ} \left( 1 - \frac{V_{ВХ}}{V_{ВИХ}} \right) \text{ – для вольтододатної схеми} \quad (3)$$

$$P_{ПЕР} = P_{ВИХ} \left( 1 - \frac{V_{ВИХ}}{V_{ВХ}} \right) \text{ – для вольтовіднімальної схеми}$$

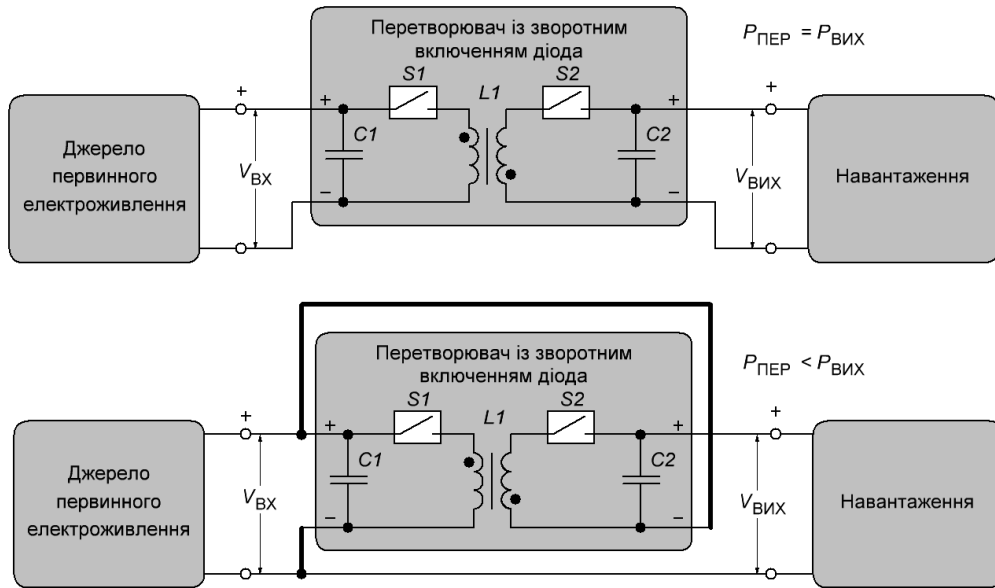


Рисунок 2 – Принцип зменшення кількості енергії, що проходить через магнітне поле дроселя

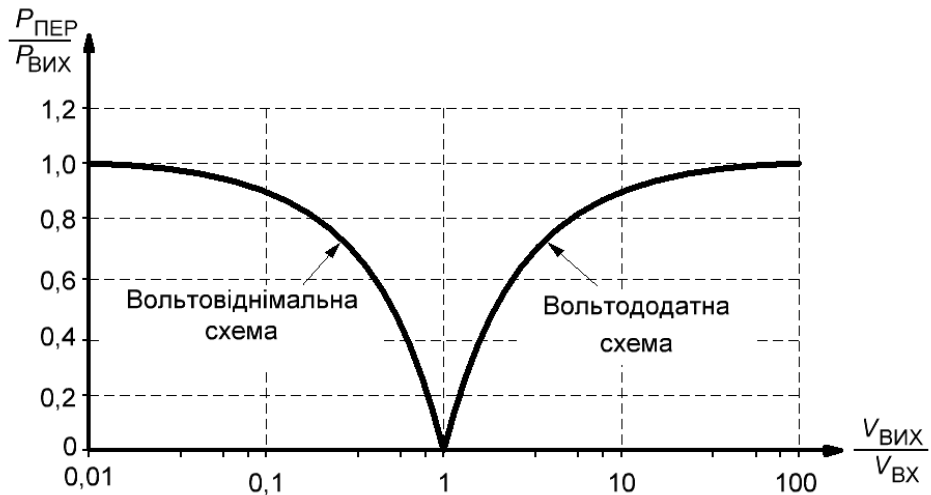


Рисунок 3 – Залежність відносної потужності перетворення  $P_{\text{ПЕР}}/P_{\text{ВИХ}}$  від співвідношення вхідної та вихідної напруг  $V_{\text{ВХ}}/V_{\text{ВИХ}}$

Якщо провести нескладні трансформації схеми, показаної на рис. 1, то можна отримати відому схему імпульсного перетворювача підвищувального типу, яка широко використовується на практиці та входить до переліку «базових» схем імпульсних перетворювачів (рис. 4).

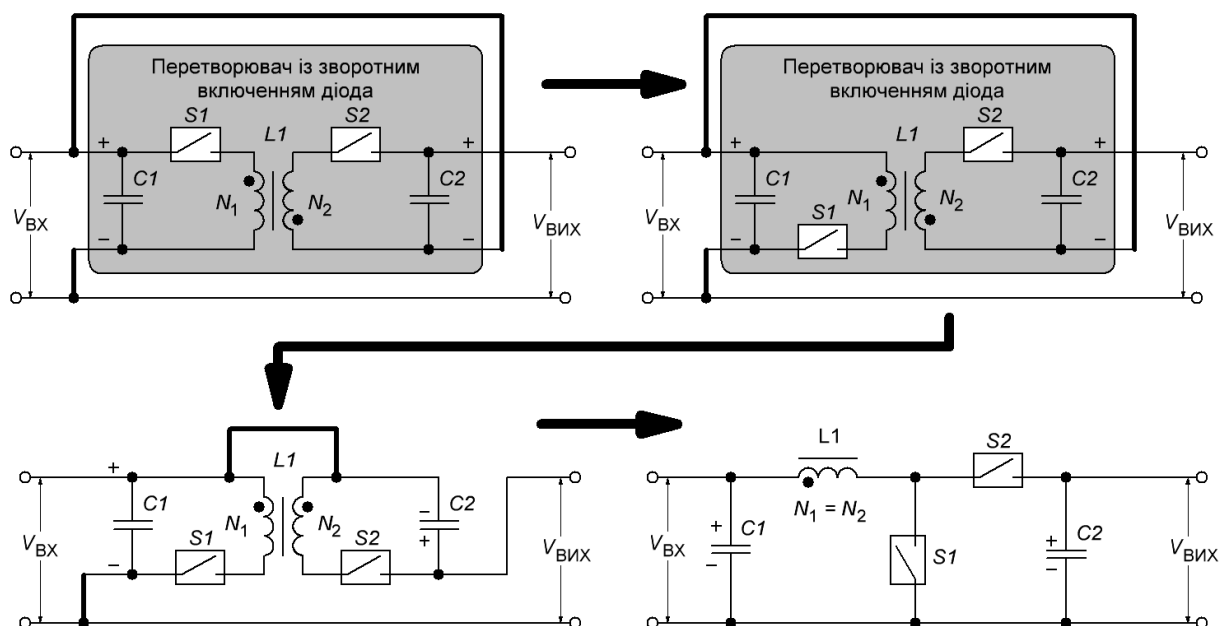


Рисунок 4 – Принцип утворення перетворювача підвищувального типу

**Висновки.** Незважаючи на масове використання підвищувальної та ідентичній їй (в енергетичному сенсі) понижувальній схем, у жодній із відомих робіт, присвячених імпульсному перетворенню електричної енергії на показано, що наявність електричного зв'язку між входом та виходом дозволяє зменшити кількість енергії, що проходить через магнітну систему накопичувального дроселя, і, відповідно, зменшити масу, габарити та вартість перетворювача. Зрозуміло, що отримані результати досліджень дозволяють глибше розуміти енергетичні процеси, що протікають у силовій частині імпульсних перетворювачів та створювати телекомунікаційне, радіотехнічне та комп'ютерне обладнання із кращими техніко-економічними показниками.

### Література

1. Zehndner M., Ulmann M. Power Topologies Handbook. Texas Instruments, 2016.
2. K.Kit Sum Switch Mode Power Conversion Basic Theory and Design. CRC Press, 2017.
3. Kadatskui A.F., Rusu A.P. Determination of the necessary inductor core dimensions for switching electrical energy converters. *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*, 2018. №1. С.125–135.

## ОЦІНКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛОБАЛЬНОЇ СУПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ STARLINK

***Анотація.** У роботі були проаналізовані останні специфікації та публікації щодо глобальної супутникової системи Starlink. Інформаційна ефективність є одним з найголовніших параметрів системи передавання інформації. Для оцінки інформаційної ефективності виконано моделювання Starlink. Характеристики системи оцінені за енергетичним бюджетом. Модель дозволяє оцінити залежність пропускної здатності та інформаційної ефективності від багатьох параметрів системи, таких як смуга частот, кількість точок сигнального сузір'я, кількість супутників, кількість абонентів та інші.*

Інформаційна ефективність системи визначає ступінь використання пропускної здатності [1].

$$\eta = R/C_k,$$

де  $R$  – інформаційна швидкість,  $C_k$  – пропускна здатність системи.

На сьогодні існують різні оцінки пропускної здатності та швидкості доступу до глобальної супутникової системи Starlink [2]. Наведемо офіційні специфікації Starlink щодо швидкості завантаження для різних планів обслуговування та результати деяких вимірів.

Офіційні специфікації Starlink щодо швидкості завантаження для різних планів обслуговування наведені у таблиці 1 [3,4].

Таблиця 1 - Швидкість завантаження для різних планів обслуговування Starlink

План обслуговування	Швидкість висхідного завантаження	Швидкість низхідного завантаження
Стандарт (Житловий)	25-100 Мбіт/с	5-10 Мбіт/с
Пріоритет (бізнес)	40-220 Мбіт/с	8-25 Мбіт/с
Мобільний (роумінг/фургон)	5-50 Мбіт/с	2-10 Мбіт/с
Мобільний пріоритет (морський/мобільність)	40-220 Мбіт/с	8-25 Мбіт/с

Середня швидкість завантаження для користувачів Starlink становить 66,59 Мбіт/с. Швидкість Starlink коливається від 25 до 100 Мбіт/с.

Постачальник супутникового Інтернету від SpaceX зможе підтримувати 485 000 одночасних користувачів на швидкості 100 Мбіт/с, що складає загальну пропускну здатність 48,5 Тбіт/с [5]. І така швидкість буде доступна лише наприкінці 2026 року, коли Starlink заповнить небо Землі до 12 000 супутників.

Сама Starlink повідомила, що «кожен супутник у системі SpaceX надає користувачам сукупну пропускну здатність від 17 до 23 Гбіт/с».

Якщо припустити 100% ефективність, то 20 Гбіт/с на супутник означає, що кожен супутник може обробляти 200 одночасних потоків зі швидкістю 100 Мбіт/с.

Також в деяких джерелах прогнозується загальна пропускна здатність мережі 88,5 Тбіт/с [6].

SpaceX обіцяє забезпечити швидкість широкопasmового зв'язку до 300 Мбіт/с будь-якому у світі, незалежно від того, де вони знаходяться [7].

Фактична середня швидкість широкопasmового зв'язку Starlink зростає до 115,22 Мбіт/с.

Starlink надає послуги понад 1 мільйону активних клієнтів у 54 країнах. Зараз навколо Землі обертається 4023 супутники Starlink на низькій навколосемній орбіті (LEO), які забезпечують доступ до Інтернету в багатьох регіонах [8]. Поточна швидкість, яку пропонує супутникове з'єднання Starlink, забезпечує швидкість завантаження до 220 Мбіт/с.

У той час як швидкість традиційного супутникового Інтернету досягає 100 Мбіт/с, швидкість завантаження в Інтернеті Starlink досягає 350 Мбіт/с. Starlink утричі швидший за традиційний Інтернет, оскільки його тисячі супутників LEO обертаються на набагато меншій висоті, що збільшує швидкість зв'язку.

SpaceX має намір у майбутньому збільшити максимальну швидкість до 10 Гбіт/с через свою супутникову інтернет-систему Starlink — це в десять разів більше, ніж попередня мета компанії — 1 Гбіт/с [9]. Ці швидкості вимагатимуть спеціальної лазерної технології, яка все ще перебуває в процесі розробки та розширення.

Ця технологія оснастить майбутні супутники LEO можливістю безпосередньо спілкуватися один з одним під час перебування на орбіті за допомогою лазера. Оскільки сигнали такого роду розповсюджуються експоненційно швидше у вакуумі космосу, ніж на Землі, швидкість завантаження 10 Гбіт/с може стати реальністю. До того часу супутники Starlink LEO зв'язуються з базовими станціями шлюзу, розташованими на Землі, щоб передавати дані туди, куди їм потрібно.

Зважаючи на досить різні показники, виникла необхідність в оцінці середньої та максимальної швидкості завантаження даних через глобальну супутникову систему Starlink, а також оцінці інформаційної ефективності системи шляхом моделювання.

За допомогою моделі глобальної супутникової системи Starlink [10] оцінимо її інформаційну ефективність.

Залежність пропускної здатності та інформаційної швидкості від кількості точок сигнального сузір'я представлена на рис.1.

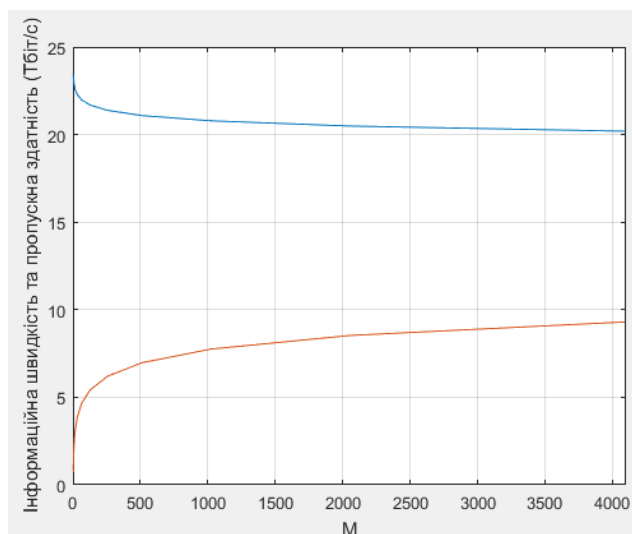


Рисунок 1 – Залежність пропускної здатності та інформаційної швидкості від кількості точок сигнального сузір'я

З рис.1 бачимо, що зі збільшенням кількості точок сигнального сузір'я пропускна здатність поступово зменшується, що пояснюється зменшенням відношення сигнал/шум. Водночас, інформаційна швидкість, навпаки, збільшується, що призводить до збільшення інформаційної ефективності системи.

Залежність інформаційної ефективності від смуги частот кількості точок сигнального сузір'я представлена на рис.2.

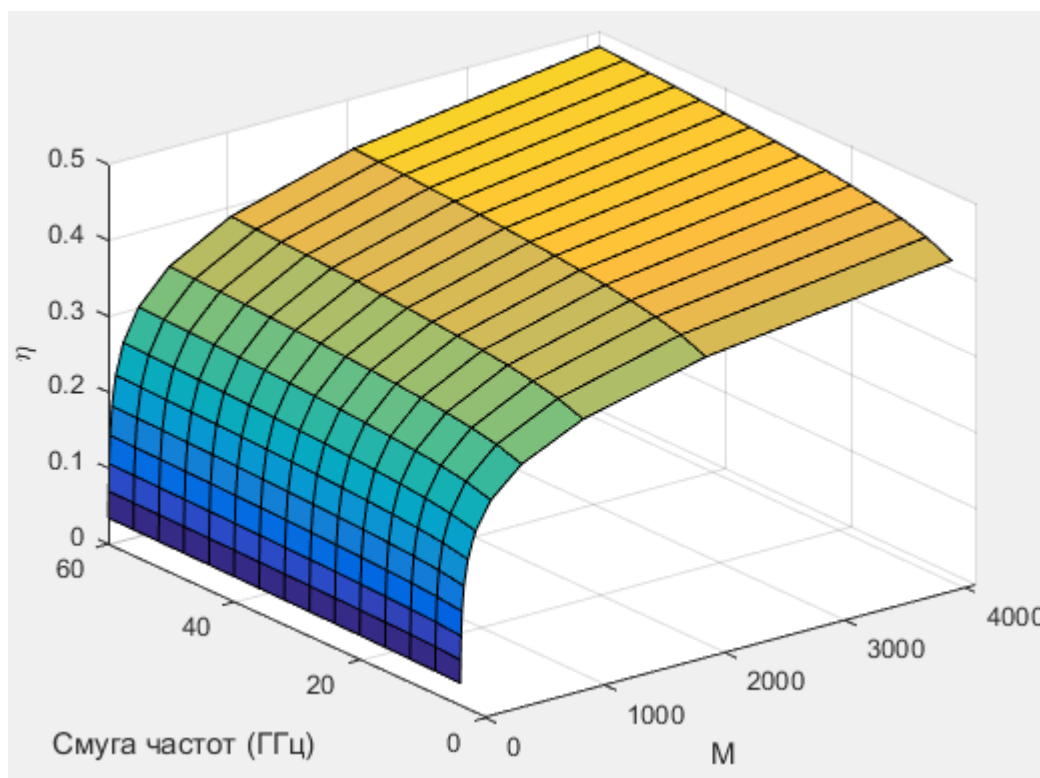


Рисунок 2 – Залежність інформаційної ефективності від смуги частот кількості точок сигнального сузір'я

З рис. 2 бачимо, що інформаційна ефективність є досить низькою та не перевищує 0,5 (50%). Це можна пояснити роботою глобальної супутникової системи Starlink на даний час в одній поляризації.

Підвищення інформаційної ефективності на високих частотах (55-65 ГГц) пояснюється зменшенням пропускної здатності за рахунок сплеску атмосферних втрат. Для зменшення впливу атмосферних втрат бажано використовувати діапазон частот до 53 ГГц, що відповідає частотному плану, запропонованому SpaceX. Для передачі по висхідній лінії зв'язку вони використовують частоти 14-52,4 ГГц, а для передачі по низхідній лінії зв'язку вони використовують частоти 10,7-42,5 ГГц.

Тобто, працюючи в режимі подвійної поляризації з модуляцією вище ніж 64-QAM і запланованими 12000 супутниками, SpaceX зможе забезпечити доступ до Інтернету в будь-якій точці світу з інформаційною ефективністю до 90%.

### Література:

1. Bernard Sklar, Digital Communications, Fundamentals and Applications, Prentice Hall PTR, Second Edition, 2001. ISBN: 0-13-084788-7.
2. World's most advanced broadband satellite internet. URL: <https://www.starlink.com/technology>.
3. Noah Clarke. Starlink Internet Speeds – Updated For 2023. URL: <https://www.starlinkhardware.com/starlink-internet-speeds/>.

4. Catherine McNally. SpaceX Starlink Satellite Internet Review 2023. URL: <https://www.reviews.org/internet-service/spacex-starlink-satellite-internet-review/>.
5. Mike Dano. Starlink's network faces significant limitations, analysts find. URL: <https://www.lightreading.com/4g3gwifi/starlinks-network-faces-significant-limitations-analysts-find/d/d-id/764159>.
6. Tradespace exploration of the next generation communication satellites. A.Aguilar, P.Butler, J.Collins, M.Guerster - AIAA Scitech 2019 Forum, 2019.
7. Anthony Spadafora. Starlink internet coverage, cost, speeds and the latest news — what you need to know. URL: <https://www.tomsguide.com/news/starlink-internet-coverage-speed-cost-satellites-ipo-and-latest-news>.
8. Tyler Cooper. Starlink Internet Speeds. URL: <https://broadbandnow.com/starlink>.
9. Michael Kan. SpaceX's Starlink Raises Download Speed Goal From 1Gbps to 10Gbps. URL: <https://www.pcmag.com/news/spacexs-starlink-raises-download-speed-goal-from-1gbps-to-10gbps>.
10. Denys Rozenvasser and Kateryna Shulakova Estimation of the Starlink Global Satellite System Capacity//Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT. Volume 11, Issue 1, pp. 55-59. – 2023 (DOI:10.25673/101912).

#### UDC 621.391

*Amal Mersni (Ph.D., Associate Professor)<sup>1,2</sup>, Ilyas Arroub (Bachelor, Student)<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Kharkiv National University of Radio Electronics, <sup>2</sup>International University of Sarajevo  
 amal.mersni@nure.ua or amersni@ius.edu.ba, ilias.arrub@nure.ua*

### **SIMULATION-BASED EVALUATION OF LOAD BALANCING IMPLEMENTATION IN ENTERPRISE NETWORKS USING EIGRP AND OSPF ROUTING PROTOCOLS**

***Abstract.** The study investigates the load-balancing capabilities of the Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP) and Open Shortest Path First (OSPF) routing protocols in enterprise networks. It adopts a simulation-based approach to examine the implementation of load balancing within these networks. The study explores the protocols' features, metrics, and performance through simulations, focusing on Quality of Service (QoS) factors, including latency throughput, jitter, and packet loss. The results indicate that EIGRP and OSPF demonstrate comparable performance in effectively managing load-balanced networks. However, EIGRP exhibits slight advantages in terms of latency and throughput.*

With the rapid development of technology, the expansion of communication networks (CNs), such as the Internet, has become increasingly important. In modern communication networks, dynamic routing protocols are preferred over static routing methods. As networks evolve and grow, it is essential to implement a dynamic routing design that can seamlessly adapt to these changes, eliminating the need for manual intervention by network administrators [1]. Routing protocols such as Interior Gateway Protocols (IGPs) and Exterior Gateway Protocols (EGPs) play a critical role in these networks by facilitating the efficient exchange of routing information. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP) and Open Shortest Path First (OSPF) are popular IGPs widely used in enterprise networks due to their efficiency and effectiveness.

EIGRP, a hybrid routing protocol, combines features of distance vector and link state routing protocols. It optimizes bandwidth usage and provides fast recovery from topology changes through the Diffusing Update Algorithm (DUAL). EIGRP supports load balancing and route summarization and is scalable to large networks through hierarchical routing and support for Variable Length Subnet Masking (VLSM) and Classless Inter-Domain Routing (CIDR). It

provides additional security and versatility through authentication, protocol independence, route tagging, and redistribution [2,3]. On the other hand, OSPF is an open standard link-state routing protocol that efficiently disseminates routing information throughout an interconnected network. Routers within an OSPF network construct a topological map using Link State Advertisements (LSAs). The subsequent application of the Dijkstra algorithm helps to determine the shortest path to each network router. Known for its stability and scalability, OSPF can handle large networks and quickly adapt to changes in network topology. It includes features such as route summarization, authentication, and multiple hierarchical levels that help optimize overall network performance. The routing protocol uses a cost metric correlated to the link's bandwidth to select the optimal route for traffic [2,3]. Load balancing is vital for optimizing network performance and resource use. It enables traffic distribution across multiple paths, improving workload distribution, preventing congestion, and improving network efficiency. EIGRP supports equal-cost load balancing, which allows traffic to be distributed across multiple equal-cost paths. On the other hand, OSPF also supports equal-cost load balancing. Both protocols can achieve load balancing, but EIGRP supports unequal-cost load balancing, which allows traffic to be distributed across paths with different costs.

Investigating, evaluating, and improving routing methods are essential tasks in communication networks. Numerous studies are dedicated to addressing routing challenges by enhancing load-balancing processes and optimizing routing strategies to achieve more effective methods and improved Quality of Service in CNs. These research efforts aim to optimize network traffic distribution, improve resource utilization, and enhance overall network performance. These studies often involve the development of mathematical models and methodologies for routing technologies, proposing tailored improvements for various network architectures [4-7]. In addition, several publications [8,9] have extensively studied routing protocols, including OSPF, RIP, and EIGRP. These studies performed a comparative analysis of the protocols. They evaluated their performance in networks with different topologies and data transfer rates using simulation tools such as Riverbed Modeler and GNS3.

Under increasingly complex network conditions, administrators must carefully design and select routing protocols to achieve optimal performance. Key factors determining network performance effectiveness are throughput, latency, jitter, and packet loss. The selection and implementation of routing protocols significantly impact network performance. Therefore, this work aims to implement and configure the EIGRP and OSPF routing protocols in an enterprise network. The study specifically focuses on investigating the load-balancing mechanisms employed by both protocols.

A simulated laboratory environment is designed to investigate the performance of the proposed network model when implementing load balancing using the EIGRP and OSPF routing protocols. The environment simulates an enterprise network using virtual routers, switches, and servers. GNS3, a widely used network software tool, is used for device emulation. Virtual machines running Windows and Ubuntu servers are hosted using VirtualBox to enable the testing of various applications. Cisco IOS images are used to accurately replicate the behavior and features of Cisco devices, providing a cost-effective means to study and experiment with Cisco networking technologies. The lab's network topology is shown in Figure 1 below.



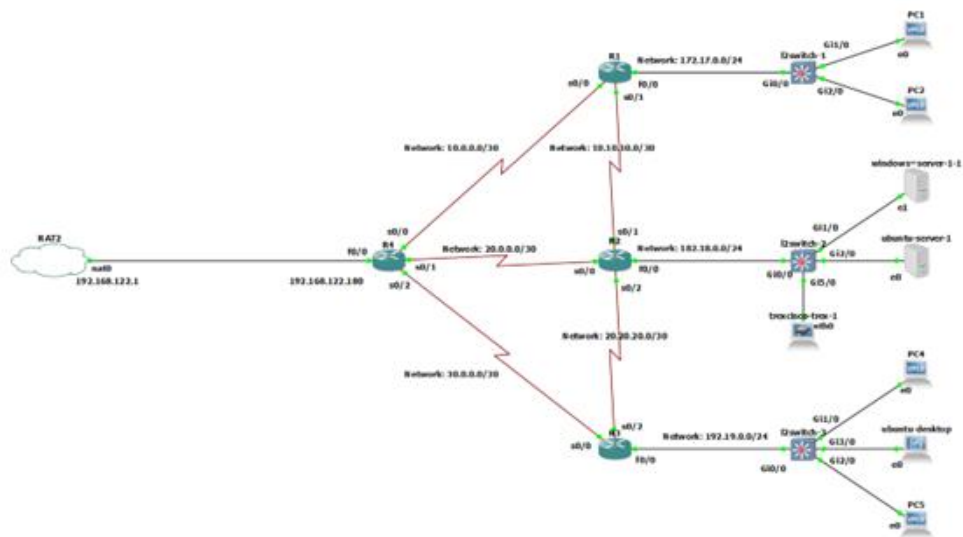


Figure 1 – The enterprise network topology

Two scenarios were implemented in the lab environment. The first scenario involved implementing the EIGRP routing protocol. Multiple routers were interconnected using different interfaces, with each router configured to use EIGRP. The second scenario implemented a single-area OSPF protocol. The routers were configured to participate in OSPF by specifying the process ID and enabling OSPF on the desired interfaces. Both routing protocols in this network topology use an equal-cost load balancing mechanism to increase scalability and flexibility. This approach ensures that traffic is distributed across multiple equal-cost links. The advantage of this setup is that if any path experiences problems or fails, traffic can be automatically rerouted through alternative paths that maintain the same bandwidth and delay.

The experimental study aimed to evaluate the QoS indicators, including latency, throughput, jitter, and packet loss, in pre-designed scenarios. Performance analysis was conducted using tools such as Wireshark, Cisco TRex, and Iperf, with ICMP and TCP packets generated and transmitted at various intervals.

Cisco TRex, an open-source tool developed by Cisco Systems, was employed to understand network traffic comprehensively. It dynamically generates high-volume, realistic network traffic, making it valuable for testing and validating network devices and applications [10]. With the ability to simulate numerous endpoints and support diverse network protocols, TRex's graphical interface, as illustrated in Figure 2 below, provides meaningful graphs and facilitates traffic management.

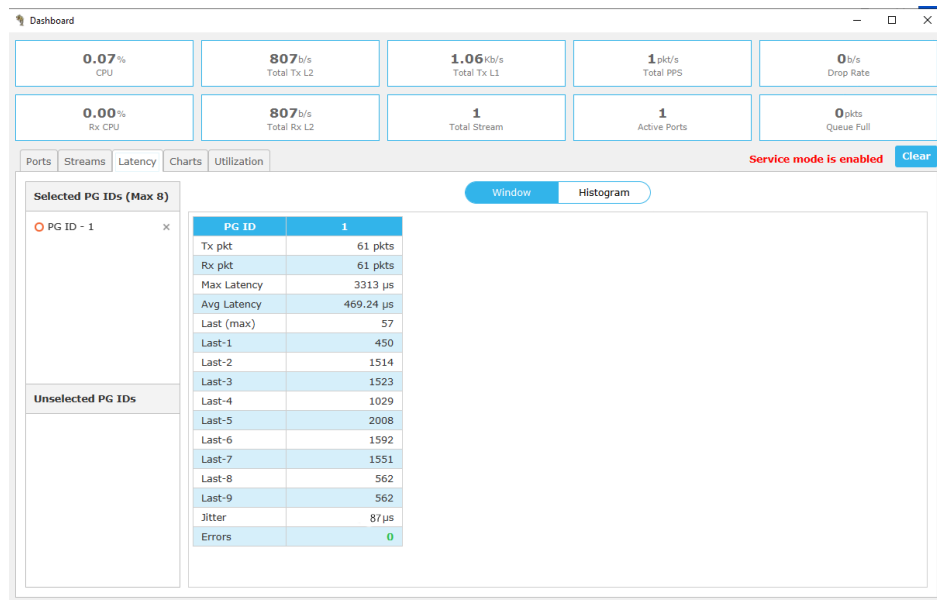


Figure 2 – Cisco TRex graphical interface

For bandwidth measurement, the open-source tool, Iperf, was utilized. Iperf is a speed test and network performance measurement tool that sends TCP and UDP traffic between hosts. Swiftly, Iperf establishes a client-server structure. In this case, the server, which is the Ubuntu server, listens for connections while both the client and the Ubuntu server generate traffic. This arrangement allows for the bandwidth calculation between the two entities. Packet loss is another crucial parameter that can be quantified using another tool, Wireshark. This process involves navigating the "Statistics" menu and selecting "Capture File Properties." Within the "Capture File Properties," relevant statistics related to the captured packets can be found. These include the total number of packets captured and displayed.

The numerical results indicated that EIGRP and OSPF performed nearly equally in load-balancing scenarios. EIGRP exhibited an average latency of 934 microseconds, while OSPF recorded an average latency of 1054 microseconds, indicating acceptable latency levels for both protocols in load-balanced networks.

Bandwidth measurements showed EIGRP achieving a throughput of 2.35 Mbps and OSPF achieving a slightly higher throughput of 2.4 Mbps, demonstrating effective utilization of network resources by both protocols. Further analysis revealed EIGRP achieving a throughput rate of 1.35 Mbits/sec, slightly higher than OSPF's rate of 1.1 Mbits/sec, indicating consistent data delivery rates.

Jitter, a measure of the variation in packet delay, was evaluated, with EIGRP showing a jitter value of 90 microseconds and OSPF showing a slightly higher value of 98 microseconds. Both protocols demonstrated the ability to handle load-balancing situations while maintaining relatively stable packet delay characteristics. Packet loss measurements showed EIGRP with a loss rate of 4.82% and OSPF with a slightly lower rate of 4%, demonstrating reasonable packet delivery reliability in load-balanced networks for both protocols.

Overall, the evaluation of these QoS metrics demonstrated the comparable performance of EIGRP and OSPF in equal load-balanced network scenarios. Both routing protocols effectively handled load balancing while maintaining acceptable latency, bandwidth utilization, throughput, and packet loss characteristics. These results contribute to a deeper understanding of the QoS performance of EIGRP and OSPF in load-balanced environments, helping network administrators and researchers make informed decisions about selecting routing protocols for specific network configurations.

In conclusion, this study has conducted a comprehensive investigation and comparative analysis of the EIGRP and OSPF routing protocols, contributing to a thorough understanding of their features, metrics, and load-balancing mechanisms. Simulations performed in enterprise

network scenarios have provided practical insights into the implementation and effectiveness of EIGRP and OSPF in load balancing. These simulations have enhanced our understanding of the protocols' capabilities and limitations in real-world network environments. In addition, a comparative evaluation of Quality of Service (QoS) performance was conducted, considering metrics such as latency, bandwidth, throughput, jitter, and packet loss. The analysis revealed that EIGRP and OSPF perform similarly when managing load-balanced networks. However, EIGRP exhibits slightly better latency and throughput performance than OSPF, indicating potential advantages in specific network contexts.

Based on the research findings, it is recommended that future studies address the potential enhancement of existing flow-based mathematical models of these routing protocols and the investigation of unequal-cost load balancing mechanisms of the EIGRP protocol.

### References:

1. S. U. Masruroh, A. Fiade, M. F. Iman, and Amelia, "Performance evaluation of routing protocol RIPv2, OSPF, EIGRP with BGP," 2017 International Conference on Innovative and Creative Information Technology (ICITech), Salatiga, Indonesia, 2017, pp. 1-7, Doi: 10.1109/INNOCIT.2017.8319134.
2. Kurose, J., & Ross, K. (2021). Computer networking: A top-down approach, Global Edition (8th ed.). Pearson.
3. Wallace, K. (n.d.). CCNP Routing and Switching ROUTE 300-101 Official Cert Guide. Pearson Education, Limited
4. Lemeshko, O., Lebedenko, T., Mersni, A. and Hailan, A.M. (2019) "Mathematical optimization model of congestion management, resource allocation and congestion avoidance on network routers," in 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), IEEE, pp. 1-5.
5. Mersni, A. (2016). "Исследование потоковой модели балансировки нагрузки в телекоммуникационной сети с неоднородной архитектурой. " Проблемы телекоммуникацій. Available at: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/3610>
6. Lemeshko, O., Yeremenko, O., Yevdokymenko, M., Sleiman, B., Hailan, A.M. and Mersni, A., 2019. "Computation Method of Disjoint Paths under Maximum Bandwidth Criterion," In 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), pp. 161-164.
7. Lemeshko, O., Lebedenko, T., Nevzorova, O., Snihurov, A., Mersni, A. and Al-Dulaimi, A., 2019. "Development of the Balanced Queue Management Scheme with Optimal Aggregation of Flows and Bandwidth Allocation, " In IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), pp. 1-4.
8. Warsame, M.A. and Sevin, A., 2019. "Comparison and analysis of routing protocols using riverbed modeler, " Sakarya University Journal of Science, 23(1), pp.16-22. Available at: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.447345>.
9. Athira, M., Abrahami, L. and Sangeetha, R.G., 2017. "Study on network performance of interior gateway protocols — RIP, EIGRP, and OSPF, " In 2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2), Chennai, India, pp. 344-348. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICNETS2.2017.8067958>.
10. Swann, M., Rose, J., Bendiab, G., Shiaeles, S. & Savage, N., 2021. Tools for Network Traffic Generation--A Quantitative Comparison. arXiv preprint arXiv:2109.02760. Available at: <https://arxiv.org/abs/2109.02760>

Mikhailo V. Rozhnovskiy, PhD, Assoc. Prof.  
State University of Intelligent Technologies and Telecommunications, Odesa, Ukraine  
mihail.exp@gmail.com

Irina Yu. Rozhnovskaya, PhD, Assoc. Prof.  
International Humanitarian University, Odesa, Ukraine; Sigma Software Group  
irina.rozhnovskay@gmail.com

## APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHOD IN MASSIVE MIMO ANTENNA TECHNOLOGIES

**Abstract.** Analysis of massive multiple input multiple output (MIMO) technology application in the fifth generation (5G) and the sixth generation (6G) wireless mobile communication systems as the key technology that could meet the modern requirements of wireless data traffic has been carried out. The application of the Reinforcement Learning of the intelligent agent when controlling massive MIMO antenna system radiation pattern is proposed.

The rapid development of modern telecommunications causes the advancement in communication technology generations from 2G network for voice communications to 3G network for data transmission; from 4G network based on wireless communications standard LTE (Long Term Evolution) [1] that radically boosted the data transfer speed and allowed users to watch online HD video streaming and play modern video games on their mobile devices to 5G solution merging multiple networks on a single platform and allowing today to make the Internet of Things (IoT) [2] a reality which connects personal mobile devices and smart home devices. Further growing demand on consuming more and more Internet data and incorporating wireless network into almost every aspect of daily life and business, providing improved quality of services leads to researchers have become interested in new potential technologies for upcoming 6G mobile network [2 – 4]. It is expected [2] that new network generation will provide higher data rates, spectral and energy efficiency, mobility and fully satellite integration due to adapting artificial intelligence (AI) capabilities into the network physical layer.

One of the main components of 5G and 6G telecommunication networks is radio network [1 – 4]. Obviously, quality of radio network functioning directly depends on used antenna technologies and antenna systems. Creation of antenna systems for 5 G and 6G networks rises the main problem is the full implementation of so-called "smart antenna" [5] which can meet the requirements of modern radio networks. Massive multiple input multiple output (MIMO) antenna as one of the important technologies in 5G radio networks is expected to be used further combining with other new technologies in 6G radio networks [6, 7]. The analysis of papers [1 – 8] allows to determine the main requirements for massive MIMO antenna systems on the path to 6G networks. First, massive MIMO antennas should provide maximum energy efficiency and broadband [5]. Second, the ability to form a multibeam radiation pattern [5, 7], then, the possibility of controlling individual beams of the radiation pattern in real time [1, 5, 7, 9] is required. Third, the possibility of selecting a separate beam of the radiation pattern for a specific mobile user [1, 7, 9] should be provided.

Integration of massive MIMO antenna systems with beamforming as the feasibility to adapt the radiation pattern of antenna and concentrate beams towards the specific mobile user, as shown in Figure1, should help to provide increasing of the spectrum and energy efficiency, the coverage area and data rates, enhancing the power of the beam in desired direction and reducing the power of the beam for other users to mitigate the interference [7, 10].

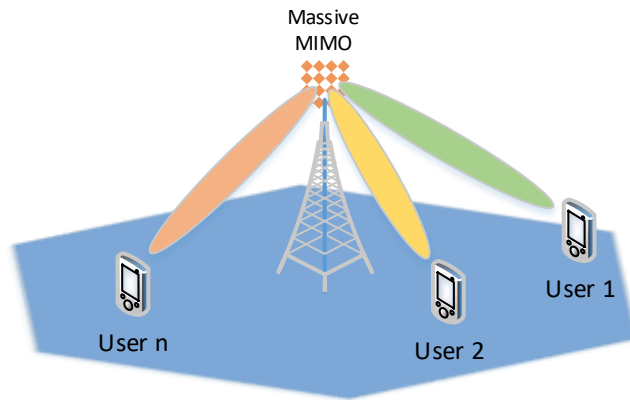


Figure 1 – Massive MIMO antenna system with beamforming

So, according to above mentioned studying massive MIMO systems one of the important challenges is the analysis of the possibility of real time control (with minimal time delays) of a separate beam of the radiation pattern for a specific mobile user.

Methods of controlling radiation pattern of an antenna array by changing the amplitude-phase characteristics at the feed points of the antenna array elements are well described in the literature [5, 9]. However, it is not described how an antenna system should understand and learn considering user movement patterns within the cell, as well as predict the direction of the specific user equipment movement to ensure proper radiation pattern control.

Thus, the purpose of this paper is to propose the approach that provides the antenna system with an understanding and prediction of user equipment movement patterns within the cell and based on the received knowledge potentially allows to control the antenna radiation pattern in real time.

To achieve the goal of this paper it is necessary to obtain the knowledge system that can understand and learn user movement patterns within the cell and predict direction of user movement. Artificial Intelligence (AI) and machine learning (ML) techniques are expected to solve learning and prediction challenges in 6G networks. These problems can be solved by AI methods [11, 12]. One of the AI methods that can be used to achieve this goal is an intelligent agent [11 – 14].

In AI, an intelligent agent is an entity which observes and operates upon an environment, it starts to act with basic knowledge and then can act automatically through learning [11, 14]. Applying ML algorithms to intelligent agent their behavior becomes rational, and their actions are always aimed at achieving some goal. In this context, agents act using rudiments of thinking like human thinking or intellectually developed beings [11 – 14]. As a result of learning, agents can generate an answer when a ready-made solution is absent, carry out a cognitive selection of objective conditions essential for action, carry out a generalized, indirect reflection of reality, search for and discover significantly new things, identify and achieve intermediate goals [11, 12].

The ML process can be implemented using the Reinforcement Learning (RL) of intelligent agents [11 – 14]. Consider the process of RL based on Q-learning technique. In this technique, an intelligent agent must learn environment in which it acts and find best possible actions to reach end point from initial one. After reaching the destination agent receives a certain reward in the form of accumulated points [11 – 14]. The final goal of an intelligent agent is to receive maximum rewards and learn optimum policy for the given Markov decision process that means to develop a behavior model of optimal action in specified environment.

The basis of Q-learning is so-called quality function (Q-function), which can be defined using [12 – 14]

$$Q(s, a) = (1 - \alpha)Q(s, a) + \alpha \left[ R(s, a) + \lambda \frac{\max_{a' \in A} Q(s', a') \right]. \quad (1)$$

In equation (1),

$s$  is an agent's current state from a set of states  $S(s_1, s_2, \dots, s_n)$ ,

$a$  is an agent's current action in state  $s$  from a set of actions  $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,

$\alpha$  is a learning rate that can be set between 0 to 1,

$s'$  is a next state from set of states  $S(s_1, s_2, \dots, s_n)$ ,

$a'$  is possible agent's action from  $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$  at the state  $s'$ ,

$\lambda$  is a discount factor that also can be set between 0 to 1 (recommended 0,8 [12, 14]),

$R(s, a)$  is reward for transition between states,

$\frac{\max_{a' \in A} Q(s', a')$  is a next action with maximum reward.

Consider one cell of the 6G mobile communication system operating in the conditions of urban development as the intelligent agent environment (Fig. 2). In the center of the cell the access point/base transceiver station (BTS) equipment with the massive MIMO antenna is located which forms a multibeam radiation pattern capable of changing the radiation direction angle of an individual beam of radiation pattern in the horizontal and vertical planes. Hence, an agent will operate in a non-homogeneous, limited circular BTS coverage area, an urban development environment with a fixed grid of streets and placement of buildings. Within the BTS coverage area subscribers move continuously along the street grid.

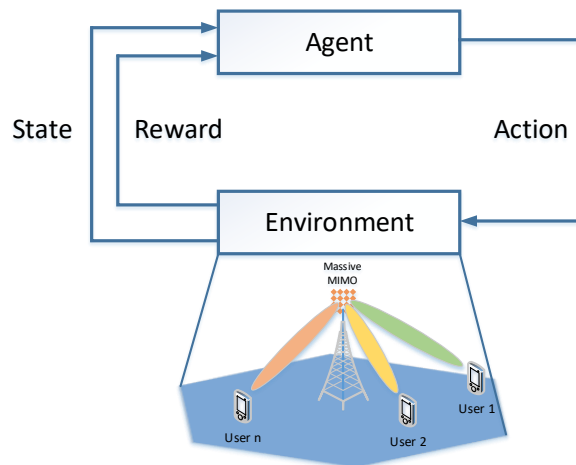


Figure 2 – Diagram of Q-learning

The challenge of the intelligence agent is to find out the subscriber movement patterns on the street grid and conduct Q-learning to develop a behavior model that will allow the massive MIMO antenna system to optimally control the directional radiation characteristics of individual beams of radiation pattern. The resulting model of the agent's behavior as a result of Q-learning will enable the antenna system to control radiation pattern in real time, which will lead to the optimal distribution of BTS energy resource among subscribers within the coverage area.

There are several subscriber movement patterns that can be identified during a certain time interval, for instance, a day in any cell of cellular network. Such patterns depend on the social nature of life in the area where the cell is implemented. Thereby, it is the pattern that the intelligence agent must understand, learn and develop a behavior model that allows the massive MIMO antenna system to operate optimally in this environment.

## Conclusions

Thus, in this paper, we have analyzed the use of massive MIMO technology with beamforming in wireless communication systems of the fifth (5G) and sixth (6G) generations. We also have presented the main requirements for massive MIMO antenna systems. Finally, we have proposed to use the AI method the intelligent agent for the beam controlling of the massive MIMO antenna system radiation pattern, namely considered the cell of the mobile communication system as the application environment of the intelligent agent. At the end, we have shown that applying AI method the intelligent agent it is possible to create a knowledge system that can understand and learn considering the subscriber movement pattern within the cell and can also predict the direction of user movement. The resulting knowledge system potentially enables the realization of smart antenna functions and control of a dedicated beam of the radiation pattern of massive MIMO antenna system in real time or with minimal time delay.

## References:

1. A. Mamta, R. Abhishek, S. Navrati, "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, № 3, pp. 1617 – 1655, 2016.
2. A. Dogra, Rakesh K Jha, S. Jain, "A Survey on beyond 5G network with the advent of 6G: Architecture and Emerging Technologies," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 67512 – 67547, 2020.
3. S.A. Abdel Hakeem, H.H. Hussein and H. Kim, "Vision and research directions of 6G technologies and applications," *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, vol. 34, pp. 2419 – 2442, 2022.
4. H. Yang, A. Alphones, Z. Xiong, D. Niyato, J. Zhao, K. Wu, "Artificial Intelligence-Enabled Intelligent 6G Networks," *IEEE Network*, vol. 34, Issue 6, pp. 272 – 280, 2020.
5. Constantine A., "Balanis Modern antenna handbook," USA.: Includes index. ISBN 978-0-470-03634-1 (cloth) 1. Antennas (Electronics) I. Title. TK7871.6.B354 2008. – 1700 p.
6. Jagadeesha R Bhat, Salman A. AlQahtani, "6G Ecosystem: Current Status and Future Perspective," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 43134 – 43167, 2021.
7. Robin Chataut, Robert Akl, "Massive MIMO Systems for 5G and beyond Networks — Overview, Recent Trends, Challenges, and Future Research Direction," *MDPI Sensors Academic Open Access Publishing*, vol. 20, Issue 10, pp. 2753, 2020.
8. Yiming Huo, Xingqin Lin, Boya Di, Hongliang Zhang, Francisco Javier Lorca Hernando, Ahmet Serdar Tan, Shahid Mumtaz, O`zlem Tug`fe Demir, Kun Chen-Hu "Technology Trends for Massive MIMO towards 6G," *Cornell University*, 2023, [Electronic resource] Mode of access: <https://arxiv.org/abs/2301.01703>
9. Qimei Cui, Yifei Yuan, "Experimental investigation on a vertical sectorization system with active antenna," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 9, pp. 89 – 97, 2016.
10. Jawad Tanveer, Amir Haider, Rashid Ali, Ajung Kim "Machine Learning for Physical Layer in 5G and beyond Wireless Networks: A Survey" *MDPI Electronics*, vol. 11, Issue 1, pp. 121, 2022.
11. Gerhard Weiss, "Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence," The MIT Press.: Includes index. ISBN 9780262731317, 2000. – 644 pp.
12. Tanveer, J., Haider, A., Ali, R., Kim, A., "Reinforcement Learning-Based Optimization for Drone Mobility in 5G and Beyond Ultra-Dense Networks," *CMC Computers, Materials & Continua*, vol. 68, no. 3, pp. 3807 – 3823, 2021.
13. Jawad Tanveer, Amir Haider, Rashid Ali, Ajung Kim, "An Overview of Reinforcement Learning Algorithms for Handover Management in 5G Ultra-Dense Small Cell Networks," *MDPI Applied Sciences*, vol. 12, Issue 1, pp. 426, 2022.
14. Trotsko V.V., "Methods of artificial intelligence: Educational and methodological manual," (in ukr.), *Kyiv: University of Economics and Law "KROC"*, pp. 86, 2020.

*Наукове видання*

**Міжнародна конференція «Передові технології  
в інформаційно-комунікаційній інженерії»  
(ATICE'2023)**

**Одеса, Україна, 17-20 липня 2023 р.**

**Матеріали конференції**

*Українською та англійською мовами*

Підписано до друку 27.08.2023 р.  
Формат 70x100/8. Папір офсетний. Гарнітура TimesNewRoman  
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 5,92. Наклад 50 прим.  
Зам. № 2708/1

Надруковано з готового оригінал-макета у друкарні «Апрель»  
ФОП Бондаренко М. О.  
65045, м. Одеса, вул. В. Арнаутська, 60  
Тел.: +38 (048) 235 79 76  
info@aprel.od.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців ДК № 4684 від 13.02.2014





# ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

## В ІНФОРМАЦІЙНО- КОМУНІКАЦІЙНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

Одеса, Україна, 18 липня 2023 р.

Міжнародний гуманітарний університет (МГУ)



ПРАЦІ МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ



# ADVANCED TECHNOLOGY

## IN INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERING

---

Odesa, Ukraine, July 18, 2023

International Humanitarian University



CONFERENCE PROCEEDINGS

---