

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Радіотехнічний факультет

***РТПСАС***

**2023**

***RTPSAS***

ХІІ Міжнародна науково-технічна конференція

**РАДІОТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ, СИГНАЛИ, АПАРАТИ ТА СИСТЕМИ**

Матеріали конференції

13 – 15 грудня 2023

Київ, Україна

International  
Scientific and Technical Conference

**RADIOENGINEERING PROBLEMS, SIGNALS, DEVICES AND SYSTEMS**

Conference Proceeding

December 13 – 15, 2023

Kyiv, Ukraine

Київ — 2023

УДК 621

ISSN 2311-4169

**ХІІ Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи». Київ, 13 – 15 грудня 2023 р.: матеріали конференції — Київ, 2023. — 80 с.**

До збірника матеріалів конференції включено тези представлених доповідей, в яких наведені результати досліджень в радіотехнічній та суміжних галузях, за тематикою напрямків роботи секцій: Радіотехнічні системи та мікрохвильова техніка, Інформаційні технології та телекомунікаційні системи, Електроніка, нанотехнології, біомедичні системи, радіовимірювання.

Збірник призначений для науковців та спеціалістів, працюючих в галузі теоретичних досліджень та практичного використання методів і засобів радіотехніки. Збірник буде корисним викладачам, аспірантам та студентам радіотехнічних, телекомунікаційних, радіоелектронних, радіофізичних факультетів вищих навчальних закладів.

### **Програмний комітет конференції**

**Антипенко Р. В.**, к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна — голова програмного комітету;

### **Члени програмного комітету**

**Бондаренко Ю.** PhD, Сіетл, США

**Бойко Р.** інж., Ханчжоу Huawei Telecommunication Communication Co. Ltd., Китай

**Достал Томаш** проф., Прага, Чеська республіка

**Дубровка Ф. Ф.** д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

**Дубровка Р. Ф.** PhD, Лондонський ун-т королеви Мері, Великобританія

**Жук С. Я.** д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

**Іхсан Джідджек** Asst. Prof. Dept. of Electrical-Electronics Engineering Istinye University, Стамбул, Туреччина

**Зіньковський Ю. Ф.** д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

**Калюжний О. Я.** д.ф.-м.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

**Карташов В. М.** д.т.н., проф., Харківський нац. ун-т., Україна

**Кичак В. М.** д.т.н., проф., Вінницький нац. техн. ун-т, Україна

**Мартинюк В. В.** д.т.н., проф., Хмельницький нац. ун-т, Україна

**Манойлов В. П.** д.т.н., проф., Житомирський нац. техн. ун-т, Україна

**Мозильний С. Б.** к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

**Найденко В. І.** д.ф.-м.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

**Нелін Є. А.** д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

**Прокопенко І. Г.** д.т.н., проф., Нац. авіаційний ун-т, Україна

**Прудіус І. Н.** д.т.н., проф., Нац. ун-т України «Львівська політехніка», Україна

**Раїда Збинек** проф., Брно, Чеська республіка

**Солошенко Н. В.** інж. з польових застосувань, Würth Elektronik GmbH&Co. KG, Німеччина

**Цвеліх І. С.** к.т.н., інженер, Infineon Technologies AG, Мюнхен, Німеччина

**Чміль В. М.** к.т.н., гол. правл., ПАТ "Науково-виробниче підприємство "Сатурн", Україна

**Шайко-Шайковський О. Г.** проф., ЧНУ ім. Юрія Федьковича, Україна

**Яненко О. П.** д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

### **Організаційний комітет конференції**

**Мартинюк С. Є.** — голова організаційного комітету.

### **Члени організаційного комітету:**

Головня В. М., Захарченко О.С., Зінгер Я. Л., Лащевська Н. О., Сушко І. О.

### **Розроблення та супроводження сайту конференції: Захарченко О. С.**

**Адреса оргкомітету:** Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2100, радіотехнічний факультет, корп. 17, кім. 317, пр-т Берестейський, 37, м. Київ, 03056, Україна. **Тел.** (+38097) 429-24-22. **e-mail:** rtpsas.rtf@gmail.com  
**Сайт:** <https://rtpsas.rtf.kpi.ua>

Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції та вченої ради радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 12/2023 від 26.12.2023 р.)

UDK 621

ISSN 2311-4169

**XII-th International scientific and technical conference «Radioengineering Problems, Signals, Devices and Systems». Kyiv, December, 13 – 15, 2023: conference proceedings — Kyiv: 2023. — 80 p.**

Collection of the conference materials include theses of reports in which the results of research in: Radio Engineering Systems and Microwave Technique; IT and Telecommunication Systems; Electronics, Nanotechnologies, Biomedical Electronic Systems, Radio Measurements.

Collection of is designed for a wide range of scientists and specialists, working in the field of theoretical research and practical application of methods and means of radioengineering. The collection will be useful to teachers, graduate students and students of radioengineering, telecommunication, electronic, radio-physical faculties of higher educational institutions.

**Conference Program Committee:**

*Antypenko R. V.*, Cand. Of Sci (Techn.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine — Chairman of Program Committee

**Program Committee Members:**

*Bondarenko Y.* PhD, Seattle, USA  
*Boyko R.* Engineer B, Huawei Technologies/ Hangzhou Huawei Telecommunication Communication Co. Ltd., Hangzhou, China  
*Dubrovka F. F.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
*Dubrovka R. F.* PhD, Queen Mary University of London, London, Great Britain  
*Zbynek Raida* Professor, Brno, Czech Republic  
*Zinkovsky Y. F.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
*Zhuk S. Y.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
*Ihsan Cicek* PhD, Asst. Prof. Dept. of Electrical-Electronics Engineering Istinye University, Istanbul, Turkey  
*Kalyuzhnyi O. Ya.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
*Kartashov V. M.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Kharkiv National Univ. of Radio Electronics, Ukraine  
*Kryzhanivsky V. G.* Doc. Of Sci (Physics-Math.), prof., Donetsk National University, Ukraine  
*Kychak V. M.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Vinnytsia National Techn. Univ., Ukraine  
*Manoylov V. P.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Zhytomyr National Univ. of Technology, Ukraine  
*Martyniuk V. V.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Khmelnytskyi National Univ., Ukraine  
*Mogylnyi S. B.* Cand. Of Sci (Techn.), Assoc. prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
*Naidenko V. I.* Doc. Of Sci (Physics-Math.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
*Nelin Ye. A.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine  
*Prokopenko I. H.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Nat. Aviation Univ., Ukraine  
*Prudius I. N.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Nat. Univ. of Ukraine «Lviv Polytechnic», Ukraine  
*Chmil V. M.* Cand. Of Sci (Techn.), NVP «Saturn», Ukraine  
*Soloshenko N. V.* Field Application Engineer, Würth Elektronik GmbH&Co. KG, Germany  
*Shaiko-Shaikovskyi O. H.* prof., Yurii Fedkovych Cher. Nat. Univ., Ukraine  
*Tomash Dostal* Professor, Prague, Czech Republic  
*Tsvelyh I. S.* PhD, Infineon Technologies AG, Munich, Germany  
*Yanenko O. P.* Doc. Of Sci (Techn.), prof., Igor Sikorsky KPI, Ukraine

**Organize Committee conference:**

*Martyniuk S.* — Chairman of the Organizing Committee;

**Organize Committee Members:**

Holovnia V., Lashchevska N., Sushko I., Zakharchenko O., Zinger Y.

**Produce and technical support of the conference site: Zakharchenko O.**

**Organize Committee address:** 2100, radioengineering department. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Beresteyskyi Ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

**Tel.** (+38097) 429-24-22. **E-mail:** [rtpsas.rtf@gmail.com](mailto:rtpsas.rtf@gmail.com) **Site:** <https://rtpsas.rtf.kpi.ua>

It is recommended to seal by the decision of the programme committee and Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute Radioengineering Department Scientific Council (Record № 12/2023 of 26.12.2023).



---

## ЗМІСТ

### **СЕКЦІЯ 1. РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ТА МІКРОХВИЛЬОВА ТЕХНІКА**

Zaporozhets D. A., Vyshnevyi S. V. Filtration of image sequences distorted by noise using two-stage processing technique	8
Гончарук К. Г., Неуймін О. С. Висотомір бпла на основі радіолокатора неперервного випромінювання з частотною модуляцією	11
Задорожний Г. С., Василенко Д. О. Технології побудови одиначної ячейки для розумної реконфігурованої поверхні 6G покоління зв'язку	14
Іванченко Ю. В., Чмельов В. О. Удосконалення алгоритму цифрового оброблення сигналів РЛС для забезпечення захисту від активних завад	17
Коваль М. А., Мирончук О. Ю. Система подачі гарячого повітря та вентиляції	20
Кот М. Г., Соколов К. А., Жук С. Я. Методика розрахунку розміру зображення БПЛА в пікселях в залежності від відстані до нього	24
Маленчик Т. В., Бендак В. Р., Олійник М. В., Деружко Б. М., Жук С. Я. Аналіз алгоритму виявлення сигналу в FMCW радарі	27
Манчак К. В., Чмельов В. О. Методи ідентифікації сигналу РЛС	30
Парфило І. О., Богомолів М. Ф. Антени для вимірювання концентрації глюкози в крові	33
Прокопов Р. О., Мирончук О. Ю. Передавач телеметричної інформації з систем літального апарату	36
Сидоров Д. В., Навроцький Д. О. Реалізація методу системи моніторингу електромережі в приміщенні	39
Шпилька М. В., Мирончук О. Ю. Моделювання OFDM сигналів	42

### **СЕКЦІЯ 2. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ**

Саратов Є. М., Деружко Б. М. Дубровка Ф. Ф. Ширококутовий гофрований рупор з постійною вісесиметричною шириною діаграми спрямованості та низьким рівнем бічного випромінювання для діапазону робочих частот 8 – 12 ГГц	46
--	----

---

### **СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОНІКА, НАНОТЕХНОЛОГІЇ, БІОМЕДИЧНІ СИСТЕМИ, РАДІОВИМІРЮВАННЯ**

Burkovskiy Y., Zinkovsky Y. Gallium nitride semiconductors: transforming the landscape of power converter performance	50
Nikitchuk A. V. Application of numerical optimization methods in software to enhance the reliability of electronic devices	53
Богачук В. В., Тарасова Л. Д. Використання мікроконтролерів для відновлення сенсорного зворотного зв'язку при протезуванні кисті	56
Головня Є. С., Головня В. М., Зіньковський Ю. Ф. Аналіз методів визначення форми частинок оптичними методами	59
Лащевська Н. О., Сосновий В. О. Розробка структури нейромережі для протидії несанкціонованим атакам	62
Лемеха В. О., Мовчанюк А. В., Мартиненко Н. В., Новосад А. А. Визначення потенційних можливостей вимірювання відстані до рухомих об'єктів ультразвуковими методами	66
Масюк І. В., Богомолів М. Ф. Використання алгоритмів штучного інтелекту в сучасних медичних системах	69
Пономарьов І. В., Антипенко Р. В. Проблематика вимірювань концентрації діоксиду вуглецю у повітрі, що видихається пацієнтом	73
Стешенко В. Д., Титенко О. Т. Новосад А. А., Деружко Б. М. Електромеханічні виконуючі пристрої у стабілізаційно-поворотних оптичних системах	76
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК АВТОРІВ</b>	79

**Секція 1. Радіотехнічні системи та мікрохвильова  
техніка.**

*Мікрохвильова технологія, НВЧ та ТГц електроніка,  
антени, системи радіорозвідки, системи радіоелектрон-  
ної боротьби, космічні радіосистеми.*

**Керівник секції:** Сергій Мартинюк

**Секретар секції:** Оксана Захарченко

## FILTRATION OF IMAGE SEQUENCES DISTORTED BY NOISE USING TWO-STAGE PROCESSING TECHNIQUE

Zaporozhets D. A. Master's student; Vyshnevyi S. V. Cand. Sc.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Image sequences (video sequences) or single images are used in various practical tasks such as remote sensing of the earth's surface, detection and tracking of the object of interest in video surveillance systems, in medical diagnostic devices etc. [1]. Observations that are available for processing in the appropriate vision systems are characterized by corruption of noise that can complicate or even make impossible the effective application of automatic data processing. One of the reasons of interferences or noise in images is due to internal thermal noise of the registration equipment. Noise in the images may also occur because of negative impact of interference in the communication channel during data transmission over the air. Thus, one of the key stages of processing data in the form of images or video sequences may involve filtering.

In general, a single image can be schematically represented as a two-dimensional array (rectangular matrix) where each element corresponds to an intensity value (Fig. 1a).

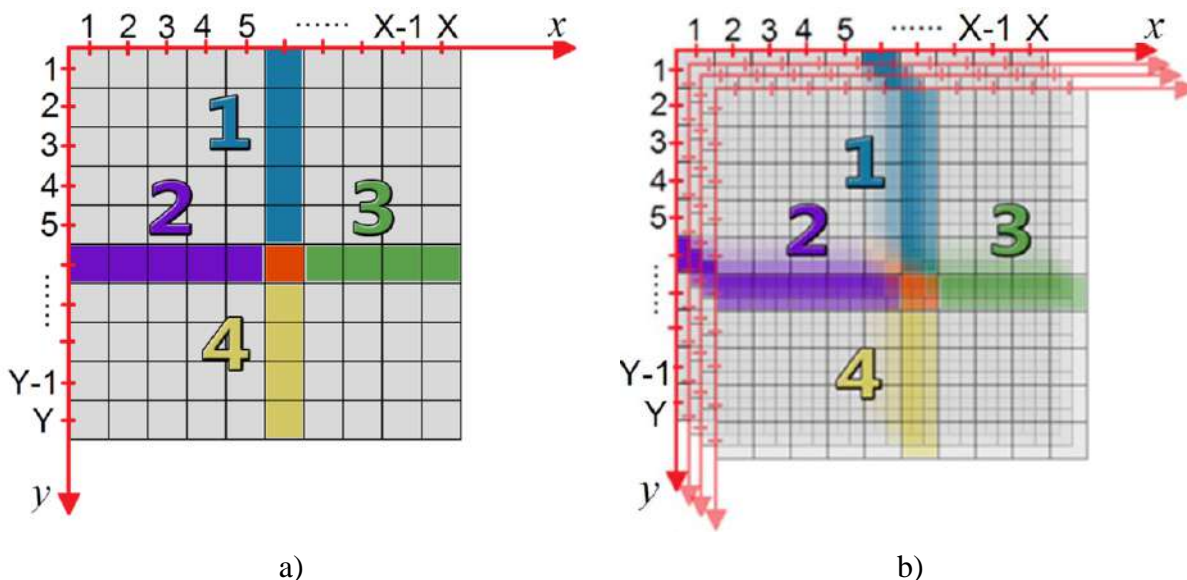


Figure 1. Schematic representation of a single image (a) and a sequence of images (video sequence) (b)

Among the various interference models additive noise is widely used [1]:

$$\mathbf{G} = \mathbf{S} + \mathbf{N},$$

where  $\mathbf{S}$  is an array that contains pixels of the "ideal" (noise-free) image;  $\mathbf{N}$  is an array that contains values of additive noise;  $\mathbf{G}$  — observations gained in the registration system which are distorted by noise and available for processing.



In fig. 1b it's schematically shown a video sequence which can be considered as a sequence of static images the formation of which occurs with a frequency that defined in the appropriate system, for example, in a television system or in a video surveillance system etc.

For the purpose of image filtering different approaches may be applied such as linear spatial filtering, locally adaptive filtering, Wiener filtering, two-dimensional Kalman filter etc. The Wiener filter is an optimal filter that involves processing in the frequency domain but its implementation meets difficulties because of the necessity to use an energy spectrum of an "ideal" undistorted image but such spectrum often impossible to determine precisely. The two-dimensional Kalman filter is also optimal according to the criterion of the minimum mean square of the estimation error but its implementation also meets difficulties because of operating with large matrices which complicates its application in practice. In [2] the idea of a two-stage technique of image processing is used to solve the problem of joint filtering and segmentation of heterogeneous images. Method obtained in [2] develops the idea used for solving the problem of filtering homogeneous images proposed in [3]. In [4] a two-stage method of image filtering in a causal implementation was used to suppress uncorrelated interference in the image. The essence of the two-stage technique is to assume the conditional independence of pixels. In fig. 1 such conditionally independent pixels relative to the current pixel are schematically shown as sets 1, 2, 3 and 4, which form vectors denoted  $\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2, \mathbf{S}_3, \mathbf{S}_4$ :

$$f(\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2, \mathbf{S}_3, \mathbf{S}_4 | s(x, y)) = f(\mathbf{S}_1 | s(x, y)) f(\mathbf{S}_2 | s(x, y)) f(\mathbf{S}_3 | s(x, y)) f(\mathbf{S}_4 | s(x, y))$$

The use of this property allows the process of filtering a single image to be organized as follows: first, a one-dimensional filtering algorithm is performed to get estimates; in the second stage, the calculated estimates are used to determine the final estimate for the current pixel value. The mechanism of combining results at the second stage can be described in terms of probability density:

$$f(s(x, y) | g(x, y), \mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2, \mathbf{G}_3, \mathbf{G}_4) = C \times f(s(x, y) | g(x, y), \mathbf{G}_1) \times \\ \times f(s(x, y) | \mathbf{G}_2) \times f(s(x, y) | \mathbf{G}_3) \times f(s(x, y) | \mathbf{G}_4) / f^3(s(x, y)),$$

where  $C$  — normalizing factor;  $s(x, y)$  — the current pixel of the "ideal" noise-free image;  $g(x, y)$  — the current pixel of the noisy image gained in the image registration system;  $\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2, \mathbf{G}_3, \mathbf{G}_4$  — vectors that include the observations according to fig. 1a. When solving the problem of two-stage filtering of a video sequence (sequence of images), in contrast to a single image, for low-dynamic scenes the corresponding values of pixels that are located in the same coordinates but at previous moments of time can be taken into account (fig. 1b). Then the mechanism of combining the results at the second stage will be described as follows:

$$f(s(x, y) | g(x, y), \mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2, \mathbf{G}_3, \mathbf{G}_4, \mathbf{G}_5) = C \times f(s(x, y) | g(x, y), \mathbf{G}_1) \times \\ \times f(s(x, y) | \mathbf{G}_2) \times f(s(x, y) | \mathbf{G}_3) \times f(s(x, y) | \mathbf{G}_4) \times f(s(x, y) | \mathbf{G}_5) / f^4(s(x, y)),$$

where  $\mathbf{G}_5$  is a vector that contains pixels that are placed in the same coordinates as the current pixel with coordinates  $(x, y)$ , but at earlier time points (in previous images of the video sequence).

The algorithm that is used at the first stage to suppress additive noise can be specified according to the features of the image and the interference model. The second stage requires the correspondence of the image pixels which are placed in the denoted vectors to the property of conditional independence.

The two-step approach applied to the processing of image sequences can be used in order to reduce the computational complexity of the processing procedures and at the same time takes into account the two-dimensional (in the case of a single image) or multi-dimensional (in the case of a video sequence) nature of the data to be filtered in the corresponding radio electronic system of acquisition, processing and analysis of image sequences.

### References

1. Gonzalez R.C. Digital Image Processing / R.C. Gozalez, R.E. Woods. — Pearson — 2018 — 1168 p.
2. Vishnevyi S.V. Two-stage joint non-causal filtering and segmentation on nonuniform images / S.V. Vishnevyi, S. Ya. Zhuk // Radioelectronics and Communication Systems: Allerton Press inc. — 2011. — Vol.54. — № 10 — P. 554–565.
3. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij v informacionnyh sistemah / I.S. Gruzman, V.S. Kirichuk, Kosyh V.P. i dr. — N: NGTU, 2002. — 352p.
4. Liashuk A.N. Algoritm dvuhetapnoj filtracii mnogokanalnyh izobrazhenij s vnutrikadrovoy kauzalnoj obrabotkoj pri nalichii nekorrelirovannoj pomehi./ A.N. Liashuk, S.V. Vishnevyi, S.Ya. Zhuk // Visnik NTUU «KPI» Seriya – Radiotekhnika. Radioaparato-buduvannya. — 2015. — v. 63. — S. 46–54.

### Анотація

Розглянуто двоетапний підхід обробки зображень та його розширення для вирішення задачі фільтрації відеопослідовностей (послідовності зображень), які спотворені дією адитивної завади. Представлений підхід дозволяє використати на першому етапі одновимірні алгоритми фільтрації з подальшим обчисленням на другому етапі остаточних оцінок яскравості пікселів.

Ключові слова: фільтрація, відеопослідовність, двоетапний підхід, умовна незалежність, піксель, адитивна завада.

### Abstract

A two-stage image processing approach and its extension to solve the problem of filtering video sequences (image sequences) distorted by additive noise are considered. The presented approach allows using one-dimensional filtering algorithms at the first stage followed by the calculation of the final estimates of pixel brightness at the second stage.

Keywords: filtering, video sequence, two-stage approach, conditional independence, pixel, additive noise.

## **ВИСОТОМІР БПЛА НА ОСНОВІ РАДІОЛОКАТОРА НЕПЕРЕРВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ**

*Гончарук К. Г. магістрант; Неуймін О. С. к.т.н., асистент  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

Радіолокатор неперервного випромінювання з частотною модуляцією (НВЧМ) — це тип радарів неперервної дії, в яких використовується частотна модуляція. Такі Радіолокатори застосовується в ряді цивільних і військових сферах, в яких вимірювання дальності з дуже високою точністю мають вагомим значення. Кількома прикладами таких систем є системи запобігання зіткненню транспортних засобів [1], радіовисотоміри [2] та системи для вимірювання невеликих змін руху, викликаних вібраціями різних компонентів машин і механізмів. Також даний тип радарів може використовуватися для пошуку мін, зброї та інше.

Сучасний розвиток радіоелектроніки дозволив створити мініатюрні радіолокатори НВЧМ. Завдяки високій точності та невеликим розмірам, ці радари можуть бути ефективно вбудовані в БПЛА малих розмірів, що дозволяє їм отримувати додаткову інформацію для навігації у просторі.

В цій роботі представляються результати моделювання висотоміру БПЛА на основі радіолокатора НВЧМ.

Серед доступних, добре задокументованих, дешевих, мініатюрних НВЧМ радіолокаторів, які можна використати для мініатюрних БПЛА на ринку існує модель Id2410b, що зображено на рисунку 1.

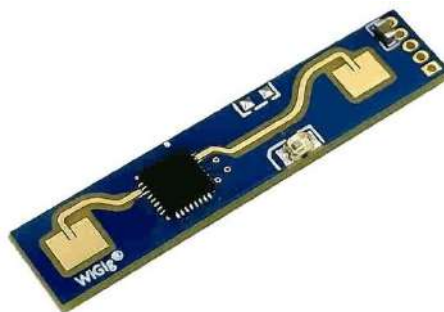


Рисунок 1. НВЧМ радіолокатор Id2410b

Даний радіолокатор має наступні характеристики[3]:

- робоча частота 24.25 ГГц;
- пропускна здатність 250 МГц;
- роздільна здатність 0.75 м;
- максимальна дистанція виявлення цілі 6 м;
- розміри 7 x 35 мм;

- вага 9 грам;
- ціна 195 грн.

Для перевірки доцільності використання даного радіолокатора в якості висотоміра в програмному забезпеченні розроблено програму для обробки сигналу НВЧМ радара. Код програми використовується для симуляції і обробки сигналу радара для отримання інформації про висоту та радіальну швидкість БПЛА. Було змодельовано сценарій, коли БПЛА перебуває на висоті 3,8 метри над землею. Після проведення моделювання отримано спектр сигналу (рис.2), доплерівський спектр (рис.3).

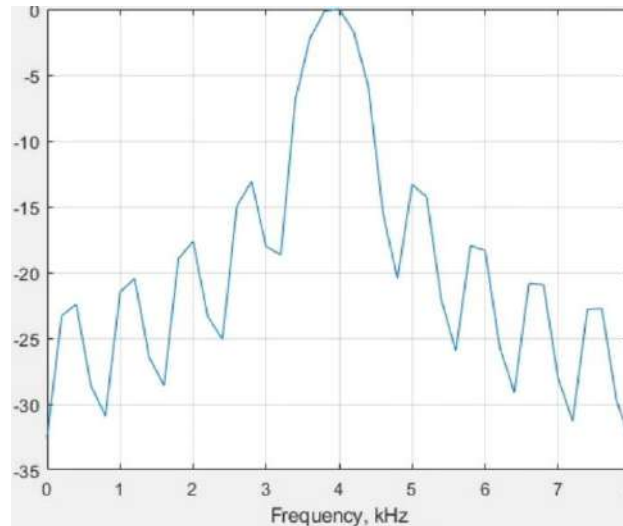


Рисунок 2 – Спектр сигналу

З рисунку 2 можна визначити значення частоти 4 кГц, що відповідає максимальному значенню амплітуди. Знаючи цю частоту, відстань до цілі знаходиться по формулі (1).

$$R = fr \frac{1*c*T}{2*b} = \frac{4000*3*10^8*1.5*10^{-3}}{2*250*10^6} = 3,6(\text{м}), \quad (1)$$

де R – відстань до цілі, fr1 – максимальна частота, c – швидкість світла, b – пропускна здатність

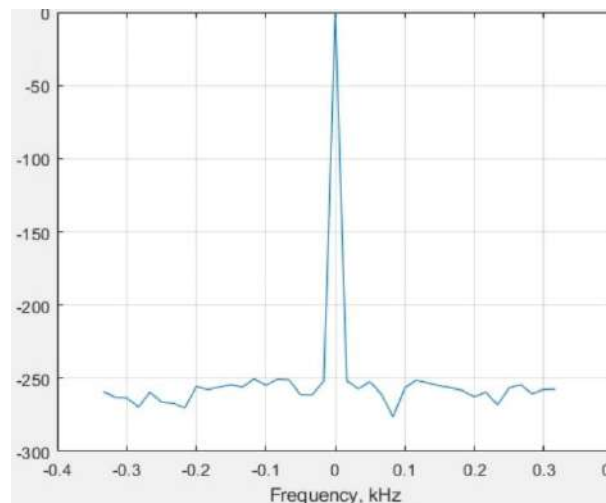


Рисунок 3 – Доплерівський спектр

На рисунку 3 можна визначити різницю частот 0 Гц, що відповідає максимальному значенню амплітуди спектру. Знаючи цю частоту, можна визначити радіальну швидкість БПЛА за формулою (2).

$$V = fd1 \frac{c}{2*f0} = 0 * \frac{3*10^8}{2*24.25*10^9} = 0 \text{ (м/с)}, \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість цілі,  $fd1$  – максимальна частота,  $f0$  – робоча частота радару.

Отже, за результатами моделювання БПЛА перебуває на висоті 3.6 метри над землею. Похибка склала 10 см, що менше роздільної здатності радару. Роздільна здатність в 75 см та максимальну відстань виявлення в 6 метрів роблять його придатним для виміру висоти до 6 метрів. Такі дані свідчать зокрема про придатність даного НВЧМ радару в різних сценаріях використання БПЛА, включаючи зліт, посадку та операції уникнення перешкод у польоті.

### **Перелік посилань**

1. V. Winkler, “Range Doppler detection for automotive FMCW Radars,” in European Radar Conference (EuRAD), Oct. 2007, pp. 166–169.
2. M. Schuetz, M. Oesterlein, C. Birkenhauer, and M. Vossiek, “A Custom Lightweight UAV for Radar Remote Sensing: Concept Design, Properties and Possible Applications,” in IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), Mar. 2017, pp. 107–110.
3. HLK-LD2410B User Manual V.1.03, 2022.

### **Анотація**

Це дослідження присвячене застосуванню радіолокаційної технології частотно-модульованого неперервного випромінювання для вимірювання висоти в БПЛА. Дослідження спрямоване на оцінку здійсненості та ефективності використання радару НВЧМ для вимірювання висоти на основі БПЛА, вивчення його потенціалу для підвищення точності та надійності даних висотоміру. Результати цього дослідження роблять внесок у галузь виробництва БПЛА, що активно розвивається у військовий час.

Ключові слова: БПЛА, частотна модуляція, радіолокатор

### **Abstract**

This research investigates application of frequency-modulated continuous radiation radar technology for altimetry in UAVs. The research is aimed at evaluating the effectiveness and efficiency of using FCMW radar for height measurement, studying its potential for increasing the accuracy and reliability of altimeter data. The results of this research contribute to the field of UAV production, which is actively developing during wartime.

Keywords: UAV, frequency modulation, radar.

## **ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ОДИНИЧНОЇ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ РОЗУМНОЇ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ ПОВРЕХНІ 6G ПОКОЛІННЯ ЗВ'ЯЗКУ**

*Задорожний Г. С. аспірант; Василенко Д. О. к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет,  
м. Київ, Україна*

Передбачається, що майбутня мережа зв'язку шостого покоління 6G забезпечить надшвидка передача даних і повсюдне бездротове підключення. Терагерцовий (ТГц) спектр, ширша смуга пропускання, пропонують великий потенціал для бездротових технологій однак, канали ТГц страждають від високих втрат і зв'язку прямої видимості. Щоб подолати ці виклики, Реконфігурована перестроювана поверхня може бути використана, як економічно ефективний метод динамічної оптимізації шляху передачі даних.

Концепція Розумної Перестроюваної Поверхні (англ. RIS, Reconfigurable Intelligent Surface) була експериментально підтверджена на частотах 5G декількома авторами. Поверхня складається із елементарних ячеек, розмір яких складає певну довжину хвилі центральної частоти  $0.1\lambda \dots 0.5\lambda$ . Основними характеристиками ячейки є амплітуда та фаза відбитої хвилі, тобто S11 magnitude, phase. Із теорії антенної решіток відомо, що напрямок головної пелюстки залежить від фазового зміщення між антенами та їх розташуванням (Phaseshift, Spaceshift), у той час як рівень бічних пелюсток можна регулювати амплітудним розподілом. У найпростішому випадку – рівноамплітудний або еквіпотенційний розподіл дає -13дБ рівень бічних пелюсток.

Головна проблематика розробки RIS полягає у тому, якої форми має бути елементарна ячейка щоб розмістити у ній такий елемент (англ. tuning element), аби характеристики можна було контролювано змінювати. Щонайменше, необхідно забезпечити зміну фази при сталій амплітуді. Прикладами таких рішення для покоління зв'язку 5G є виконання ячейки із ПІН-діодом [1,2], транзисторним ключем [3] та багатьох виконань на варакторах [4,5,6]. Нажаль, із цього прееліку тільки транзисторні ключі можуть бути реалізовані на 6G [7] (у вигляді CMOS) оскільки їх досить легко можна розмістити на кристалі, і вони не мають порівняно суттєвих обмежень по максимальній частоті роботи.

Серед потенційних технологій окрім CMOS, можна виділити наступні:

- Діоди Шотки. Наприклад, Перехід Шоткі утворився шляхом інтегрування металевого кільця із прорізом (англ. SRR, Split Ring Resonator) з шаром n-легованого арсеніду галію (GaAs) товщиною 1 м [8]. Застосування

зворотної напруги зміщення затвора змінює щільність носіїв заряду підкладки навколо розділеного зазору, таким чином впливаючи на резонансну відповідь SRR.

- Транзистор з високою мобільністю електронів (англ. HEMT, High-Electron Mobility Transistor). Наприклад, вбудований транзистор під ємнісні проміжки квадратного електричного LC-резонатора [9]. Резонансну характеристику можна змінити шляхом зміни щільності за допомогою напруги зміщення.

- Графен. Поверхневу провідність можна ефективно контролювати за допомогою електричного поля перпендикулярного зміщення, яке спонукає носії заряду зміщувати хімічний потенціал графену (рівень Фермі) від точки Дірак. У порівнянні зі звичайними напівпровідниками графен має привабливі переваги високої рухливості електронів, значної теплопровідності та високу механічну пластичність [10].

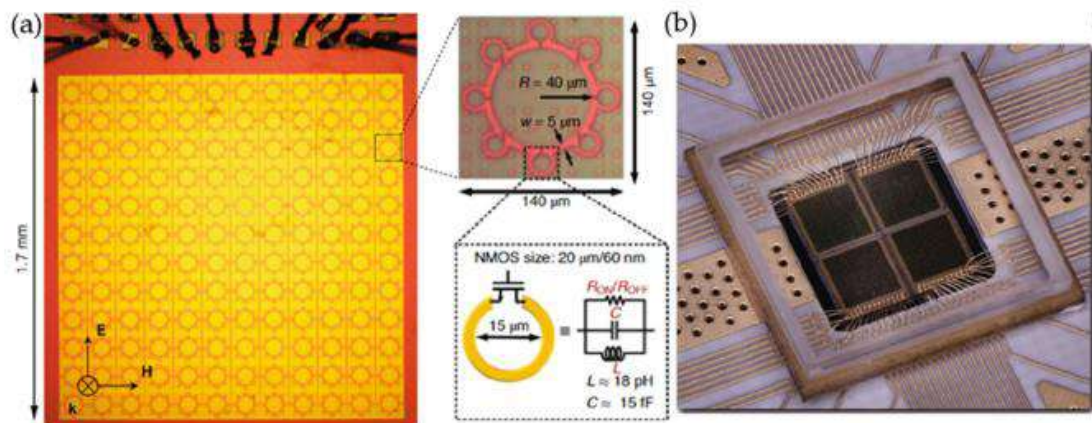


Рисунок 1. Виконання ячейки RIS на чіпі за технологією CMOS [7]

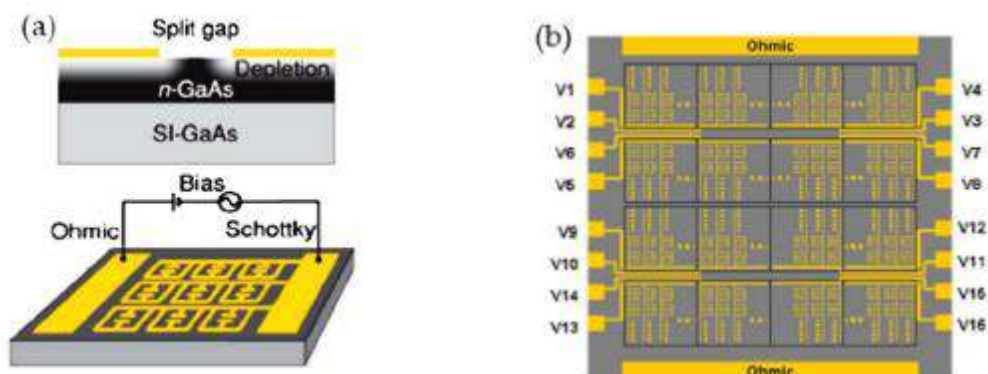


Рисунок 2. Виконання ячейки RIS на діоді Шоткі [8]

У підсумку, побудова RIS на 6G можлива і потребує детального вивчення вибраної технології впливу на електромагнітне поле. Синтез елементарної ячейки є основою для RIS, а отже буде індивідуальним для кожної технології.

### **Перелік посилань**

1. Trichopoulos, Georgios C. et al. "Design and Evaluation of Reconfigurable Intelligent Surfaces in Real-World Environment." IEEE Open Journal of the Communications Society 3 (2021): 462-474.
2. Wang, Di & Yin, Li-Zheng & Wang, Yi-Dong & Tiejun, Huang & Han, Feng-Yuan & Tan, Yun-Hua & Liu, Pu-Kun. (2020). Design of Real-Time Tunable-Focus Active Metasurfaces. 1-3. 10.1109/NEMO49486.2020.9343489.
3. Rossanese, Marco & Mursia, Placido & Garcia-Saavedra, Andres & Sciancalepore, Vincenzo & Asadi, Arash & Costa-Pérez, Xavier. (2022). Designing, building, and characterizing RF switch-based reconfigurable intelligent surfaces. 841-843. 10.1145/3495243.3558256.
4. Ratni, Badreddine & de Lustrac, André & Piau, Gerard-Pascal & Burokur, Shah Nawaz. (2018). Reconfigurable meta-mirror for wavefronts control: Applications to microwave antennas. Optics Express. 26. 2613. 10.1364/OE.26.002613.
5. Araghi, Ali & Khalily, Mohsen & Safaei, Mahmood & Bagheri, Amirmasood & Singh, Vikrant & Wang, Fan & Tafazolli, Rahim. (2022). Reconfigurable Intelligent Surface (RIS) in the Sub-6 GHz Band: Design, Implementation, and Real-World Demonstration. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2022.3140278.
6. Pei, Xilong & Yin, Haifan & Tan, Li & Cao, Lin & Li, Zhanpeng & Wang, Kai & Zhang, Kun & Björnson, Emil. (2021). RIS-Aided Wireless Communications: Prototyping, Adaptive Beamforming, and Indoor/Outdoor Field Trials.
7. Venkatesh, Suresh & lu, Xuyang & Saeidi, Hooman & Sengupta, Kaushik. (2020). A high-speed programmable and scalable terahertz holographic metasurface based on tiled CMOS chips. Nature Electronics. 3. 1-9. 10.1038/s41928-020-00497-2.
8. Chan, Wai & Chen, Hou-Tong & Taylor, Antoinette & Brener, Igal & Cich, Michael & Mittleman, Daniel. (2009). A spatial light modulator for terahertz beams. Applied Physics Letters. 94. 213511-213511. 10.1063/1.3147221.
9. Shrekenhamer, David & Rout, Saroj & Strikwerda, Andrew & Bingham, Chris & Averitt, Richard & Sonkusale, Sameer & Padilla, Willie. (2011). High speed terahertz modulation from metamaterials with embedded high electron mobility transistors. Optics express. 19. 9968-75. 10.1364/OE.19.009968.
10. Wang, Rong & Ren, Xingang & Yan, Ze & Jiang, Li & Sha, Wei & Shan, Guangcun. (2019). Graphene based functional devices: A short review. Frontiers of Physics. 14. 10.1007/s11467-018-0859-y.

### **Анотація**

У даній роботі розглянуті технології зміни характеристик елементарної ячейки Реконфігурованої Розумної Поверхні 6G покоління зв'язку порівняно із тим що уже існує на 5G.

Ключові слова: Розумна реконфігурована поверхня, 6G, одинична ячейка

### **Abstract**

In this work, the technologies for changing the characteristics of the unit cell of the Reconfigurable Smart Communication Surface of the 6G generation are disrupted by what already exists on 5G.

Keywords: Reconfigurable intelligent surface, 6G, single cell



## **УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ РЛС ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ВІД АКТИВНИХ ЗАВАД**

*Іванченко Ю. В. магістрантка; Чмельов В. О. к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут», Радіотехнічний факультет,  
м. Київ, Україна*

Радіолокаційні системи (РЛС) є одними з найважливіших засобів забезпечення безпеки та оборони держави. Вони використовуються для виявлення, супроводження та ідентифікації повітряних, морських та наземних цілей, а також для управління військами та засобами ураження. Однак РЛС є вразливими до впливу активних завад. Активні завади створюють електромагнітні поля, які перешкоджають нормальному функціонуванню РЛС, що може призвести до зниження ефективності РЛС, а в деяких випадках - до її повної відмови. [1] Розробка та впровадження ефективних заходів захисту РЛС від активних завад є важливим завданням для забезпечення безпеки та оборони держави.

Захист радіолокаційних систем (РЛС) від активних завад включає в себе різноманітні методи. Антенні підходи передбачають зміну конструкції для зменшення бічних пелюсток та використання адаптивних антен для коригування напрямку. Фільтрація сигналів включає використання фільтрів та адаптивних фільтрів для виділення корисних сигналів і фільтрації завад. Криптографічні методи включають шифрування сигналів для захисту від несанкціонованого доступу.[2] Частотна та фазова маніпуляція можуть ускладнити активні завади. Алгоритми розпізнавання та фільтрації, такі як методи машинного навчання, використовуються для розпізнавання патернів та відсіювання завад. Усі ці підходи можуть застосовуватися комбіновано для комплексного захисту РЛС від різних форм активних загроз.[2]

Найбільша проблема у сфері захисту радіолокаційних систем (РЛС) виникає при зіткненні з імітуючими активними завадами. Ці завади генерують сигнали, що намагаються симулювати характеристики корисного сигналу, а також вживають заходів для ухилення від розпізнавання системи захисту.

Для ефективного вирішення проблеми захисту від імітуючих активних завад пропонується використання М-последовностей в радіолокаційних системах. М-последовності є спеціальними последовностями бітів. Ці последовності використовуються для модуляції сигналів та покращення роботи РЛС в умовах завад. Їх використання в радіолокаційних застосуваннях дозволяє ефективно виділяти корисний сигнал від імітуючих сигналів і під-

вищувати стійкість системи до електронних перешкод. М-послідовності також можна використовувати для кодування сигналів, що робить їх корисним інструментом для захисту від активних завад.

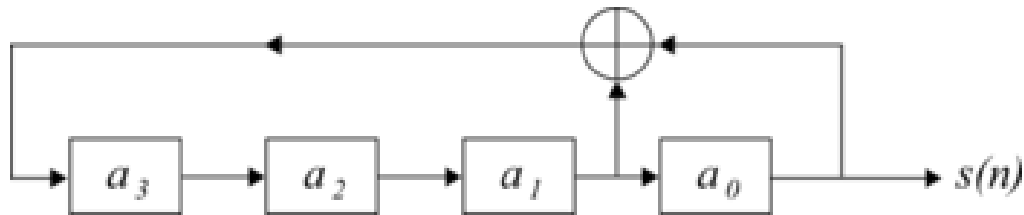


Рисунок 1. Варіант системи побудови М-послідовності з регістром

$$a_k[n + 1] = \begin{cases} a_0[n] + a_1[n], & k = 3 \\ a_{k+1}[n], & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рисунок 2. Рекурентне співвідношення, що описує схему на Рисунку 1

Формула представлена на Рисунку 2 є рекурентним співвідношенням, яке визначає наступне значення М-послідовності на основі попередніх двох значень. М-послідовності періодичні і регістр зсуву проходить в циклі через кожне можливе двійкове значення.[3]

Запропонований метод захисту радіолокаційних систем (РЛС) передбачає використання унікальних М-послідовностей в кожному періоді зондування для ускладнення спроб перехоплення та підтримки високої стійкості до електронних завад. На кожному новому циклі генерується нова М-послідовність. М-послідовність регулярно змінюється для ускладнення завдань перехоплення та виявлення з боку потенційних агресорів. [3]

Важливою особливістю цього підходу є постійна адаптація оптимального фільтра Цифрового Оброблення Сигналів (ЦОС) до нової М-послідовності. Алгоритм переналаштовує параметри фільтра, враховуючи характеристики конкретної послідовності для оптимального виділення корисного сигналу та пониження впливу завад. Оптимальний фільтр автоматично підлаштовується під характеристики нової послідовності, що дозволяє системі підтримувати високий рівень стійкості до електронних завад. Використання нових М-послідовностей на кожному етапі зондування ускладнює завдання агресорів, які використовують активні завади. Адаптивність алгоритму робить систему менш чутливою до традиційних методів перехоплення. Цей метод дозволяє ефективно захистити радіолокаційну станцію (РЛС) від активних імітуючих завад. Він забезпечує високий рівень надійності та стабільності роботи РЛС, особливо в умовах зростаючого ризику електронної боротьби.

Існує декілька методів захисту, але основна трудність полягає у тому, щоб захистити РЛС від імітуючих завад, які можуть серйозно ускладнити їхню роботу. Представлений новий підхід використовує М-послідовності,

які відрізняються великою довжиною та стійкістю до різних впливів. Суть алгоритму полягає в тому, щоб періодично переходити на нову M-послідовність та адаптувати оптимальний фільтр цифрового оброблення сигналів. Це дозволяє ефективно реагувати на зміни в електронному просторі та гарантує високий рівень захисту від імітуючих завад.

Зазначений підхід є ефективним і стійким, що робить його перспективним для використання в умовах сучасної радіоелектронної боротьби.

### **Перелік посилань**

1. Толюпа С.В., Дружинін В. А., Наконечний В.С., ін. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією / Толюпа С.В., Дружинін В. А., Наконечний В.С., Цюпа Н.В., Батрак Є.О. - К.: Логос, 2014. – 230 с.

2. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посібник / уклад. : Ю.О. Ушенко, М.С. Гавриляк, М.В. Талах, В.В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с

3. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору : конспект лекцій / К. С. Васюта, О. В. Тесленко, В. М. Купрій, О. А. Малишев. – Х. : ХУПС, 2013. – 212 с.

4. Мрачковський О. Д. Залежність максимальних бокових піків кореляційних функцій ФМ аперіодичного сигналу M-послідовності від довжини послідовності / Мрачковський О. Д., Боднарук О. Д. // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування : збірник наукових праць. – 2011. – № 46. – С. 90–99.

### **Анотація**

Радіолокаційні системи (РЛС) в сучасному світі відіграють неймовірно важливу роль у забезпеченні безпеки та навігації. Різноманітні методи захисту, такі як антенні підходи, фільтрація сигналів і криптографічні методи значно покращують захист, але основною проблемою залишається захист від імітуючих активних завад. У цьому контексті, запропоновано застосування M-послідовностей як ефективного рішення.

Ключові слова: Радіолокаційна система, РЛС, цифрова обробка сигналу, фільтрація, антена, активні завади, M-послідовність.

### **Annotation**

Radar systems in the modern world play an incredibly important role in ensuring safety and navigation. Various protection methods such as antenna approaches, signal filtering, and cryptographic methods greatly improve protection, but the main problem remains protection against simulating active interference. In this context, the use of M-sequences as an effective solution is proposed.

Keywords: Radar system, radar, digital signal processing, filter, antenna, active interference, M-sequence.

## **СИСТЕМА ПОДАЧІ ГАРЯЧОГО ПОВІТРЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ**

*Коваль М. А. студент; Мирончук О. Ю. PhD, ст.викладач  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут», Радіотехнічний факультет,  
м. Київ, Україна*

З розвитком технологій і науки, людство все частіше починає задаватися питанням захисту екології та світу навколо нас. Одним з методів захисту екології є використання альтернативних джерела енергії в побуті та промисловості. Однією з задач, які може вирішувати альтернативна енергетика – це опалення житлового приміщення і скорочення використання тепла, отриманого в результаті спалення вугілля чи газу. Прикладом таких технологій є сонячний колектор. Його головною задачею є нагрівання холодного повітря в приміщенні, а також вентиляція.

Принцип роботи сонячного колектора[1].

При попаданні сонячних променів на поверхню колектора нагрівається алюмінієвий абсорбер, пофарбований у чорний колір, який знаходиться всередині утепленого короба. Сонячний повітряний колектор має з фасадного боку світлопрозору конструкцію для пропускання сонячних променів. Холодне повітря з вулиці, яке проходить крізь нагрітий абсорбер, нагрівається і вентилятором подається в приміщення вже нагрітим. В цей же час, повітря з приміщення виходить через інший отвір. В результаті, до приміщення надходить чисте та нагріте повітря з вулиці. Різниця температури повітря на вході та виході із сонячного повітряного колектора SolarBox становить 20-40 градусів.

Колектор має два режими роботи:

- Режим опалення приміщення та вентиляції.
- Режим тільки вентиляції.

Другий режим роботи можна використовувати при відсутності достатньої кількості сонячного тепла для нагрівання повітря. В цьому випадку, повітря з приміщення буде виходити на вулицю, а свіже повітря з вулиці заходити через колектор до приміщення.

Робота колектора забезпечується подачею енергії від акумулятора, який накопичує енергію за рахунок сонячної панелі, що вбудована в сонячний колектор. За відсутності сонячної погоди довгий час, колектор буде змушений перейти на живлення від мережі. Варто зауважити, що використання колектора має сенс у всі сезони, окрім літа, тому що літом приміщення до потребує додаткового опалення, а вентиляція більш теплим повітрям ніж у приміщенні може створювати сильний дискомфорт для людини. Однак, важливим питанням стає керування колектором, а також контроль температурних показників і  $CO_2$ .

В роботі розглянуто пристрій, що виконує функції системи управління подачі гарячого повітря та вентиляції, яка окрім цього може бути також інтегрована в систему «Розумний дім».

В основі роботи пристрою лежить мікроконтролер, який збирає дані з сенсорів і виводить їх на дисплей, зрозумілій користувачу. Також, можливим варіантом є підключення системи управління колектора до системи «Розумний дім» і передача зібраних даних на блок керування головної системи. В цьому випадку, бездротова система Wi-Fi має безперечні переваги. Головною причиною є те, що така система може поширювати сигнал без дротів на заданий радіус дії і об'єднувати пристрої в одну локальну мережу[2]. Окрім цього, система Wi-Fi має високу швидкість передачі даних і забезпечує вихід до мережі інтернет. Це дозволить дублювати отримані дані по температурі, а також давати можливість керувати колектором дистанційно. Наприклад, з телефону.

Розроблена управляюча станція забезпечить користувача та вище зазначені системи «Розумного дому» наступними даними та функціями:

- температура на вході і виході колектора;
- зовнішня та внутрішня вологість;
- рівень вуглекислого газу;
- дата, час та календар;
- можливість вмикати або вимикати колектор дистанційно;
- можливість обирати режим роботи колектора дистанційно.

Відповідно була створена та представлена структурна схема даного пристрою рис.1.



Рисунок 1. Структурна схема розробленого пристрою

Використовуючи зовнішні та внутрішні датчики, управляючий пристрій буде робити заміри температури з точністю до десятих. Діапазон для внутрішнього датчика від  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , а для зовнішнього – від  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . За допомогою датчиків вологості, пристрій буде вимірювати вологість у приміщенні і ззовні в діапазоні від 2% до 98%. Для контролю якості

повітря буде використовуватися датчик вуглекислого газу  $CO_2$ .

Далі, результати вимірювання подаються на вхід мікроконтролера, оброблюються і виводять результат на дисплей. При перевищенні допустимого значення вуглекислого газу в 0,1%, загорається червоний світлодіод, а користувач додатково отримує сповіщення в разі наявності підключення до системи «Розумний дім»

Після збору та обробки усіх необхідних даних, мікроконтролер в режимі автоматичного керування починає діяти в залежності від сценарію:

– Якщо температура повітря в колекторі вище за 25 градусів за Цельсієм і при цьому температура в приміщенні нижче за виставлену попередньо, зі сторони користувача, оптимальну температуру, то мікроконтролер відкриває повітряний потік і подає живлення на вентилятори. Значення  $CO_2$ , вологість, температура у приміщенні та в колекторі подаються на дисплей. Також, відбувається передача значень отриманих метаданих за допомогою модуля Wi-Fi до центрального хаба[3] розумного будинку, в середині якого встановлені необхідні контролери, драйвера та програми для обробки отриманої інформації.

– Якщо температура повітря в колекторі нижче 25 градусів за Цельсієм і температура повітря в приміщенні нижче за виставлену попередньо, зі сторони користувача, оптимальну температуру, але рівень вуглекислого газу вище за норму, то мікроконтролер відкриває повітряний потік і подає живлення на вентилятори. В цьому разі, колектор використовується в якості вентиляції. Значення  $CO_2$ , вологість, температура у приміщенні та в колекторі подаються на дисплей. Також, відбувається передача значень отриманих метаданих за допомогою модуля Wi-Fi до центрального хаба[3] розумного будинку, в середині якого встановлені необхідні контролери, драйвера та програми для обробки отриманої інформації. .

– Якщо температура повітря в колекторі нижче за 25 градусів за Цельсієм, температура повітря в приміщенні дорівнює або вища за виставлену попередньо, зі сторони користувача, оптимальну температуру, і рівень вуглекислого газу в приміщенні знаходиться в межах норми, то мікроконтролер лише передає значення замірів за допомогою модуля Wi-Fi до центрального хаба[3] розумного будинку, в середині якого встановлені необхідні контролери, драйвера та програми для обробки отриманої інформації. Також, виводить значення на дисплей.

В разі використання системи «Розумний будинок» користувач також має можливість керувати и корегувати роботу колектора дистанційно. Наприклад, обираючи режим його роботи.

На основі отриманих даних пристрою центральний контролер системи «Розумний дім» автоматично, відповідно до заданого сценарію, віддає команди іншим розумним систем спржених з ним. Наприклад, включає або виключає систему зволоження повітря.

Модуль реального часу підтримує секунди, хвилини, години, дні неділі, місяць та рік. Годинник може працювати в 24-х часовому або в 12-ти часовому форматах. Також, обраний модуль має два будильники та календар

Живлення здійснюється за допомогою акумулятора, що накопичує енергію від сонячної панелі. Для забезпечення живлення під час відключення основного джерела використовується мережевий адаптер.

Отже, розглянуто пристрій, а саме систему управління опаленням і вентиляцією за рахунок сонячного колектора. Основною функцією цієї системи є керування сонячним колектором, а також збір метеоданих, їх обробка та вивід на цифровий дисплей. Інтеграція в систему «Розумний будинок» можлива з використанням модулю Wi-Fi, який в свою чергу передає зібрані дані на центральний Х розумного будинку. Як результат, ця система зможе зменшити негативний екологічний вплив на навколишнє середовище за рахунок альтернативних джерел енергії та полегшити життя людини завдяки правильному функціонуванню системи «Розумний будинок».

### **Перелік посилань**

1. Сонячний повітряний колектор SolarBox [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://solarbox.com.ua/>
2. Wireless Technologies in Smart Home [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.linkedin.com/pulse/wireless-technologies-smart-home-aumraj-design-system/>
3. Smart home hub. (home automation hub) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-home-hub-home-automation-hub>

### **Анотація**

Розглянуто сферу використання системи управління та збору метеоданих в сонячному колекторі. Створено та проаналізовано принцип роботи структурної схеми для модуля керування та вимірювання кліматичних параметрів. Представлено можливість інтегрування пристрою в систему “Розумний будинок”.

Ключові слова: Розумний будинок, сонячний колектор, хаб.

### **Abstract**

The field of use of the control system and collection of meteorological data in the solar collector is considered. The principle of operation of the structural diagram for the control module and measurement of climatic parameters is created and analyzed. The possibility of integrating the device into the Smart Home system is presented.

Keywords: Smart home, solar collector, hub.

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РОЗМІРУ ЗОБРАЖЕННЯ БПЛА В ПІКСЕЛЯХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВІДСТАНІ ДО НЬОГО

*Кот М. Г. магістрант; Соколов К. А.; Жук С. Я. д.т.н., професор  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут», Радіотехнічний факультет,  
м. Київ, Україна*

На сьогодні БПЛА знаходять все більше застосування у різних галузях господарства та військовій справі. Важливим класом засобів моніторингу за БПЛА виступають системи відеоспостереження [1]. Одним із показників, який визначає область ефективного застосування відеокамери є розмір зображення БПЛА в пікселях. Важливість цього показника також зростає у зв'язку з широким застосуванням нейронних мереж для розпізнавання і класифікації типів цілей.

Як правило, відстань між відеокамерою та БПЛА значно перевищує фокусну відстань  $f$  оптичної системи. Тому будемо використовувати проєктивну модель відеокамери [2], в якій проєктування зображення тривимірного об'єкта у фокальну площину (площину зображення) виконується через оптичний центр.

Початок піксельної системі координат з'єднаний з верхнім лівим пікселем зображення рис. 1. Координати центрального пікселя ( $c_x, c_y$ ) (оптичний центр) знаходяться на перетині головної оптичної осі об'єктива з матрицею камери. Вони також як і координати будь якої іншої точки на зображенні визначаються в пікселях – округлюються с точністю до пікселя.

Координати проєкції заданої в системі координат камери точки ( $x_c, y_c, z_c$ ), в піксельній системі координат матриці камери розраховуються по формулі :

$$\begin{bmatrix} \chi \\ \mu \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/\Delta\chi & 0 & c_x \\ 0 & f/\Delta\mu & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c/z_c \\ y_c/z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

де  $\Delta\chi$ ,  $\Delta\mu$  - розміри комірки матриці (масштаби) по осях X і M відповідно;  $f$  - фокусна відстань.

На основі проєктивної моделі відеокамери може бути розрахований розмір зображення БПЛА в пікселях, в залежності від відстані до нього. Для вирішення цієї задачі введемо позначення:  $a$  – ширина матриці,  $b$  – висота матриці;  $L_x$  – ширина області огляду,  $L_y$  – висота області огляду;  $L_z$



– відстань до об'єкта;  $\alpha$  – кут огляду по горизонталі,  $\beta$  – кут огляду по вертикалі;  $N_x$  – роздільна здатність матриці по горизонталі,  $N_y$  – роздільна здатність матриці по вертикалі. Їх геометричний зміст показано на рис.1.

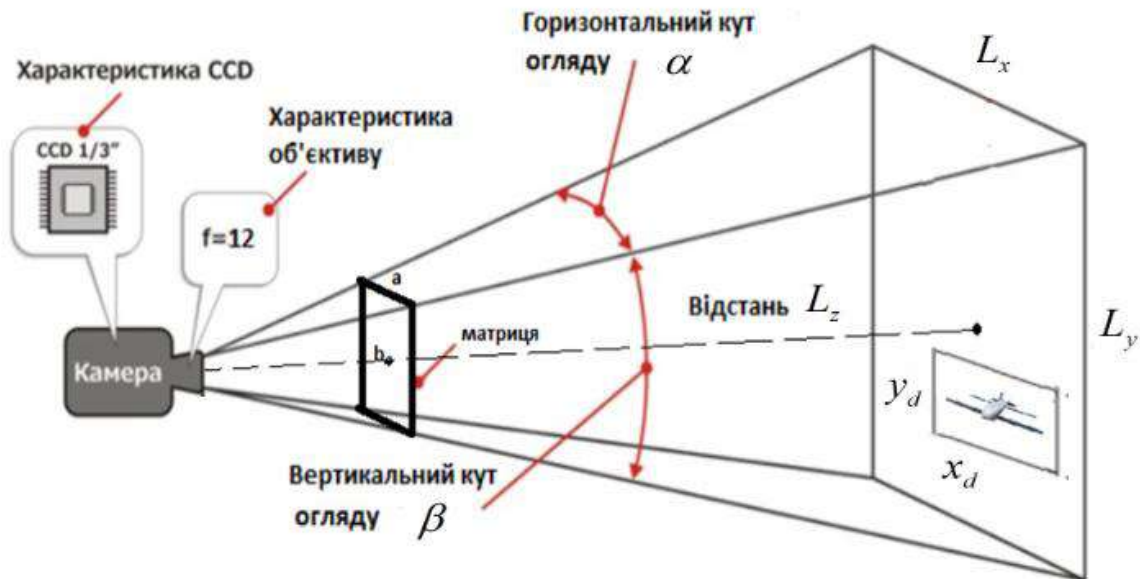


Рисунок 1. Геометричний зміст проєктивної моделі

Методика розрахунку розміру зображення БПЛА в пікселях, який знаходиться на відстані  $L_z$ , включає наступні етапи:

1. Визначаємо горизонтальний і вертикальний кути огляду:

$$\alpha = 2 \arctg\left(\frac{a}{2 \cdot f}\right);$$

$$\beta = 2 \arctg\left(\frac{b}{2 \cdot f}\right).$$

2. Знаходимо ширину і висоту області огляду:

$$L_x = \frac{L_z \cdot a}{f};$$

$$L_y = \frac{L_z \cdot b}{f}.$$

3. Щільність пікселів - по горизонталі і по вертикалі на відстані  $L_z$ :

$$\rho_x = \frac{N_x}{L_x};$$

$$\rho_y = \frac{N_y}{L_y}.$$

4. Знаходимо кількість пікселів в області БПЛА:

$$S_d = \rho_x x_d \rho_y y_d$$

Проведемо розрахунок для двох типових матриць:

– 2 Мп, 1/3 дюймова (4.8мм х 3.6мм). Розмір комірки матриці буде дорівнювати  $2,5 \times 3,3$  мкм

– 8,3 Мп, широкоформатна (36мм х 24мм). Розмір комірки рівний  $9,3 \times 11,1$  мкм.

Фокусна відстань  $f = 12$  мм. Розмір прямокутної області, в який вписується БПЛА  $x_d \times y_d = 0,5$  м х 0,5 м. Відстань до БПЛА  $L_z = 100$  м. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків

Розмір матриці (мм)	4.8×3.6	36×24
Роздільна здатність (пікс.)	1920×1080	3840×2160
Горизонтальний кут огляду (град.)	22.62	112.62
Вертикальний кут огляду (град.)	17	90
Ширина поля огляду (м)	40	300
Висота поля огляду (м)	30	200
Щільність пікселів по горизонталі (пікс./м)	48	12.8
Щільність пікселів по вертикалі (пікс./м)	36	10.8
Кількість пікселів в зображенні БПЛА	432	34

Ширина і висота поля огляду у широкоформатної камери значно більше. Але ж кількість пікселів в зображенні БПЛА менше на порядок.

### Перелік посилань

1. Ярош С.П., Гур'єв Д.О. Аналіз розвитку безпілотних літальних апаратів, способів їх бойового застосування та розробка пропозицій щодо організації ефективної боротьби з безпіотною авіацією. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 2(43). С. 54-60. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.43.07>.

2. Молчанов А. А. Оценка точности определения поступательной скорости видеокамеры по данным оптического потока [Електронний ресурс] / А. А. Молчанов, В. І. Кортунюв. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: [https://nure.ua/wp-content/uploads/2017/Scientific\\_editions/188/11.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/2017/Scientific_editions/188/11.pdf)

3. Інформаційний портал «Характеристики видеокамер» [Електронний ресурс]. Доступ за посиланням. <https://lantorg.com/article/kak-vybrat-videokameru-ch2-harakteristiki-videokamer/>

### Анотація

На основі проєктивної моделі відеокамери розглянуто методику розрахунку розміру зображення БПЛА в пікселях в залежності від відстані до нього. На її основі проведено розрахуни для двох типових камер, одна з яких є широкоформатною.

Ключові слова: БПЛА, розмір зображення.

### Abstract

Based on the projective model of the video camera, the method of calculating the size of the UAV image in pixels depending on the distance to it is considered. Based on it, calculations were made for two typical cameras, one of which is wide-format.

Keywords: UAV, image size.

## АНАЛІЗ АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛУ В FMCW РАДАРІ

*Маленчик Т. В. аспірант; Бендак В. Р. аспірант; Олійник М. В., аспірант; Деружко Б. М. аспірант; Жук С. Я. д.т.н., професор  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Радіотехнічний факультет,  
м. Київ, Україна*

FMCW (Frequency modulated continuous wave) радары знайшли широке застосування в різних галузях людської життєдіяльності, наприклад: в задачах автопілотування автомобілів, рятувальних операціях, моніторингу морського і повітряного простору, навігації в приміщеннях, авіаційній галузі, метеорологічних спостереженнях, та інше [1].

FMCW радары мають наступні характеристики, які якісно виділяють їх на фоні імпульсних чи імпульсно-доплерівських радарів, а саме:

- широкий робочий діапазон частот, що дозволяє розробити компактний радар на основі інтегральних монолітних гібридних мікросхем;
- використання НВЧ діапазону дозволяє забезпечити високу роздільну здатність по дальності та радіальній швидкості;
- використання непервного модульованого сигналу дозволяє вимірювати екстремально малі відстані до цілі;
- низька потужність випромінювання і споживання;
- низьку ймовірність перехоплення сигналу [1];
- низьку ймовірність хибної тривоги [1];
- можливість використання алгоритмів ЦОС, на проміжній частоті для покращення виявлення цілі програмним шляхом не змінюючи структуру приймально – передавального тракту [2].;

Структурна схема радара представлена на рис.1.

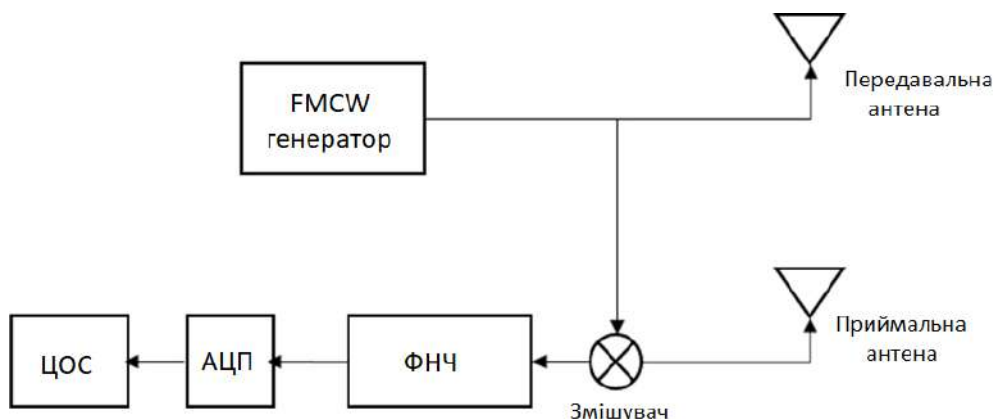


Рисунок 1. Структурна схема FMCW радара

Після відбиття зондуючого сигналу від цілі, він потрапляє у змішувач, після чого на ФНЧ де формується різницева частота, яка має форму гармонічного сигналу.

Обмеженням такої радіолокаційної системи є відносно невелика дальність роботи та складність в експлуатації в середовищах, де є декілька цілей, оскільки виявлення має базуватися відбитого від цілі сигналу на аналізі в частотній області [3].

Сигнал на виході ФНЧ при наявності цілі описується моделлю :

$$x(n) = A \cos(2\pi f n + \phi) + w(n), \quad (1)$$

де  $w(n)$  - дискретний білий гаусівський шум з відомою дисперсією  $\sigma^2$ . Амплітуда  $A$ , частота  $f$ , фаза  $\phi$  є невідомими.

Виявлення сигналу цілі відбувається в спектральній області з використанням ШПФ (Швидкого перетворення Фур'є). Структурна схема алгоритму виявлення представлена на рис.2.[4].

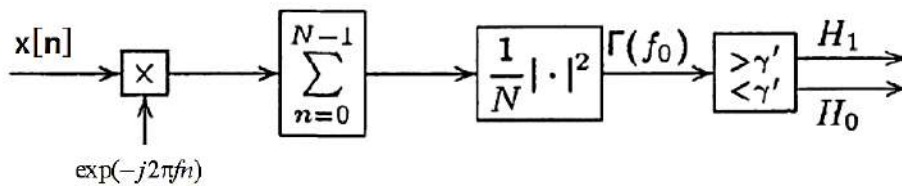


Рисунок 2. Структурна схема алгоритму виявлення гармонічного сигналу

Прийняття рішення щодо наявності цілі відбувається за правилом:

$$\hat{H}_1 : \left| \sum_0^{N-1} x[n] \exp(-j2\pi f n) \right|^2 > \sigma^2 \ln \alpha^{-1}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  – ймовірність хибної тривоги, яка розраховується за формулою

$$\alpha = 1 - \frac{N}{2} \sqrt{1 - \alpha_N}, \quad \text{де } \alpha_N - \text{ймовірність хибної тривоги, що задається.}$$

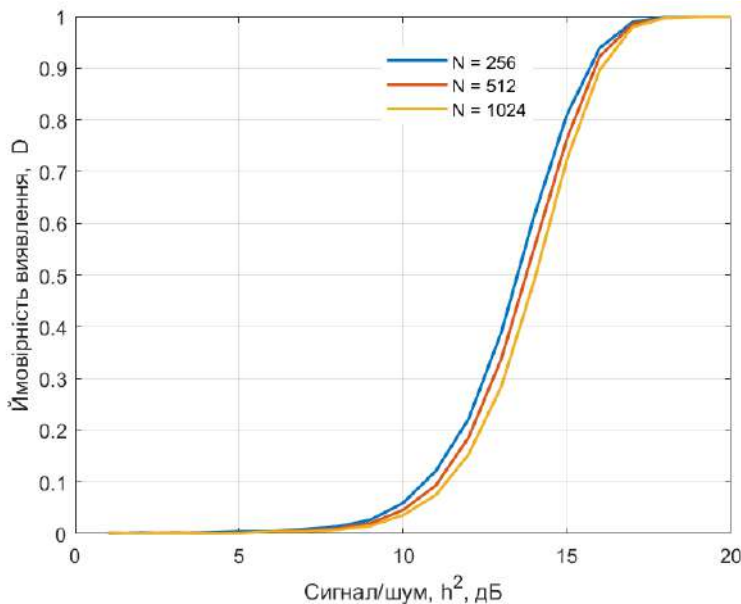


Рисунок 3. Залежності ймовірності правильного виявлення цілі  $D$  від ВСШ

Залежності ймовірності правильного виявлення цілі  $D$  від ВСШ (Відношення сигнал шум)  $h^2$  при  $\alpha = 10^{-3}$ , зображені на рис.3, де  $N$  – кількість точок ШПФ. ВСШ розраховується за формулою:[4]

$$h^2 = 10 \log \left( \frac{NA^2}{2\sigma^2} \right). \quad (4)$$

Частота  $f$  сигналу є оцінкою максимальної правдоподібності [4]. На рис.4 зображений спектр гармонічного сигналу з ВСШ 17 дБ.

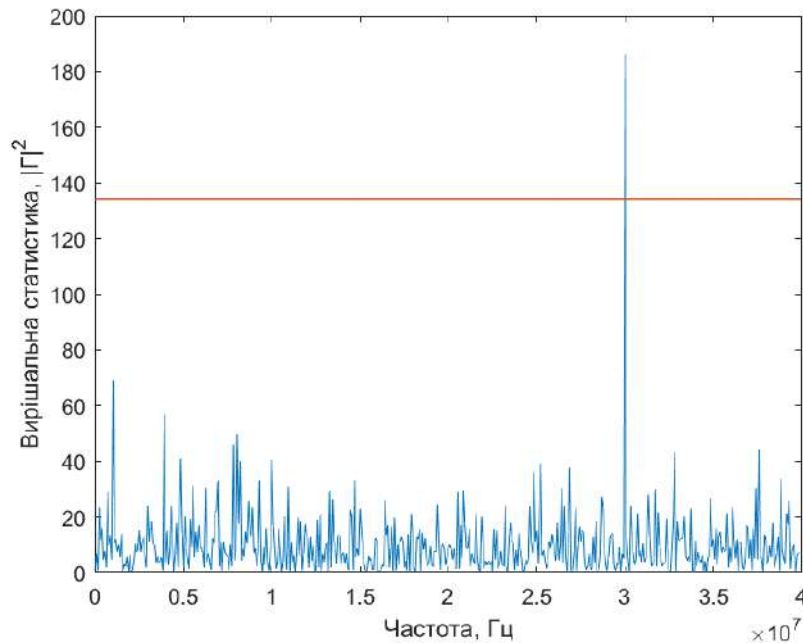


Рисунок 4. Спектр гармонічного сигналу при відношенні сигнал/шум 17 дБ

Результати моделювання демонструють здатність радару виявляти цілі з заданою ймовірністю хибної тривоги, використовуючи представлений алгоритм на базі ШПФ. Подальшим результатом досліджень є розробка алгоритмів в умовах невідомих характеристик завад.

### **Перелік посилань**

- 1 N. F. M. Ariffin, F. N. M. Isa and A. F. Ismail, "FMCW Radar for Slow Moving Target Detection: Design and Performance Analysis," 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2016, pp. 396-399.
2. Mohinder J., Fmcw Radar Design. Publisher: Artech House, 2018.
3. Толюпа С.В. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації у багато-позиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією / Толюпа С.В., Дружинін В. А., Наконечний В.С., Цюпа Н.В., Батрак Є.О. - К.: Логос, 2014. – 230 с.
4. Carr, A., Cuthbert, L., & Olver, A. (1981). Digital signal processing for target detection fmcw radar. IEE Proceedings F Communications, Radar and Signal Processing, 128(5), 331.

### **Анотація**

В роботі представлено характеристики та аналіз алгоритму виявлення гармонічного сигналу FMCW радару. Виконано його дослідження, побудовано характеристики виявляча сигналу та спектр сигналу.

Ключові слова: FMCW радар, ШПФ, ВСШ, виявлення.

### **Abstract**

The characteristics and analysis of the FMCW radar harmonic signal detector were presented. Characteristics of the signal detector and the signal spectrum were figured out.

Keywords: FMCW, radar, FFT, SNR, detection.

## МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СИГНАЛУ РЛС

*Манчак К. В. магістрантка; Чмельов В. О. к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут», Радіотехнічний факультет,  
м. Київ, Україна*

Радіолокаційні станції (РЛС) є важливим елементом системи контролю повітряного, космічного або морського простору, що використовуються для виявлення, супроводу та ідентифікації цілей.

Для протидії РЛС застосовуються різні методи, основою яких є ідентифікації сигналу, що застосовує РЛС. Ідентифікація сигналу РЛС дозволяє визначити тип РЛС, її параметри та ціль, на яку вона працює. Ця інформація може бути використана для зниження ефективності роботи РЛС, наприклад, для постановки перешкод або для уникнення виявлення.

РЛС використовують широкий спектр електромагнітних хвиль для високоточного визначення положення та характеристик об'єктів. Для забезпечення непомітності та унеможливлення виявлення їхньої роботи, інженери використовують складні широкосмугові сигнали. Ці сигнали певним чином змінюють частоту, фазу та амплітуду, затруднюючи завдання ефективного перехоплення та аналізу.

Робота РЛС часто включає в себе використання методів частотної модуляції та фазового зміщення, що дозволяє створювати сигнали змінної частоти та фази. Ці методи не лише дозволяють приховати роботу РЛС в електромагнітному спектрі, але й створюють велику різницю між їхніми сигналами та сигналами інших джерел. Внаслідок цього, алгоритми виявлення і ідентифікації повинні бути адаптовані до ускладненої структури та динамічності цих сигналів.

Широкосмугові сигнали, які використовуються РЛС, можуть мати різні форми та параметри модуляції, такі як амплітуда, довжина і частотний спектр. Це робить їх важкими для виявлення та класифікації звичайними методами аналізу. Важливо враховувати ці унікальні характеристики при розробці алгоритмів ідентифікації, щоб забезпечити ефективне розрізнення між сигналами РЛС та іншими сигналами в електромагнітному спектрі.

Отже, приховання роботи РЛС за допомогою широкосмугових сигналів є сучасним викликом у сфері радіопротидії

Тому, задача виявлення та ідентифікації сигналу РЛС є складною, оскільки сигнал РЛС може бути схожим на сигнали інших радіотехнічних систем.

Сучасне електромагнітне середовище насичене сигналами різних джерел, таких як радіостанції, рації, супутники, а також електронна бойова техніка та інші РЛС. Спільна робота цих систем може призводити до пере-

хресних перешкод і ускладнювати завдання виявлення та ідентифікації РЛС. Така конкуренція за електромагнітний спектр робить важким виділення сигналів РЛС, а також може викликати помилкове розпізнавання їхніх сигналів.

Ідентифікація сигналів РЛС ускладнюється великою різноманітністю їхніх характеристик. Різні типи РЛС можуть використовувати різні модуляційні схеми, частотні діапазони, антени та інші параметри. До того ж, сучасні РЛС можуть варіювати свої характеристики у реальному часі, щоб уникнути виявлення та аналізу. Ця варіативність створює виклик для розробки алгоритмів ідентифікації, які можуть адаптуватися до змін в сигналах РЛС.

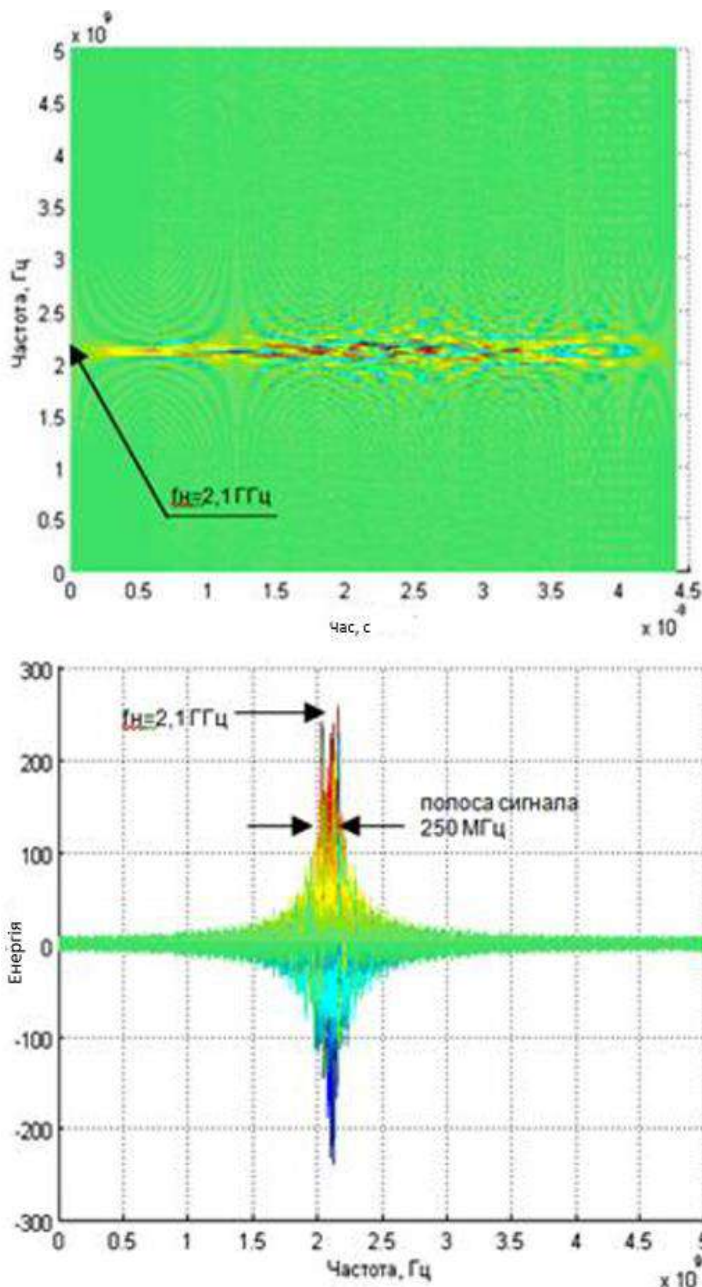


Рисунок 1. Перетворення Вігнера для коду Баркера

Розробка ефективних алгоритмів виявлення та ідентифікації сигналу РЛС є важливою задачею для радіопротидії. Ефективні алгоритми виявлення та ідентифікації сигналу РЛС дозволяють підвищити ефективність радіопротидії та зменшити загрозу з боку РЛС.

Для підвищення ефективності виявлення та ідентифікації сигналу РЛС можна застосувати ЦОС на основі перетворення Вігнера. Перетворення Вігнера дозволяє виділити характерні ознаки сигналу РЛС, що ускладнює його маскування.

Перетворення Вігнера - це вид дискретного перетворення Фур'є, яке дозволяє ефективно обробляти широкосмугові сигнали. Перетворення Вігнера є орієнтованим на енергію, що означає, що воно виділяє основні компоненти сигналу. Це робить його придатним для виявлення сиг-

налів РЛС, які часто мають яскравий основний компонент.

Алгоритм виявлення і ідентифікації сигналів РЛС на основі ЦОС на основі перетворення Вігнера працює наступним чином:

1. Сигнал РЛС приймається і дискретизується.
2. На дискретизованому сигналі виконується перетворення Вігнера.
3. На результатах перетворення Вігнера виконується аналіз, щоб виявити сигнал РЛС.

Як приклад розглянемо сигнал з наступними параметрами: частота несучої  $f_n = 2.1$  ГГц, смуга сигналу 250 МГц, код Баркера довжини 11, частота дискретизації  $F_d = 10$  ГГц.

На рис. 1 видно, що перетворення Вігнера дозволяє точно визначити смугу сигналу, що розглядається, і несучу частоту.

Розробка ефективних алгоритмів виявлення і ідентифікації сигналів РЛС є важливою задачею для радіопротидії. Ці алгоритми повинні бути здатні виявляти сигнали РЛС навіть у умовах використання складних широкосмугових сигналів. Застосування ЦОС на основі перетворення Вігнера є одним із перспективних методів вирішення цієї задачі.

### **Перелік посилань**

1. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник./ Г. Д. Братченко, Б. В. Перелигін, О. В. Банзак, Н. Ф. Казакова, Д. В. Григор'єв — Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. — 452 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни «Радіотехнічні системи» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності - 172 «Телекомунікації та радіотехніка»./Укл.: С'янов О.М., Марченко С.В. - Кам'янське; ДДТУ, 2018 р. – 88 с.
3. Радіотехнічні системи (Основи проектування. Частина 1) : навч. посіб. / В. М. Кичак, А. Ю. Воловик, М. А. Шутило, О. П. Червак – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 122 с

### **Анотація**

У тезах розглядаються методи ідентифікації сигналу радіолокаційної системи (РЛС). Ідентифікація сигналу РЛС - це важлива задача в системах радіопротидії, що повинні знизити ефективність роботи радіолокаційні станції.

Ключові слова: перетворення Вігнера, РЛС, дискретне перетворення Фур'є.

### **Abstract**

Theses consider the methods of identification of the signal of the radar system (Radar). Radar signal identification is an important task in radio-countermeasures systems, which should reduce the effectiveness of radar stations.

Keywords: Wigner transform, radar, discrete Fourier transform.



## АНТЕНИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГЛЮКОЗИ В КРОВІ

*Парфило І. О. студент; Богомолів М. Ф. к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», факультет біомедичної інженерії  
м. Київ, Україна*

Для визначення рівня глюкози антена повинна бути розміщена безпосередньо якнайближче до тіла. Інші проблеми та завдання при конструюванні антени наведені в (Табл. 1) [1]:

Таблиця 1. Основні проблеми і завдання при конструюванні антен для вимірювання глюкози в крові

Проблема	Завдання
Мініатюризація	Антена повинна бути мініатюрною, щоб її можна було вмонтувати в невеликі пристрої для безперервного моніторингу рівня глюкози
Енергоефективність	Імплантовані пристрої для моніторингу рівня глюкози мають обмежені джерела живлення, що вимагає енергоефективної конструкції антени
Моніторинг в реальному часі	Рівень глюкози потребує моніторингу в режимі реального часу для своєчасного втручання та лікування діабету

У першому дослідженні було запропоновано вузькосмугову антену, що резонує на частоті 6,1 ГГц (смуга пропускання від 5,2 до 7,1 ГГц), коефіцієнт підсилення 3,3 *dBi*. Для виготовлення було використано недорогий матеріал *FR4*, з товщиною 1,6 мм, діелектричною проникністю 4,4 і тангенсом кута діелектричних втрат 0,02. Конструкція наведена на (Рис. 1):

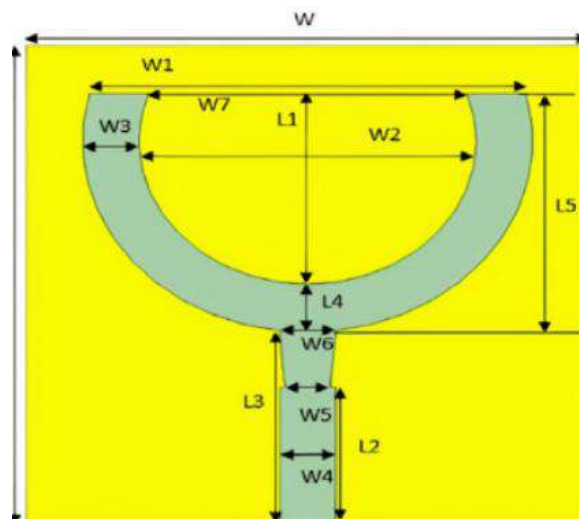


Рисунок 1. Конструкція запропонованої антени у першому дослідженні

У програмі *ANSYS HFSS* було змодельовано палець людини, який складається з п'яти шарів: шкіра, жир, м'яз, кров, кістка. Кожен має різну товщину та діелектричну проникність для якнайкращого імітування реальної частини тіла [2].

Кров людини має певну концентрацію рівня глюкози, значення якої, відповідно, впливає на діелектричну проникність самої крові. Через це якщо помістити палець людини (у нашому випадку модель) на випромінюючий елемент антени, то можна спостерігати зміну її резонансної частоти [3].

Концентрацію глюкози в змодельованому пальці збільшували від 0 до 500 мг/дл. Отримані результати наведені в (Табл. 2) [2]:

Таблиця 2. Результати дослідження

Рівень глюкози	Резонасна частота антени
75 мг/дл	5,71 ГГц
175 мг/дл	5,97 ГГц
225 мг/дл	6,18 ГГц

У другому дослідженні також використовували вузькосмугову антену, параметри якої мають такі значення: коефіцієнт підсилення 3.4 *dBi*, резонансна частота 1.3 ГГц, розміри 68 × 68 мм. Зовнішній вигляд наведений на (Рис. 2).

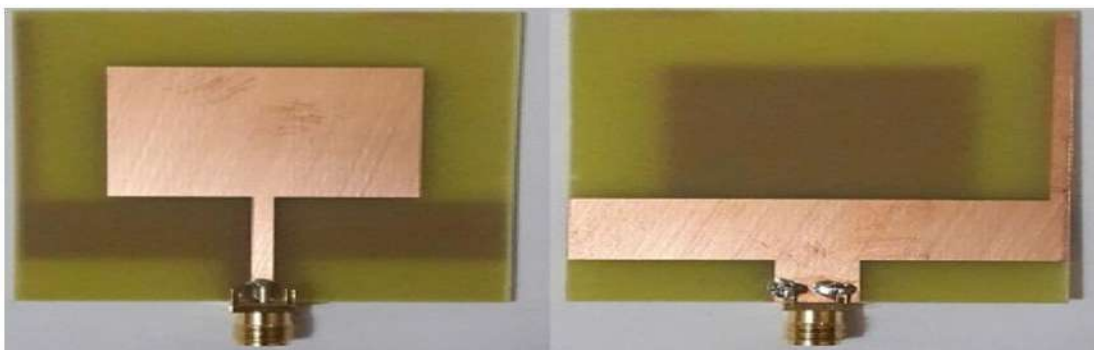


Рисунок 2. Зовнішній вигляд запропонованої антени у другому дослідженні

Було виміряно більше як 200 індивідуальних показників рівня глюкози в крові та відповідні їм зміни резонансної частоти. За допомогою регресійного аналізу згенерованого датасету було отримано коефіцієнт детермінації зі значенням 0,75, що є хорошим результатом [3].

У третьому дослідженні було використано пару *UWB* антен для вимірювання рівня глюкози через мочку вуха. Отримується сигнал, який перетворюється з аналогового в дискретний, а потім використовується в якості даних штучної нейронної мережі *FFBPNN* (*Feed forward back propagation neural network* - нейронна мережа з прямим і зворотним поширенням).

Запропонована конструкція антени забезпечує смугу пропускання 3,23-12 ГГц і коефіцієнт підсилення 6 дБ.

Для оцінки точності антени були використані та порівняні різні алго-

ритми навчання, такі як: алгоритм Левенберга-Марквардта (*LM*), еластичного зворотного поширення (*RP*) та масштабованого спряженого градієнта (*SCG*). Серед них найкращий результат показав алгоритм Левенберга-Марквардта (*LM*) - точність 89,4%. [4].

Таким чином, отримані результати в ході експериментів свідчать, що запропоновані антени підходять для визначення концентрації глюкози в крові.

### **Перелік посилань**

1. Chishti, Abdul Rehman, et al. "Advances in Antenna-Based Techniques for Detection and Monitoring of critical chronic diseases: A Comprehensive Review." *IEEE Access* (2023). [Electronic Resource]. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10254231?denied=> – (date of the application 27.11.2023) – Title from the screen.

2. Megdad, Ayman R., Rabah W. Aldhaeheri, and Nebras M. Sobahi. "A Noninvasive Method for Measuring the Blood Glucose Level Using a Narrow Band Microstrip Antenna." *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)* (2022): 1118-1130. [Electronic Resource]. – URL:

[https://www.researchgate.net/publication/370255402\\_A\\_Noninvasive\\_Method\\_for\\_Measuring\\_the\\_Blood\\_Glucose\\_Level\\_Using\\_a\\_Narrow\\_Band\\_Microstrip\\_Antenna](https://www.researchgate.net/publication/370255402_A_Noninvasive_Method_for_Measuring_the_Blood_Glucose_Level_Using_a_Narrow_Band_Microstrip_Antenna) – (date of the application 27.11.2023) – Title from the screen.

3. Deshmukh, Vidya Vijay, and Suvarna Sandip Chorage. "Non-invasive determination of blood glucose level using narrowband microwave sensor." *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* (2021): 1-16. [Electronic Resource]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/350453788\\_Non-invasive\\_determination\\_of\\_blood\\_glucose\\_level\\_using\\_narrowband\\_microwave\\_sensor](https://www.researchgate.net/publication/350453788_Non-invasive_determination_of_blood_glucose_level_using_narrowband_microwave_sensor) – (date of the application 27.11.2023) – Title from the screen.

4. Islam, Minarul, et al. "Performance Comparison of Non-Invasive Blood Glucose Level using Artificial Neural Network and Ultra-Wide Band Antenna." *2020 Emerging Technology in Computing, Communication and Electronics (ETCCE)*. IEEE, 2020. [Electronic Resource]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/350931106\\_Performance\\_Comparison\\_of\\_Non-Invasive\\_Blood\\_Glucose\\_Level\\_using\\_Artificial\\_Neural\\_Network\\_and\\_Ultra-Wide\\_Band\\_Antenna](https://www.researchgate.net/publication/350931106_Performance_Comparison_of_Non-Invasive_Blood_Glucose_Level_using_Artificial_Neural_Network_and_Ultra-Wide_Band_Antenna) – (date of the application 27.11.2023) – Title from the screen.

### **Анотація**

Найпоширенішим методом моніторингу концентрації глюкози в крові є використання інвазивних глюкометрів, що є незручним та болючим процесом для людей хворих на діабет. У даній тезі представлено три запропоновані авторами конструкції антени для неінвазивного та безпечного вимірювання глюкози.

Ключові слова: Глюкоза, антена, частота, діелектрична проникність

### **Abstract**

The most common method of monitoring blood glucose concentration is the use of invasive glucometers, which is an inconvenient and painful process for people with diabetes. This thesis presents three antenna designs proposed by the authors for non-invasive and safe glucose measurement.

Key words: Glucose, antenna, frequency, dielectric constant

## **ПЕРЕДАВАЧ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З СИСТЕМ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**

*Прокопов Р. О. бакалавр; Мирончук О. Ю. PhD, ст. викладач  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

Телеметрія – передача та запис даних з вимірювальних пристроїв. Телеметричні системи – це сукупність пристроїв, які забезпечують збір сигналів із засобів первинного перетворення, формування телеметричних сигналів, їх передачу по каналу зв'язку, прийом та обробку даних з боку приймача.

Типова телеметрична система містить три основні частини:

- джерело даних, яке зазвичай є датчиком, що перетворює вимірювані параметри в електричні сигнали;
- спосіб передачі даних;
- приймальний пристрій та відновлення переданих даних.

Розробка технології телеметричної системи є досить складним та витратним процесом. Під час розробки телеметричної системи необхідно враховувати безліч параметрів та пройти безліч етапів до її завершення. По перше, необхідно визначити, які змінні необхідно відстежувати. Потім визначається необхідна дальність роботи системи, частота несучого сигналу, енергетика сигналу, будується високорівнева функціональна модель для визначення необхідної логіки та апаратного забезпечення з урахуванням потреб системи. Послідовно перевіряється, яка елементна база доступна на ринку та чи задовольняють вони необхідні параметри системи. Також при розробці системи та схем враховуються зовнішні обмеження, такі як простір, грошові та обчислювальні витрати, доступність/можливість заміни.

Одна з головних частин телеметричної системи – передавач телеметричної інформації. Проаналізувавши декілька методик розробки блоку передачі телеметричної інформації та, виходячи з параметрів, які потрібно забезпечити задля стабільної передачі інформації, обрано одну модель побудови передавача (Рис.1).

В передавач входить модуль формування сигналу, а саме PLL-синтезатор та його периферія, плата керування, для можливості керувати PLL-синтезатором та його вихідною частотою, перший каскад підсилення, плати розгалудження, другий каскад підсилення, плати включення для мікросхем підсилення, вентиля та чотири каскади підсилення включених паралельно, які в результаті попарно сумуються та утворюють два вихідних сигнали потужністю, достатньою для стабільної роботи системи телеметрії на заданій дальності.

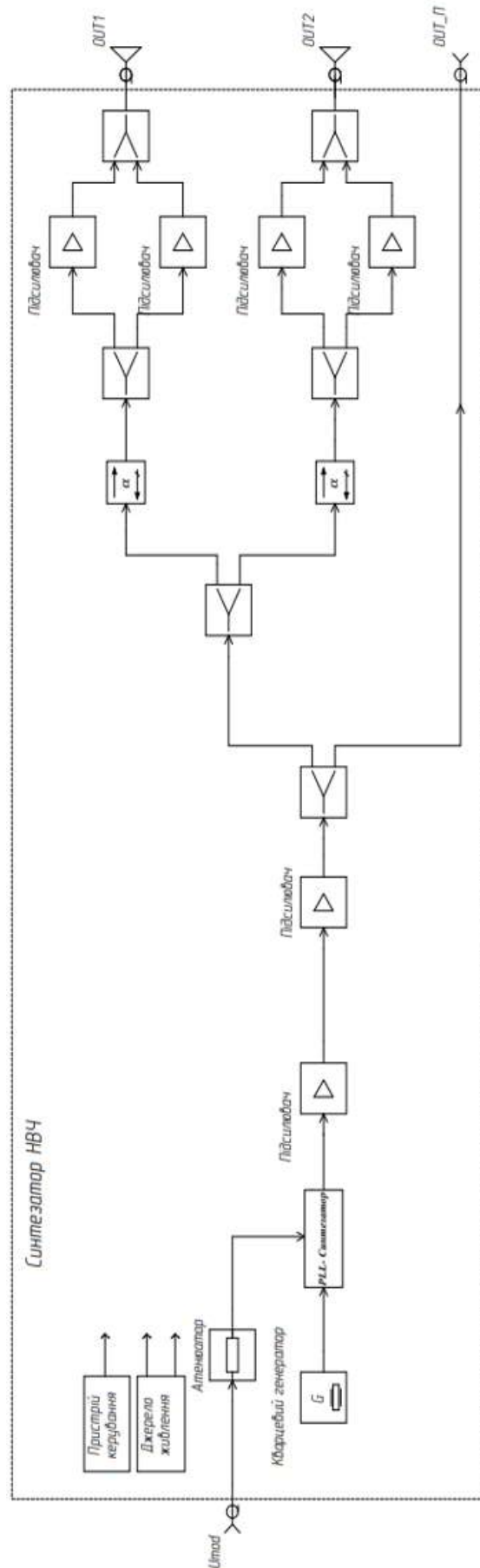


Рисунок 1. Функціональна схема передавача телеметричної інформації

Інформація, яка надходить з систем та датчиків літального апарату, обробляється за допомогою мікроконтролера, а саме STM32 [1], який в свою чергу надсилає інформацію у вигляді коротких імпульсів на передавач, де за допомогою мікросхеми ФАПЧ-синтезатора та опорного кварцового генератора утворюється частота, на яку налаштований приймач на наземній станції.

В якості ФАПЧ-синтезатора було обрано мікросхему ADF5355 [2], яка реалізує схему синтезатора з фазовим автопідстроюванням частоти на основі подільника частоти з дробовим та цілим коефіцієнтом поділу. При цьому використовується зовнішній фільтр петлі ФАПЧ і опорний генератор. Високочастотний широкосмуговий ГУН здатний формувати частоти в діапазоні від 6.8 ГГц до 13.6 ГГц на одну радіочастотну вихіді. А за рахунок кількох подільників частоти на інших виходах можна отримати частоти в діапазоні від 54 МГц до 6.8 ГГц.

Сигнал, утворений ФАПЧ-синтезатором та частотно промодульований імпульсами, які надійшли від STM32 потрапляють на подальші каскади підсилення, яке забезпечують мікросхеми HMC487 [3]. 2-ватні підсилювачі з широким динамічним діапазоном забезпечують роботу в широкій частотній смузі, підсилення 20 дБ та +33 дБм потужності насичення, яке надасть стабільну передачу сигналу на далеку відстань.

### **Перелік посилань**

1. Головна сторінка ST. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.st.com/content/st\\_com/en.html](https://www.st.com/content/st_com/en.html)
2. Офіційна документація на ADF5355 від AD. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/en/products/adf5355.html>
3. Офіційна документація на HMC487 від AD. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/en/products/hmc487.html>

### **Анотація**

Проведено аналіз телеметричних систем в літальних апаратах, існуючих варіантів їх побудови, методики розробки передавача телеметричної інформації. В результаті аналізу обрана модель побудови передавача телеметрії, розроблена її функціональна схема, підібрана елементна база, яка забезпечить виконання задач, поставлених перед цією системою.

Ключові слова: телеметрія, телеметрична система, передача та обробка інформації, передавач телеметрії.

### **Abstract**

An analysis of telemetry systems in aircraft, existing options for their construction, methods of development of a telemetry information transmitter was carried out. As a result of the analysis, the telemetry transmitter construction model was selected, its functional scheme was developed, and the element base was selected, which will ensure the performance of the tasks set before this system.

Key words: telemetry, telemetry system, transmission and processing of information, telemetry transmitter.

## **РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ**

*Сидоров Д. В. студент; Навроцький Д. О. к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

Сьогодні електрична енергія є необхідною умовою для різних видів діяльності. Майже всі використовувані електронні пристрої потребують електричної енергії для роботи. Електрична мережа є одним з найважливіших елементів будь-якого приміщення. Вона забезпечує живлення електроприладів та обладнання, які необхідні для комфортного проживання та роботи [1]. Internet of Things (IoT) представляє собою концепцію, в якій об'єкти навколишнього середовища, включаючи електроніку, прилади, датчики та інші речі, здатні спілкуватися між собою через мережу Інтернет, яку можна використовувати для автоматизації будинків, управління енергоспоживанням. Одним із важливих аспектів IoT у житловому секторі є моніторинг електричної мережі [2].

Моніторинг електричної енергії - це рутинний процес збору або вимірювання вихідних даних, що визначає рівень споживання електричної енергії в режимі реального часу. Для адекватного моніторингу електричної мережі необхідне розуміння основних параметрів, які характеризують її роботу. Напруга: можна інтерпретувати, як різниця потенційної енергії між двома точками, що вимірюється у вольтах. Струм: являє собою потік зарядів (електронів) у провіднику. Потужність: це кількість енергії, що передається мережею за одиницю часу. Енергія: вимірює загальну кількість переданої електроенергії і залежить від потужності та часу. Частота: вказує на кількість циклів змінного струму за секунду. Коефіцієнт потужності: відображає співвідношення між активною потужністю (реальною потужністю, що використовується для виконання роботи) і повною потужністю. Важливо враховувати, що саме система моніторингу електроенергії це більш складне поняття, ніж пристрій для моніторингу електроенергії. Вона охоплює різноманітні апаратні та програмні складові, що спільно забезпечують збір, аналіз та відображення даних про енергоспоживання.

Система моніторингу складається з декількох компонентів, включаючи:

- Пристрій для вимірювання електроенергії: цей компонент відповідає за збір даних про споживання електроенергії.
- Система зберігання даних: цей компонент відповідає за зберігання даних, зібраних пристроєм для вимірювання електроенергії.
- Система візуалізації: цей компонент відповідає за відображення да-

них, зібраних системою моніторингу.

– Система управління: цей компонент відповідає за управління споживанням електроенергії.

Апаратна частина складається з модуля вимірювання PZEM004T з мікроконтролером NodeMCU.

Датчик PZEM-004T - це апаратне забезпечення, яке функціонує для вимірювання напруги, струму, активної потужності, частоти, коефіцієнта потужності. Модуль без функції відображення, дані зчитуються через інтерфейс TTL. Плата PZEM-004T має розміри  $3,1 \times 7,4$  см. Модуль PZEM-004T намотується на котушку СТ діаметром 3 мм, яка використовується для вимірювання струму з максимальним значенням 100А [3].

Модуль NodeMCU ESP8266 є відгалуженням для розробки на основі модуля IoT-платформи ESP8266 ESP-12. Функціонально цей модуль схожий на платформу Arduino, але має вбудований Wi-Fi модуль для з'єднання з Інтернетом. Він обладнаний кількома виводами введення/виведення, що дозволяє використовувати його як інструмент IoT-проектів [4].

Програмна частина складається з Home Assistant та ESPHome – це два інструменти для створення та налаштування системи розумного будинку.

Home Assistant – це платформа управління розумним будинком з відкритим вихідним кодом. Він інтегрує різні пристрої та послуги в єдину централізовану систему. Home Assistant надає великі можливості налаштування та дозволяє створювати складні автоматизовані правила. ESPHome — це інструмент для створення практично будь-яких пристроїв або датчиків на основі недорогих Wi-Fi плат ESP8266/ESP32 без знань програмування. Він зчитує файл конфігурації YAML і створює спеціальне мікропрограмне забезпечення, яке встановлює на ESP. Пристрої або датчики, додані в конфігурації ESPHome, автоматично відображаються в інтерфейсі Home Assistant [5].

У ході дослідження було розроблено систему моніторингу електричної мережі в приміщенні, яка відповідає актуальним потребам і вимогам. Мета роботи полягала не лише в розробці ефективної системи моніторингу, але й у створенні гнучкої та інтегрованої платформи. Застосування концепції Internet of Things надає системі можливість взаємодії з іншими "розумними" пристроями у приміщенні. Це розширює горизонти використання, дозволяючи впроваджувати розроблену систему моніторингу електричної мережі в умови сучасних концепціях "Smart Home".

### **Перелік посилань**

1. Stuart Borlase. Smart Grids Infrastructure, Technology, and Solutions [Електронний ресурс] / Stuart Borlase // 31 January 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/b13003/smart-grids-stuart-borlase>.
2. Koteswara Rao Ponnuru. Design and Implementation of Indoor Environment Monitoring and Control System [Електронний ресурс] / Koteswara Rao Ponnuru // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2019. – Режим дос-



тупу до ресурсу: <https://www.ijert.org/research/design-and-implementation-of-indoor-environment-monitoring-and-control-system-IJERTV8IS030108.pdf>.

3. Electrical Energy Monitoring and Control System In Boarding Rooms Based On The Internet of Things [Електронний ресурс] // International Journal of Engineering Science and Information Technology. – 2022. – Режим доступу до ресурсу:

[https://www.researchgate.net/publication/366388832\\_Electrical\\_Energy\\_Monitoring\\_and\\_Control\\_System\\_In\\_Boarding\\_Rooms\\_Based\\_On\\_The\\_Internet\\_of\\_Things](https://www.researchgate.net/publication/366388832_Electrical_Energy_Monitoring_and_Control_System_In_Boarding_Rooms_Based_On_The_Internet_of_Things).

4. Neil Cameron. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices / Neil Cameron., 2020.

5. Marco Carvalho. Building Smart Home Automation Solutions with Home Assistant / Marco Carvalho., 2023.

### **Анотація**

Розроблено систему моніторингу електричної мережі в приміщенні, яка відповідає актуальним потребам і вимогам. Застосування концепції Internet of Things надає системі можливість взаємодії з іншими "розумними" пристроями у приміщенні.

Ключові слова: Інтернет речей, електромережа, моніторинг.

### **Abstract**

A system for monitoring the electrical network in the room has been developed, which meets current needs and requirements. Application of the Internet of Things concept gives the system the ability to interact with other "smart" devices in the room.

Keywords: Internet of Things, power grid, monitoring.

## МОДЕЛЮВАННЯ OFDM СИГНАЛІВ

*Шпилька М. В. магістрант; Мирончук О.Ю. PhD, ст.викладач  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

Ортогональне частотне мультиплексування (з англ. Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) є технологією модуляції та розподілу спектру, яка широко використовується у бездротових комунікаціях, таких як Wi-Fi, LTE, WiMAX, та інших стандартах передачі даних. Технологія OFDM стійка до частото-селективних замирань і дозволяє з високою ефективністю використовувати радіочастотний спектр [1]. Однак висока спектральна ефективність вимагає проведення якісної синхронізації носійної і тактової частот передавача та приймача [2].

Суть технології OFDM полягає у розбитті послідовного потоку даних на паралельні підпотоки з подальшою передачею на ортогональних підносійних частотах. При цьому сигнал на кожній із підносійних частот модулюється фазовою маніпуляцією або квадратурною модуляцією високих порядків.

Основою для формування OFDM сигналів є зворотне дискретне перетворення Фур'є (ЗДПФ). Формування OFDM сигналів виконується посимвольно. Над вектором комплексних відліків, який представляє собою точки із модуляційного сузір'я багатопозиційної модуляції на кожній із підносійних OFDM символу, виконується операція ЗДПФ, результатом якої є вектор комплексних відліків сформованого OFDM символу в часовій області. Для подальшої передачі цей сигнал переноситься на високу частоту за допомогою квадратурного модулятора. Властивості ЗДПФ забезпечують ортогональність підносійних частот. Кількість підносійних частот визначається необхідною смугою сигналу, частотою дискретизації та розміром вікна ЗДПФ. Структурна схема вищеприписаного підходу зображена на рис. 1.

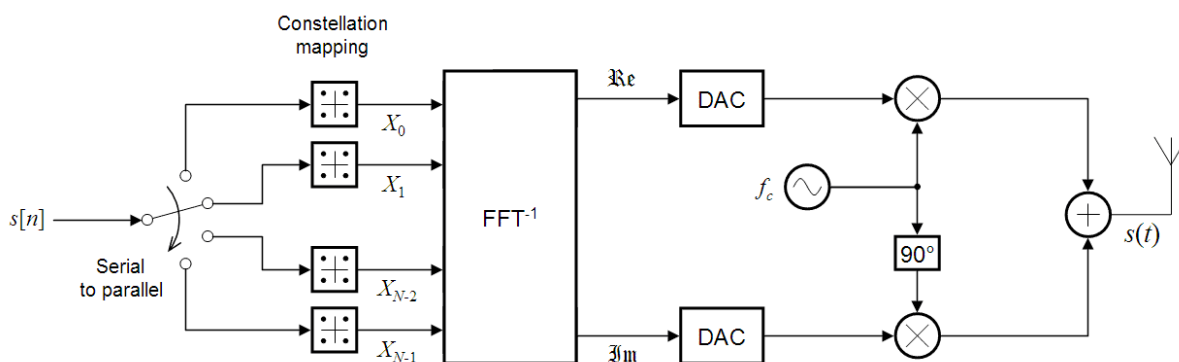


Рисунок 1. Принцип формування OFDM символу

На практиці в OFDM символи не всі підносійні частоти використовуються для передачі даних. Частина підносійних на краях спектру OFDM символу використовується в якості захисного інтервалу. На цих підносійних передаються нулі. Захисний інтервал потрібен для усунення впливу OFDM сигналу на користувачів частотних смуг по сусідству і навпаки. Ще частина підносійних використовується для передачі пілотних сигналів, які представляють собою інформацію відому як передавачу так і приймачу. Пілотні сигнали використовуються для оцінювання характеристик каналу передачі інформації та реалізації схем синхронізації. Приклад структури OFDM символу в частотній області зображено на рис. 2.

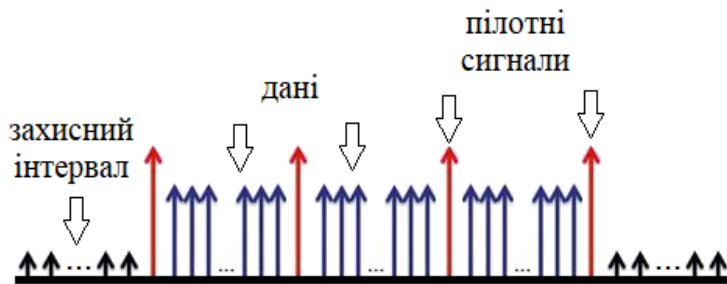


Рисунок 2. Структура OFDM символу в частотній області

Розміщення пілотних сигналів в структурі одного OFDM символу та послідовності OFDM символів залежить від умов, в яких повинна працювати система зв'язку [3]. Типові

схеми розміщення пілотних сигналів зображено на рис. 3

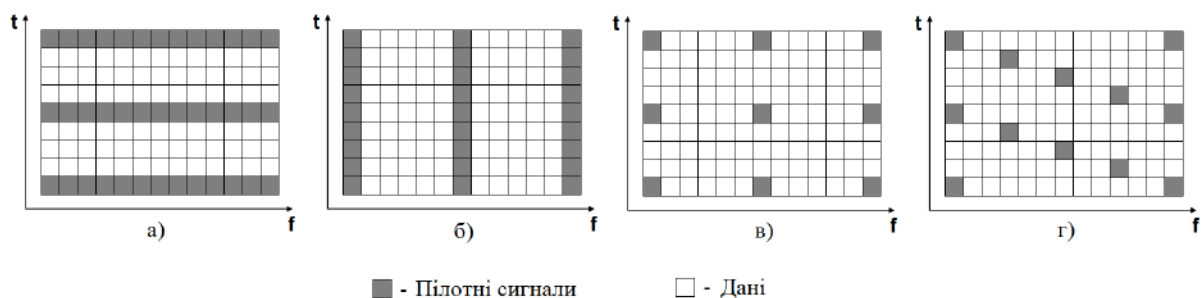


Рисунок 3. Типові схеми розміщення пілотних сигналів: а) Блоковий тип; б) Комбінований тип; в) Прямокутна решітка; г) Паралелограмна решітка

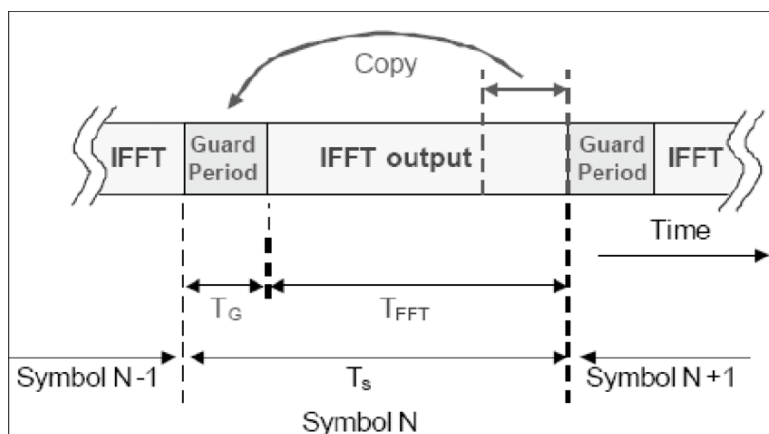


Рисунок 4. Циклічний префікс (Guard Period) в OFDM сигналі

В OFDM системах зв'язку після виконання ЗДПФ перед перенесенням на високу частоту виконується процедура інкапсуляції циклічного префіксу (Рис. 4). Циклічний префікс включає в себе частину сигналу, яка повторюється з кінця символу і додається перед почат-

ком того ж символу. Це забезпечує деяку "захисну" зону між символами, яка допомагає уникнути міжсимвольного впливу (з англ. Inter-Symbol Interference - ISI) при передачі через канал зі затримкою.

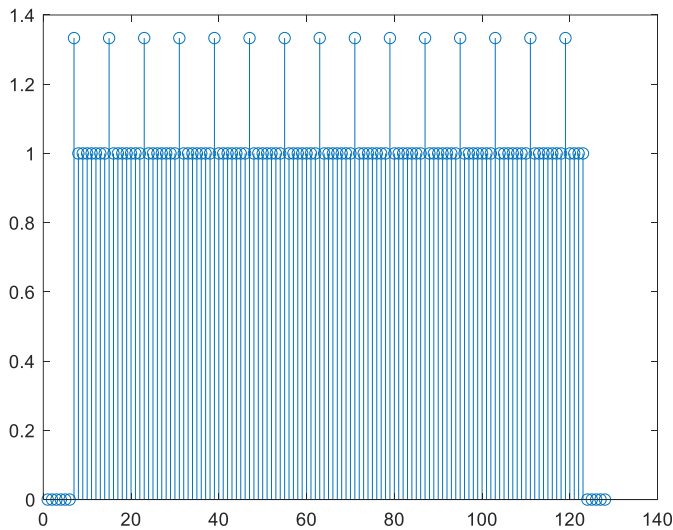


Рисунок 5. Структура змодельованого OFDM символу в частотній області

На рис. 5 зображено OFDM символ в частотній області, змодельований у середовищі автоматизованого проектування Matlab з наступними параметрами: загальна кількість підносійних – 128; кількість підносійних захисного інтервалу – [6; 5]; крок розміщення підносійних з пілотними сигналами – 8; модуляція на підносійних з пілотними сигналами – BPSK;

модуляція на підносійних з даними - QPSK.

### Перелік посилань

1. Tzi-Dar Chiueh, Pei-Yun Tsai, I-Wei Lai, Baseband Receiver Design for Wireless MIMO-OFDM Communications Second Edition, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd. 2012.
2. Kotlyarov V., Myronchuk O. and Shpylka O. "Mathematical description and formalization types of distortion in a digital communication channel with OFDM-signals". Visnyk NTUU KPI Serii A - Radiotekhnika Radioaparaturbuduvannia, (66), pp. 10-18, 2016. doi: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2016.66.10-18>
3. O. Myronchuk, O. Shpylka, D. Strukov and A. Petrovskyi, "Neural Network for Channel Frequency Response Estimation in OFDM Communication Systems," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 54-58, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238631

### Анотація

Розглянуто принципи формування OFDM сигналів. Проаналізовано структуру OFDM сигналів в частотній та часовій областях. Виконано моделювання OFDM символу в середовищі автоматизованого проектування Matlab.

Ключові слова: OFDM, модуляція, цифрові системи зв'язку.

### Abstract

The principles of formation of OFDM signals are considered. The structure of OFDM signals in the frequency and time domains is analyzed. Simulation of the OFDM symbol in Matlab automated design environment was carried out.

Keywords: OFDM, modulation, digital communication systems.

## **Секція 2. Інформаційні технології та телекомунікаційні системи.**

*Хмарні технології, інтернет речей, вбудовані системи, смарт системи, телекомунікаційні системи та мережі, теоретичні основи обробки та передачі інформації в телекомунікаційних системах, радіолокація, кібербезпека та захист інформації, системи штучного інтелекту, нейронні мережі.*

**Керівник секції:** Сергій Жук

**Секретар секції:** Вячеслав Чмельов

**ШИРОКОСМУГОВИЙ ГОФРОВАНИЙ РУПОР  
З ПОСТІЙНОЮ ВІСЕСИМЕТРИЧНОЮ ШИРИНОЮ  
ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ТА НИЗЬКИМ РІВНЕМ  
БІЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ  
ДЛЯ ДІАПАЗОНУ РОБОЧИХ ЧАСТОТ 8 – 12 ГГц**

*Саратов Є. М. аспірант; Деружко Б. М. аспірант;  
Дубровка Ф. Ф. д.т.н., професор*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

Дзеркальні антени сучасних систем супутникових телекомунікацій, дистанційного зондування землі, радіоелектронної боротьби, радіоастрономії та ін. вимагають створення опромінювачів, здатних забезпечити в широкому робочому діапазоні частот: роботу на ортогональних поляризаціях; симетричність та постійність ширини діаграми спрямованості; низький рівень кросполяризаційного та бічного випромінювання; низькі зворотні втрати. Постійну ширину діаграму спрямованості і низький рівень зворотних втрат в ультраширокій смузі частот можуть забезпечити логоперіодичні антени. Але вони не забезпечують вісесиметричність діаграми спрямованості, низьких рівнів крос-

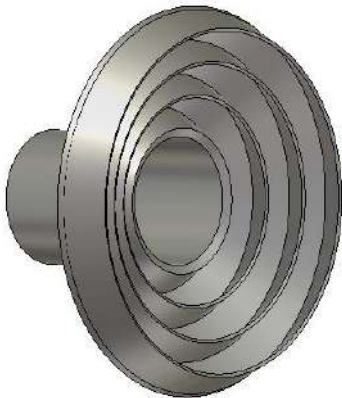


Рисунок 1. 3D модель антени

поляризаційного та бічного випромінювання, а також фіксованого фазового центру.

Зазначеним вище вимогам можуть задовольнити гофровані рупори, які працюють на гібридній хвилі HE<sub>11</sub> і забезпечують вісесиметричність діаграми спрямованості та низькі рівні кросполяризаційного та бічного випромінювання [1], [2]. Однак залишається питання забезпечення постійності діаграми спрямованості та фазового центру в широкій робочій смузі частот.

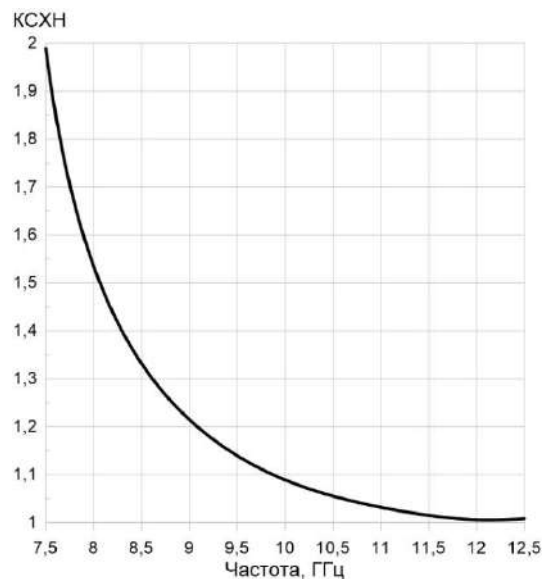


Рисунок 2. Частотна залежність КСХН

У цій роботі означене питання вирішується шляхом вибору гофрованого рупора з широким кутом розкриття і гофрами, перпендикулярними до стінок рупора (рис. 1).

Для досягнення поставлених цілей проведено багатопараметричну оптимізацію характеристик випромінювання та узгодження антени в широкому робочому діапазоні частот алгоритмом Нелдера–Міда (метод симплексного спуску) у програмному середовищі CST Microwave Studio. Основними параметрами що оптимізувалися були: кут розкриття рупора; кількість гофр та їх глибина і ширина. В результаті оптимізації отримано компактну структуру, що має 3 гофри та габаритні розміри 51,1 x 83,5 мм, кут розкриття дорівнює 120 градусів.

Оптимізовану частотну залежність КСХН антени представлено на рис. 2. Видно, що КСХН не перевищує значення 1,6 у всьому робочому діапазоні частот. Досягнуті частотні залежності ширин діаграм спрямованості на рівні половинної потужності в Е,

Н і діагональній площинах та коефіцієнта підсилення зображено на рис. 3. Видно, що відхилення ширин діаграм спрямованості в діагональній площині від  $45^\circ$  не перевищує  $\pm 2,5^\circ$  в робочому діапазоні частот. Максимальна різниця між ширинами діаграм спрямованості в Е- і Н- площинах спостерігається на частоті 11 ГГц і дорівнює  $3,6^\circ$ . Коефіцієнт підсилення (КП) антени знаходиться в межах 11,8 – 12,6 дБ. Діаграми спрямованості у трьох площинах на частотах 8, 10 та 12 ГГц зображено на рис. 4. Рівень бічного випромінювання не перевищує -30 дБ.

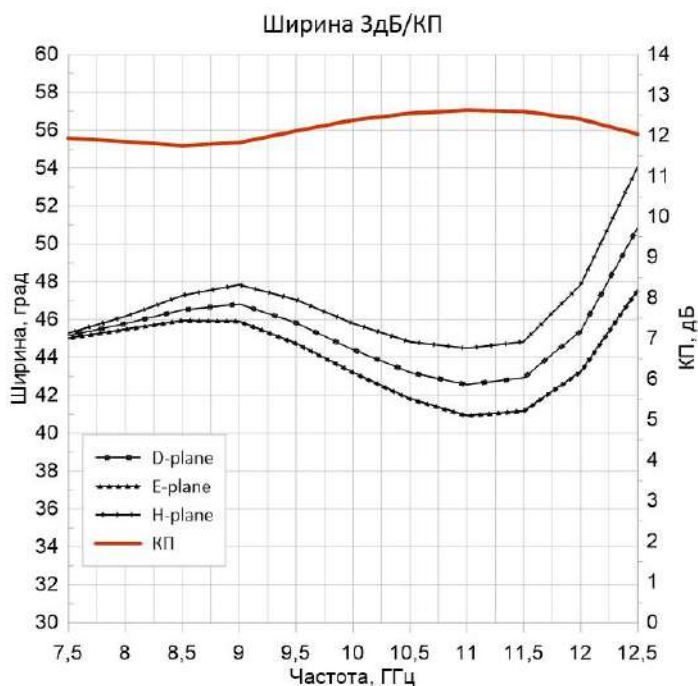


Рисунок 3. Частотна залежність ширин діаграми спрямованості у трьох площинах та коефіцієнта підсилення антени

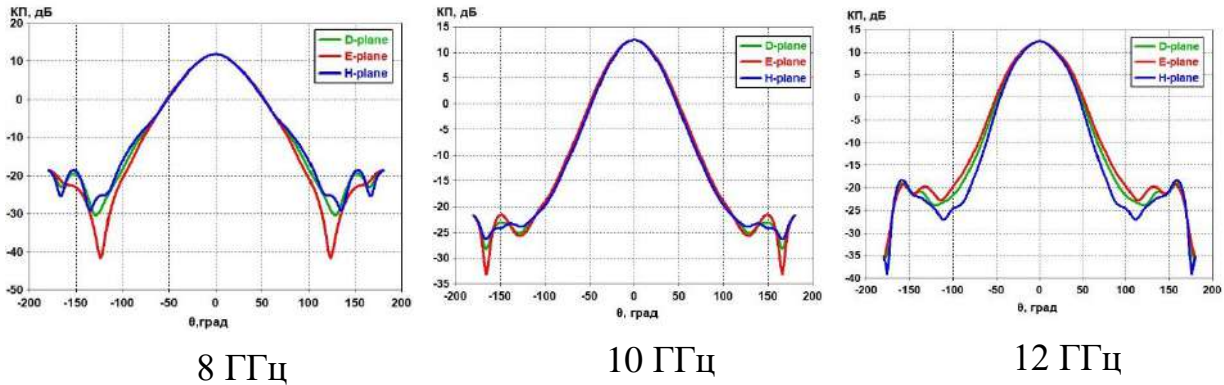


Рисунок 4. Діаграми спрямованості антени у трьох площинах на різних частотах

Таким чином, у результаті виконаних моделювання та багатопараметричної оптимізації розроблено широкопasmовий гофрований рупор для робочого діапазону частот 8–12 ГГц, який забезпечує вісесиметричну діаграму спрямованості з майже постійною шириною  $45^\circ$  на рівні половинної потужності (відхилення не перевищує  $\pm 2,5^\circ$ ) та низький рівень бічного випромінювання (менше -30 дБ).

### Перелік посилань

1. Olver A. D., Clarricoats P. J. B., Kishk A. A. Microwave Horns and Feeds/ A. D. Olver, P. J. B. Clarricoats, A. A. Kishk // The Institution of Electrical Engineers, IEEE Electromagnetic Waves. — 1994. — №39. — 483 p.
2. A. W. Love, Electromagnetic Horn Antennas, New York, IEEE Press, 1976.
3. P. J. B. Clarricoats and A. D. Olver, Corrugated Horns for Microwave Antennas, London, IEE, 1984.

### Анотація

Наведено результати моделювання, чисельних досліджень та оптимізації характеристик широкопasmового гофрованого рупора з вісесиметричною та постійною шириною діаграми спрямованості  $45^\circ$  на рівні -3дБ, призначеного для роботи в діапазоні частот 8–12 ГГц.

Ключові слова: гофровані рупори, діаграма спрямованості, коефіцієнт підсилення, рівень бічного випромінювання.

### Abstract

The results of modeling, numerical research and optimization characteristics of the wideband corrugated horn with a constant beamwidth designed to operate in the frequency range of 8–12 GHz, are presented.

Key words: corrugated horns, directional diagram, amplification factor, side radiation level.



**Секція 3. Електроніка, нанотехнології, біомедичні системи, радіовимірювання.**

*Електронні матеріали, наноелектроніка та нанотехнології, теорія та практика радіовимірювань, радіоелектроніка біомедичних технологій, мікроелектроніка, ультразвукова техніка, технічна діагностика та методи неруйнівного контролю, оптичні системи та фотоніка.*

**Керівник секції:** Андрій Мовчанюк

**Секретар секції:** Ірина Сушко

## **GALLIUM NITRIDE SEMICONDUCTORS: TRANSFORMING THE LANDSCAPE OF POWER CONVERTER PERFORMANCE**

*Burkovskiy Y., Zinkovsky Y., Dr. Sci. (Engin.), Professor*

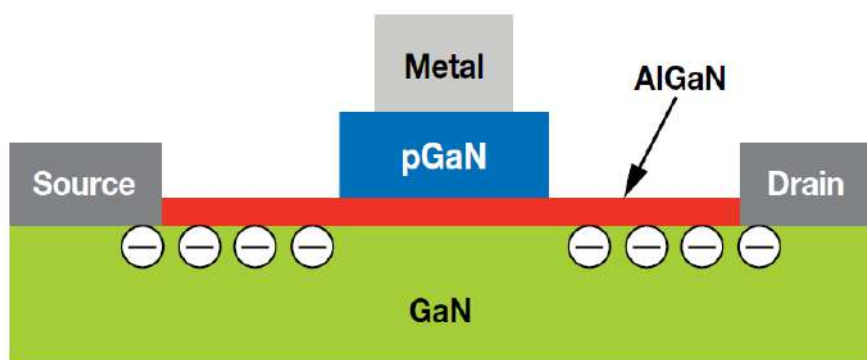
*The National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine*

Silicon-based MOSFET devices are currently the standard in power switches for various power applications, including AC/DC and DC/DC supplies, and motor controls, covering a broad range of power levels from mere tens of watts to several thousands of watts. These devices have undergone continuous enhancements in critical parameters such as on-resistance  $R_{DS(ON)}$ , voltage ratings, switching speeds, packaging, and other features. However, the pace of improvements in silicon MOSFETs has reached a plateau, largely because their performance is now approaching the theoretical maximum, as dictated by the fundamental physics inherent to these materials and processes. This situation underscores the need to explore alternative wide bandgap materials like gallium nitride GaN and silicon carbide (SiC) to push the boundaries of power switch technology further.

Gallium Nitride (GaN), a wide bandgap semiconductor, has emerged as a highly effective solution for high-power transistors, especially at elevated temperatures. Initially gaining prominence in the 1990s for its application in blue light-emitting diodes (LEDs), GaN's use has since expanded to encompass semiconductor power devices, RF components, lasers, photonics, and sensor technology, showcasing its versatile potential. GaN's superior properties have made it a material of choice in these areas, underscoring its broad applicability [1].

The development of enhancement-mode GaN transistors, known as GaN FETs, in 2006 marked a pivotal advancement. These transistors are produced by growing a GaN layer on an Aluminum Nitride (AlN) buffer layer atop standard silicon wafers. This process, achieved through metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD), aligns GaN transistor fabrication with the existing silicon component manufacturing infrastructure. This compatibility maintains cost-efficiency and eases integration due to the enhanced transistor performance, bridging the gap between new semiconductor materials and traditional manufacturing methods (Fig.1) [2].

A critical property of semiconductor materials is their bandgap, which determines their electrical conductivity. GaN's bandgap is 3.4 eV, significantly wider than silicon's 1.12 eV (Table 1). This attribute allows GaN to tolerate higher voltages and temperatures compared to silicon MOSFETs, making it ideal for high-power and high-frequency devices, as well as in optoelectronics, where these properties are crucial.



**Figure 1.** GaN on an Aluminum FET structure

Table 1

GaN's efficiency in electron conduction and resilience to high electric fields surpasses silicon in terms of speed, temperature tolerance,

Material parameters			
Parameters	Si	GaN	SiC
Bandgap $E_g$ , eV	1.12	3.39	3.26
Critical Field $E_{crit}$ , MV/cm	0.23	3.3	2.2
Electron Mobility $\mu_n$ , $cm^2/V \cdot s$	1400	1500	950
Permittivity, $\epsilon_r$	11.8	9	9.7
Thermal Conductivity $\lambda$ , W/cm $\cdot$ K	1.5	1.3	3.8

and power handling. Consequently, GaN is increasingly supplanting silicon in various power conversion and RF applications. This transition is a testament to GaN's superior performance capabilities in these critical areas.

GaN's advantages extend beyond its electrical properties. Its fast-switching speed permits higher switching frequencies, leading to smaller passive component sizes and, in some cases, eliminating the need for mechanical heatsinking. This contributes to a significant reduction in size and weight in the final product when utilizing GaN FETs and ICs. The high switching performance and miniaturization offered by GaN result in unprecedented power density and efficiency across numerous applications, revolutionizing product design.

An important aspect of device operation is heat dissipation. GaN FETs demonstrate exceptional thermal performance, even with a smaller FET area compared to equivalent  $R_{DS(on)}$  MOSFETs. For chip-scale GaN transistors, thermal resistance to the case ( $R_{\theta JC}$ ) is lower than that of silicon devices, ensuring efficient thermal conduction [3]. This improved thermal management is pivotal in maintaining device reliability and performance.

The GaN-based switching component ecosystem has evolved substantially, comprising a broad array of devices, sophisticated modeling and simulation tools, specialized drivers, comprehensive application support, and extensive field experience. These developments propel GaN devices into performance realms beyond current and foreseeable MOSFET capabilities, marking a significant technological evolution.

However, the advanced capabilities of GaN devices require careful management of their operational characteristics, such as precise control over turn-on/off dynamics, gate drive requirements, voltage and current slew rates, current levels, noise sources and coupling, and layout considerations [4]. Therefore, integrating GaN technology in power-switching applications necessitates a nuanced, detailed engineering approach to maximize its potential while addressing associated challenges. This careful integration strategy is essential for harnessing GaN's full capabilities in various applications.

### References

1. Strydom, J., Glaser, J., Lidow, A., Rooij, M. d. and Reusch, D., (2019). *GaN Transistors for Efficient Power Conversion*. Wiley & Sons, Incorporated, John.
2. Lidow, A., (2021). *GaN Power Devices and Applications*. Efficient Power Conversion Corporation.
3. Albarbar, A. and Batunlu, C., (2018). *Thermal Analysis of Power Electronic Devices Used in Renewable Energy Systems*. Springer.
4. Erickson, R. W. and Maksimović, D., (2020). *Fundamentals of Power Electronics*. Springer.

### Abstract

This report reviews Gallium Nitride (GaN) technology advancements, highlighting its revolutionary impact on power converter technology. It begins by explaining GaN's fundamental properties, such as higher electron mobility, wider bandgap, and enhanced thermal conductivity, which outperform traditional silicon and improve GaN device performance in high-frequency applications. The article primarily focuses on GaN's role in enhancing power converters, detailing improvements in efficiency, size, and thermal management. It also explores the broader implications of transitioning to GaN in power electronics, suggesting a future of redefined efficiency and performance standards. The review comprehensively presents the current and potential future impacts of GaN semiconductor technology on power converter performance.

**Keywords:** Gallium Nitride (GaN), power converters, wide bandgap semiconductors, high efficiency

### Анотація

У цій доповіді розглядаються досягнення у сфері застосування широкозонних напівпровідників таких як нітрид галію (GaN) та його вплив на перетворювачі електричної енергії. В ході доповіді були розглянуті фундаментальні властивості нітриду галію, такі як висока рухливість електронів, ширша заборонена зона та підвищена теплопровідність, які перевершують такі у звичайних кремнієвих напівпровідників. Як наслідок, це підвищує ефективність роботи GaN транзисторів у високочастотних перетворювачах у порівнянні з кремнієвими MOSFET аналогами. Стаття в першу чергу зосереджена на ролі широкозонних напівпровідників у вдосконаленні перетворювачів енергії, а саме їх КПД, розміру та температурних режимів. Огляд представляє поточний і потенційний майбутній вплив застосування широкозонних напівпровідників, таких як нітрид галію та карбід кремнію, на ефективність, габарити та тепловиділення високочастотних перетворювачів енергії.

**Ключові слова:** нітрид галію (GaN), силові перетворювачі, широкозонні напівпровідники, висока ефективність

## **APPLICATION OF NUMERICAL OPTIMIZATION METHODS IN SOFTWARE TO ENHANCE THE RELIABILITY OF ELECTRONIC DEVICES**

*Nikitchuk A. V.*

*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine*

In the modern world, where electronics permeates every sphere of life, the importance of the reliability of electronic equipment becomes paramount. This presentation is dedicated to exploring numerical optimization methods aimed at enhancing the reliability of electronic devices.

There are various numerical optimization methods that can be utilized to improve reliability. Alongside general principles of numerical optimization, emphasis is placed on selecting the optimal method for specific tasks. Random search methods emerge as simple yet effective optimization techniques. The main idea is to randomly generate solutions to a task and evaluate their effectiveness to determine the optimal outcome. One of the advantages of this method is its weak dependence on the initial variant, making it applicable in various fields where maximizing or minimizing a specific objective function is necessary.

Basic stages of the random search method:

- Initialization. Initial generation of random solutions or points in the parameter space, representing the placement of electronic components on the PCB.
- Evaluation of the objective function. Each generated solution is assessed using the objective function, which determines the effectiveness of the component placement.
- Selection of the best solution. The solution with the best (minimum or maximum) value of the objective function is chosen.
- Update of positions. Updating points in the parameter space to determine new placements of components.
- Repetition. The process is repeated until a specified accuracy is achieved or another stopping criterion is met.

There are many variations of random search, and each has its own characteristics:

- Simple/canonical random search. In this method, points are randomly generated within the specified parameter space. It can be applied in situations where there are no clear constraints or structures in the objective function.
- Random search with a fixed step size. A method where the step size in generating a new solution remains constant throughout the optimization process.
- Random search with an adaptive step size. Involves dynamically changing search parameters based on the results of previous iterations.
- Concentration methods. Concentrating random points around the current best position to improve convergence.

– Random search with interval reduction. Involves narrowing the search area (interval) during the algorithm's execution, allowing for a more efficient approximation of the result towards a potential optimum.

For the analysis of electronics reliability, the use of a physics-of-failure approach and computer modeling with the use of software systems is widespread [1, 2]. The development of software that applies numerical optimization methods to improve the reliability of electronic equipment includes the following key stages:

– Problem definition. This could involve minimizing the average temperature of electronic structure elements, maximizing the product of their probability of failure-free operation, or other parameters.

– Optimization method selection. Considering the previous points on various methods, it is crucial to determine which method is best suited for enhancing reliability.

– Programming and implementation. Writing code to implement the chosen optimization method involves creating methods for computing the objective function (OF), generating new solutions, evaluating and selecting the best solutions, as well as any other stages specific to the chosen method.

– Conducting tests to verify the correctness and efficiency of the developed software.

– Performance optimization. If the software proves to be inefficient or slow in performing the assigned task, it is necessary to refine the implementation of the chosen optimization method or, if needed, replace it with another.

The use of the interval reduction random search method in the developed software demonstrated significant results in optimizing the reliability of a test example of a PCB with nine elements on it (Fig. 1). Each optimization step involved the analysis of 100 sets of parameters, indicating a high accuracy and representativeness of the process.

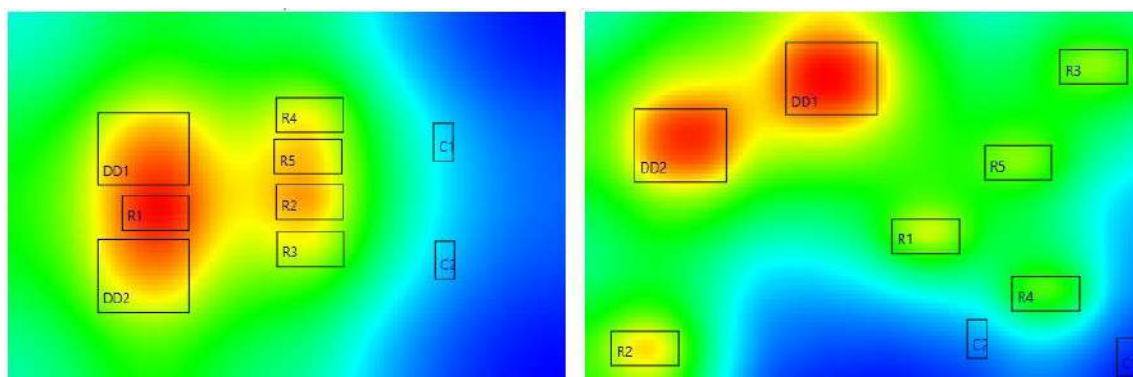


Figure 1. Example of PCB topology before optimization (left) and after optimization (right)

The optimization process was successfully completed upon reaching the stopping criterion – a change in the objective function less than 0.001. It is important to note that on a PC with an Intel Core i5 2.8 GHz processor, the entire optimization process, including the calculation of temperatures and reliability indicators [3] for each topology variant, took only 40.42 seconds. This makes

this method efficient and suitable for real-world applications in the field of improving the reliability of electronic devices.

Prior to the optimization, the probability of failure-free operation for 120,000 hours was relatively low – 0.166. However, through optimization, it was successfully increased by more than 36% to 0.227, demonstrating the effectiveness of the developed software.

It is essential to understand that the efficiency of this method may depend on the specific conditions of the task. There are cases where changing the placement of certain elements, such as connectors, sensors, microchips, is not permissible. To address this, the optimization algorithm was modified to allow for fixing the position of selected elements. This may limit the search space and lead to getting stuck in local extrema. Therefore, the developed software includes an analysis and validation of the obtained results to ensure their adequacy and suitability for application.

### References

1. Physics-of-failure and computer-aided simulation fusion approach with a software system for electronics reliability analysis / Bo Sun [et al.] // *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. — 2020. — Vol. 22, no. 2. — P. 340–351. doi: 10.17531/ein.2020.2.17.
2. Ma K. New Approaches to Reliability Assessment: Using physics-of-failure for prediction and design in power electronics systems / Ke Ma, Huai Wang, Frede Blaabjerg // *IEEE Power Electronics Magazine*. — 2016. — Vol. 3, no. 4. — P. 28–41. doi: 10.1109/MPEL.2016.2615277.
3. Uvarov B. M. Radioelectronic Apparatus Design with Optimal Reliability Indicators / B. M. Uvarov, A. V. Nikitchuk // *Visnyk NTUU KPI Serii A - Radiotekhnika*. — 2018. — №75. — P. 48–53. doi: 10.20535/RADAP.2018.75.48-53.

### Abstract

The use of numerical optimization methods in software to enhance the reliability of electronic devices is explored. Various modifications of the random search method are highlighted. The experimental results are provided, confirming that the application of random search optimization methods in the developed software leads to a significant improvement in the reliability of electronic devices. For tasks requiring the fixed positioning of specific elements on the PCB, the optimization algorithm has been refined.

Keywords: reliability, optimization, methods, random, search, elements, electronic, structure, calculation, software.

### Анотація

Розглядається використання числових методів оптимізації в програмному забезпеченні з метою підвищення надійності електронної апаратури. Висвітлюються різноманітні модифікації методу випадкового пошуку. Наведено результати експерименту, які підтверджують, що застосування оптимізаційних методів випадкового пошуку, в розробленому програмному забезпеченні дозволяє досягнути значного підвищення надійності електронних пристроїв. Для задач, які потребують фіксованого положення деяких елементів на платі, алгоритм оптимізації було вдосконалено.

Ключові слова: надійність, оптимізація, метод, випадковий, пошук, елементи, електронна, структура, розрахунок, програмне забезпечення.

## ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ СЕНСОРНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ПРОТЕЗУВАННІ КИСТІ

Богачук В.В. студент; Тарасова Л.Д. к.т.н, доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Сучасні міоелектричні протези руки є пріоритетними при протезуванні верхньої кінцівки, що особливо актуально в Україні. Протезування не є новиною, багато років встановлюють протези як вітчизняного, так і закордонного виробництва, але ефективність багатьох систем стикається з обмеженнями через неадекватний сенсорний вхід користувача.

На сьогодні керування регулюються переважно візуальними сигналами. Це контрастує із здоровою кінцівкою, де основним зв'язком є соматосенсорні сигнали, тому виникає необхідність відновлювати тактильний зворотний зв'язок у штучних кінцівках.

Різні підходи включають використання механічної або електричної стимуляції шкіри для передачі інформації про її взаємодію з об'єктами. Крім того, деякі стратегії передбачають хірургічну імплантацію пристроїв, які підключаються до периферичних нервів або мозку, безпосередньо активуючи нейрони за допомогою невеликих струмів [1].

Більшість систем неінвазивного зворотного зв'язку інтегруються в біонічні протези, базовим компонентом яких є мікроконтролер. Розглянемо зв'язок мікропроцесорного компонента із системою зворотного зв'язку в експериментальних дослідженнях [1].

Дослідники Li та ін. запропонували схему (рис. 1) системи електротактильної стимуляції, яка складається з 6 частин: модуль живлення (*PSM*), блок мікроконтролера (*MCU*), модуль виходу електричної стимуляції (*ESOM*), модуль електронного перемикача (*ESM*), модуль Bluetooth (*BM*), графічний інтерфейс користувача (*GUI*) [2].

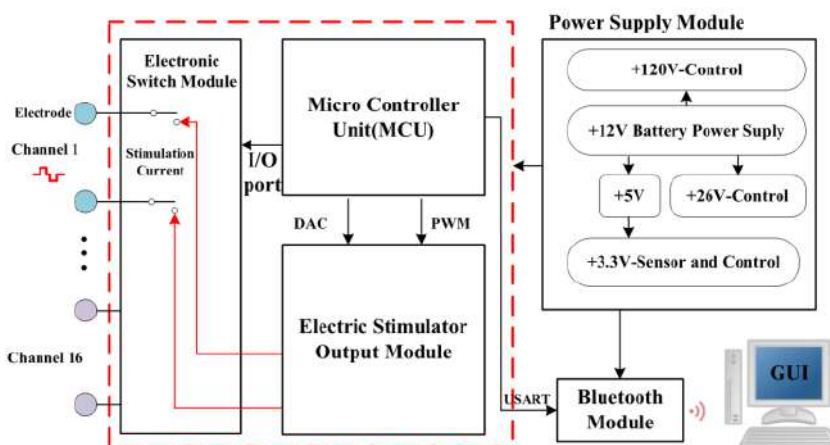


Рисунок 1 – Структура багатоканальної системи електротактильної стимуляції [2]



Система підтримувалася батареєю постійного струму +12 В, яка була підвищена до +120 В для забезпечення стабільної вихідної напруги. Зв'язок між блоком мікроконтролера (*MCU*) і головним комп'ютером здійснювався за допомогою модуля Bluetooth. Використання режиму постійного струму на виході забезпечило стабільний вихід, незалежно від коливань навантаження.

До складу вихідного модуля електричної стимуляції (*ESOM*) входили ланцюг джерела постійного струму (*CCSC*), відповідальний за стимуляцію, підсилювальний ланцюг (*AC*) для підвищення напруги і мостовий ланцюг (*BC*), який регулював двофазні прямокутні імпульси. Ці імпульси були точно синхронізовані за допомогою сигналів широтно-імпульсної модуляції (*ШІМ*), що генеруються чотирма таймерами. *ESOM* дозволяв регулювати параметри стимуляції, такі як амплітуда, частота і тривалість імпульсів. Для запобігання логічним помилкам і мінімізування коливання імпульсів, серед *ШІМ*-сигналів включали мертвий час (*DT*). Стимулятор продемонстрував здатність забезпечувати стабільну стимуляцію, включаючи монофазні імпульси, симетричні та асиметричні двофазні прямокутні імпульси, при цьому струм стимуляції залишався постійним нижче 30 мА [2].

У дослідженні *Saleh* та ін. система (рис. 2) складається зі схеми зміщення датчика для обробки біполярних сигналів, аналого-цифрового перетворювача (*АЦП*) *DDC232*, мікроконтролера *Laird BL600* і модуля *HC-05 UART* до *Bluetooth* [3].

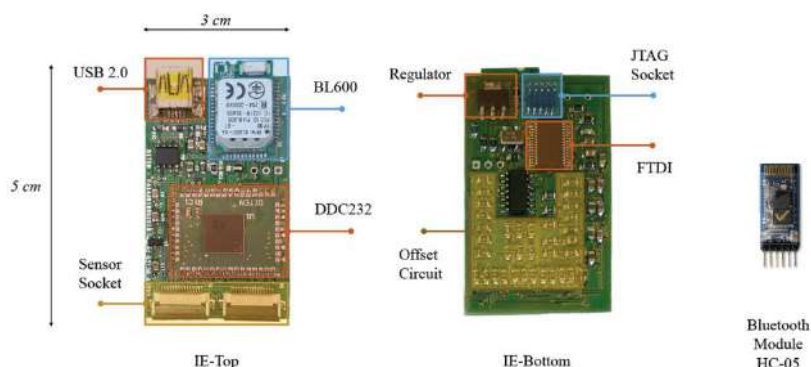


Рисунок 2 – Носима інтерфейсна електроніка для модуля електричної стимуляції [3]

*АЦП* ініціалізується для перетворення даних з 16-бітовою роздільною здатністю шляхом запису в 12-бітовий регістр конфігурації, який визначає формат даних. Модуль *BL600* ініціює операцію запису, керує перемиканням між інтеграторами та встановлює сигнал *RESET*. Після конфігурації *BL600* генерує тактовий сигнал *CLK* 10 МГц для керування *АЦП*, а також сигнал *CONV* з частотою 1 кГц для перетворення даних з каналів. Мікроконтролер зчитує вибрані дані, виводить їх на спадаючому фронті послідовного тактового входу даних (*DCLK*) на частоті 4 МГц і надсилає їх через *UART* до *Bluetooth*-модуля *HC-05* зі швидкістю 230400 біт/с. Далі команди з *HC-05* передаються на стимулятор.

Після прикладання сили до входу, сигнали піддаються дискретизації.

Після накопичення 99 відліків, положення датчика визначається за пороговою напругою, що задається заздалегідь. Вихідний сигнал позначає відсутність дотику або наявність стану натискання чи відпускання, тим самим впливаючи на команди до стимулятора. Активація стимулів на електродах (рис. 3) відбувається в стані натискання, тоді як стан відпускання зупиняє стимуляцію, повертаючи стимулятор в режим очікування [3].

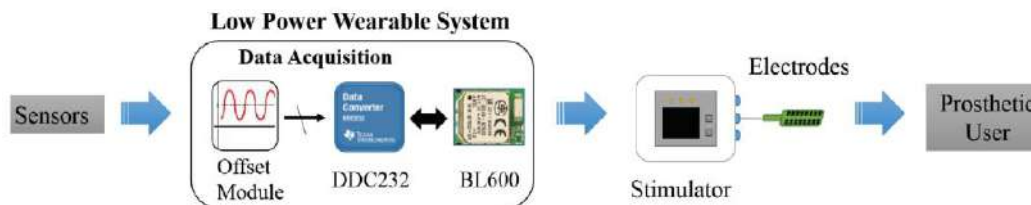


Рисунок 3 – Система сенсорного зворотного зв'язку з низьким енергоспоживанням [3]

Висновок. Мікроконтролер відіграє ключову роль у декодуванні вхідних сигналів з датчиків та регулюванні параметрів стимуляції, що сприяє загальній функціональності системи. Кожна з проаналізованих схем має як переваги, так і недоліки. Варто зазначити, що перша схема є стаціонарною, призначеною для експериментальних досліджень, тоді як друга схема підходить для адаптації в протез.

### Перелік посилань

1. Bensmaia, S. J. Restoration of sensory information via bionic hands / Bensmaia, S. J., Tyler, D. J., Micera, S. // *Nature biomedical engineering*. – 2023. – №7. – С. 443–455.
2. Kairu Li. Electrotactile Feedback for Sensory Restoration: Modelling and Application : дис. докт. техн. наук / Kairu Li. – Portsmouth, 2018. – 126 с.
3. Low Power Electronic System for Tactile Sensory Feedback for Prosthetics / Saleh, M., Ibrahim, A., Ansovini, F. та ін.]. // *Journal of Low Power Electronics*. – 2019. – №15. – С. 95–103.

### Анотація

В двох дослідженнях акцентовано увагу на структурних схемах мікроконтролерів у електротактильних системах зворотного зв'язку, визначаючи їхню ключову роль. Висвітлено роботу мікроконтролерів, детально описуючи з'єднання компонентів та їхній внесок у точне генерування і регулювання імпульсів стимуляції. Також розглянуті принципи формування цих імпульсів, що надає інформацію для оптимізації систем електротактильного зворотного зв'язку.

Ключові слова: протез, сенсорний зворотний зв'язок, мікроконтролер, електрична стимуляція

### Abstract

Two studies focus on the structural schemes of microcontrollers in electrotactile feedback systems, identifying their key role. The work of microcontrollers is covered, describing in detail the connections of components and their contribution to the precise generation and control of stimulation pulses. The principles of how these pulses are generated are also discussed, providing information for optimising haptic feedback systems.

Keywords: prosthesis, sensory feedback, microcontroller, electrical stimulation

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ЧАСТИНОК ОПТИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

*Головня Є. С. студент; Головня В. М. ст.викладач;*

*Зіньковський Ю. Ф. д.т.н., професор*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут», Радіотехнічний факультет,  
м. Київ, Україна*

Розробка методів поштучного аналізу частинок ведеться з часів створення світлового мікроскопа [1]. В області малокутового розсіювання турбідометричними методами можна на якісному рівні зареєструвати морфологічні зміни еритроцитів, руйнування частини клітин у ході лізису та ін. Як правило, передбачається, що рівень сигналу монотонно залежить від ступеня проходження того чи іншого процесу та внесок у спостережуваний сигнал вносить тільки світлорозсіювання [2].

Для характеристики еритроцитів використовується вузькоспеціалізована система на принципі проточної цитометрії з вимірюванням розсіювання в два тілесних кута: від 2 до 5 градусів і від 5 до 15 градусів полярного кута. Дана конфігурація дозволяє з певною точністю вимірювати параметри ( $V_0$ , HBC) еритроцитів людини за умови попередньої спеціальної сферизації клітин зі збереженням об'єму [3]. Заявлений діапазон вимірюваних об'ємів для гематологічного аналізатора ADIVA 120 (Bayer Corporation, Tarrytown, NY) від 30 до 180 фемтолітрів. Діапазон показників заломлення вимірюваних сферичних частинок охоплює значення від 1.38 до 1.44 (відносно вакууму) [4]. Максимальна швидкість вимірювань може доходити до сотні тисяч частинок на хвилину [5].

Кондуктометричний метод базується на проходженні частинки у провідному середовищі через отвір малого діаметру (оптимальний лінійний розмір отвору більше вимірюваної частинки в 2 - 3 рази), аналізована непровідна частинка змінює значення постійного струму, що протікає в середовищі. В результаті спостерігається імпульс напруги, який визначається переважно об'ємом аналізованої частинки, але залежить, зокрема, і від її морфології [6].

Атомна силова мікроскопія не застосовується для клінічного аналізу клітин з-за складної процедури підготовки проби, кінцевої величини кута щупа мікроскопа та вносимим змінам, які відбуваються при підготовці проби [7].

Для вимірювання локальних характеристик внутрішніх неоднорідностей мікрооб'єктів розроблені методи конфокальної скануючої мікроскопії [7], оптичної когерентної мікроскопії, а також методи, що використовують томографічну реконструкцію.

Особливість інтерференційної обчислювальної мікротомографії поля-

гає в вирішенні технічно складного завдання вбудовування системи збору проєкційних даних в інтерференційний мікроскоп. Зондування об'єкта може здійснювати або паралельним пучком світла, або розбіжним (конічним). У першому випадку формуються паралельні проєкції, а в другому - конічні.

Можливі наступні варіанти зондування (рис. 1):

- поворот пучка зондувального випромінювання щодо нерухомого об'єкта;
- обертання (нахил) об'єкта щодо нерухомого пучка зондувального випромінювання.

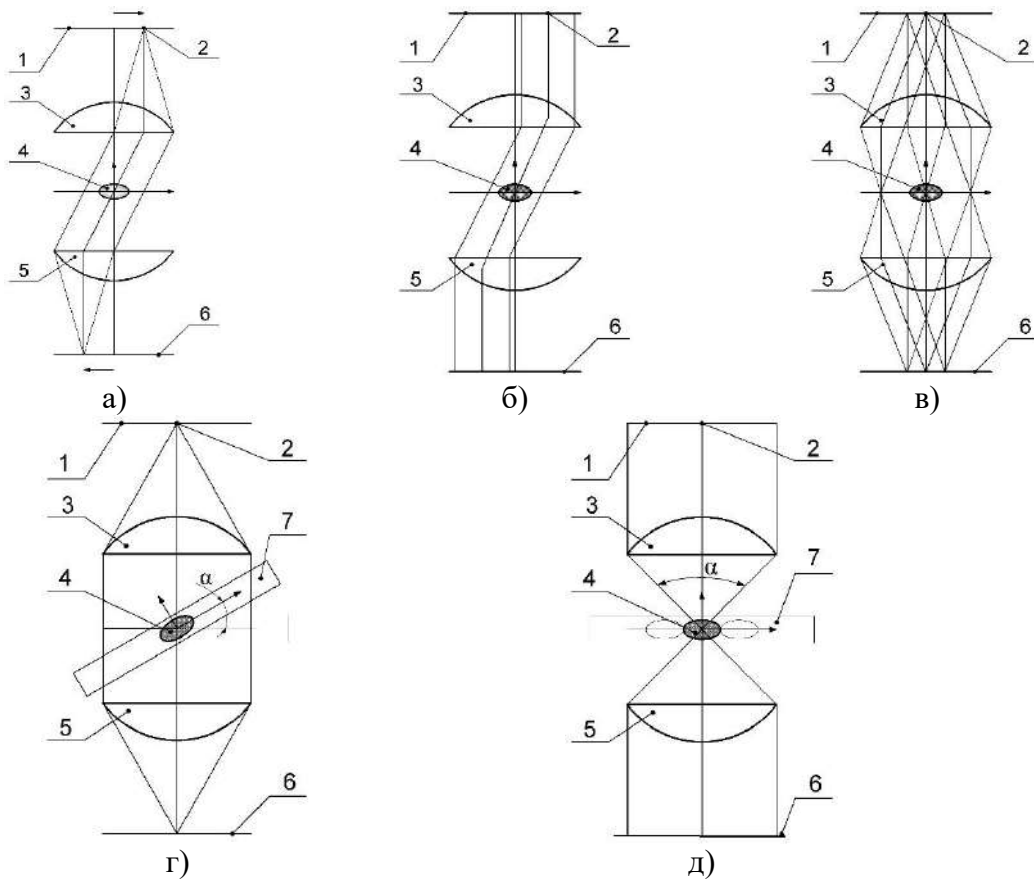


Рисунок 1. Схеми зондування в мікроскопії: а-в) зі скануванням пучка зондувального випромінювання щодо нерухомого об'єкта; г, д) схеми з рухом об'єкта щодо нерухомого пучка зондувального випромінювання

Схеми з поворотом пучка щодо нерухомого об'єкта розрізняються по траєкторії, що описує зондувальний пучок щодо об'єкта, або області (сітці), на якій реєструються проєкції.

Серед цих схем найбільшу перевагу мають схеми, що забезпечують двовимірну траєкторію. Всі підходи мають загальний недолік, що полягає в тому, що кут зондування об'єкта обмежений числовою апертурою мікрооб'єктива та не перевищує  $90^\circ$ .

Схеми зі скануванням об'єкта щодо нерухомого пучка можуть бути реалізовані через обертання капіляра з об'єктом, що перебуває всередині

нього, або через нахил об'єкта, розміщеного між двома покривними скельцями.

Ці схеми забезпечують великий кут зондування. Але для їхньої реалізації необхідно, щоб вісь обертання проходила через об'єкт, інакше при обертанні він вийде з області фокусування, тобто, необхідно створювати складні поворотні механізми, що забезпечують вирівнювання мікрооб'єкта щодо вісі обертання.

Отже, застосування оптичних методів для визначення форми частинок залежить від розміру частинок, оптичної густини, флуоресцентних характеристик, фази, в якій знаходяться частинки. Тому вибір найоптимальнішого методу для визначення форми для кожного типу форми частинок різний та для кожної окремої задач потребує дослідження.

### **Перелік посилань**

1. Shannon, Robert R. and Ford, Brian J.. "microscope". Encyclopedia Britannica, [Режим доступу] <https://www.britannica.com/technology/microscope>.

2. Варенюк І.М., Держинський М.Е. Методи цито-гістологічної діагностики: навчальний посібник. Київ: Інтерсервіс. 2019. 256 с.

3. Іваненко, М. О. (2020). Лазерна проточна цитометрія: фізичні основи і її застосування в оцінці фагоцитарного процесу. Експериментальна і клінічна медицина, 79 (2–3), 66–70. [Режим доступу] <https://ecm.knmu.edu.ua/article/view/412>

4. ADVIA 120 Hematology System Minimizing review rates and repeats utilizing proven flow cytometry <https://www.siemens-healthineers.com/hematology/systems/advia-120-hematology-system>

5. Jin Q, Jiang L, Chen Q, Li X, Xu Y, Sun X, Zhao Z, Wei L. Rapid flow cytometry-based assay for the evaluation of  $\gamma\delta$  T cell-mediated cytotoxicity. Mol Med Rep. 2018 Mar;17(3):3555-3562. doi: 10.3892/mmr.2017.8281. Epub 2017 Dec 15. PMID: 29257316; PMCID: PMC5802153.

6. Інструментальні методи хімічного аналізу [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л.М. Спасьонова, В.Ю. Тобілко, І.В. Пилипенко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,85 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 69 с.

7. Методи та засоби мікроскопії [Текст]: моногр. / В.С.Антонюк, Г.С.Тимчик, Ю.Ю.Бондаренко та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 336 с.

### **Анотація**

Проаналізовано оптичні методи визначення частинок, запропоновано обирати найоптимальніший метод для визначення форми частинок для кожного типу свій.

Ключові слова: оптичні методи, мікроскоп, цитометрія, зондування.

### **Abstract**

Optical methods of particle detection were analyzed, and it was proposed to choose the most optimal method for determining the shape of particles for each type.

Keywords: optical methods, microscope, cytometry, sondage.

## РОЗРОБКА СТРУКТУРИ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОТИДІЇ НЕСАНКЦІОНОВАНИМ АТАКАМ

*Лащевська Н. О., к.т.н, доцент; Сосновий В.О. студент  
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій  
Комп'ютерна інженерія*

Підхід до глибокого навчання для інтелектуальної системи виявлення вторгнень [1] запропоновано високомасштабовану та гібридну структуру глибокої нейронної мережі (ГНН), яка здатна виявляти кібератаки в реальному часі шляхом моніторингу мережевого трафіку та подій на рівні хоста. Також було проведено дослідження й оцінку ефективності різних неглибоких і глибоких мереж для систем виявлення вторгнень у мережу [2]. Обидва дослідження були оцінені за допомогою набору даних KDDCup'99. Крім того, в роботі [3] запропоновано систему виявлення ботнету на основі глибокого навчання для виявлення та класифікації доменних імен.

Вибір ознак ансамблю – це процес визначення найкращої підмножини ознак на основі методу голосування більшості. Процес ілюструється на рисунку 1, де використовується дев'ять окремих методів ВФ. Після цього виставляємо функції відповідно до голосування більшістю, де більше половини методів ВФ.

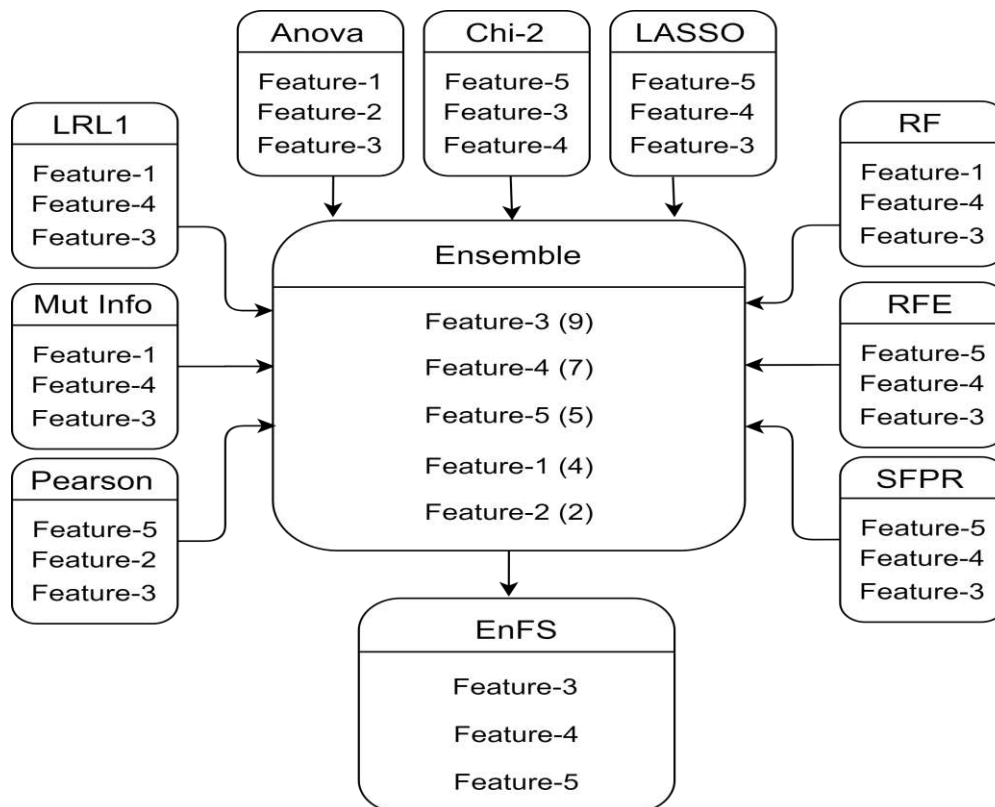


Рисунок 1. Підхід до вибору ансамблевих функцій (АНВФ) з використанням голосування більшості

Класифікація моделі: у запропонованій груповій керованій структурі

машинного навчання виконано двоетапну класифікацію, використовуючи послідовно індивідуальні та ансамблеві класифікатори, щоб розрізнити аномалії в наборах даних. Після порівняльного аналізу ефективності цих одинадцяти моделей з використанням метрик оцінки було отримано найкращу модель для виявлення аномалії. Механізм об'єднання окремих класифікаторів за допомогою ансамблевої методики проілюстровано на рисунку 2.

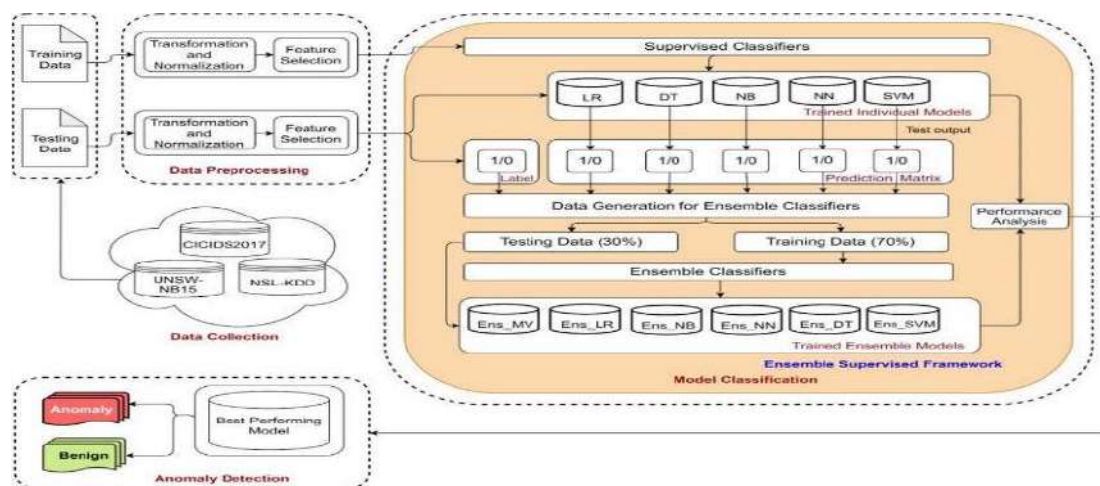


Рисунок 2. Процес запропонованого методу

Виявлення аномалії: в реальному світі СВВ, як показано на рис. 3, можна розмістити на шлюзі в захищеній мережі. СВВ складається з датчиків і препроцесора даних аудиту для перетворення вхідного трафіку в дані про діяльність. Використано «Дані перевірки», щоб імітувати потік даних у реальному часі. Як виявлення використовується модель із найефективнішою моделлю, отримана з контрольованої структури ансамблю моделей СВВ. Модель виявлення в системі виявлення аналізує дані перевірки та ідентифікує дані як аномальні або доброякісні. Після цього на основі правил із таблиці рішень механізм прийняття рішень виконує необхідні дії та повідомляє адміністратору мережі про потенційну загрозу.

Було реалізовано алгоритм вибору функцій ансамблю та класифікації ансамблю, щоб покращити загальну продуктивність запропонованої моделі машинного навчання. Як визначено в Алгоритмі, він приймає вхідні дані як функції та цілі для навчання та тестування моделей класифікації. Ініціалізовано список методів вибору функцій, моделі машинного навчання для індивідуальної класифікації, моделі машинного навчання для класифікації ансамблю та кількість найкращих функцій.

Крім того, було ініціалізовано структуру даних для зберігання результатів передбачення індивідуальної моделі тут. Підхід ансамблевого вибору та класифікації ознак виконується для всіх розглянутих найкращих наборів функцій, керованих зовнішнім циклом. К-найкращі ознаки, виділені індивідуальними алгоритмами вибору ознак, зберігаються для їх подальшого ансамблювання. Використовуємо навчальні функції та ціль, щоб отримати

найкращий набір функцій із набору даних. Набір функцій ансамблю було розраховано на основі техніки голосування більшості, тобто ознака є важливою, якщо її вибрано принаймні половиною алгоритму вибору ознак.

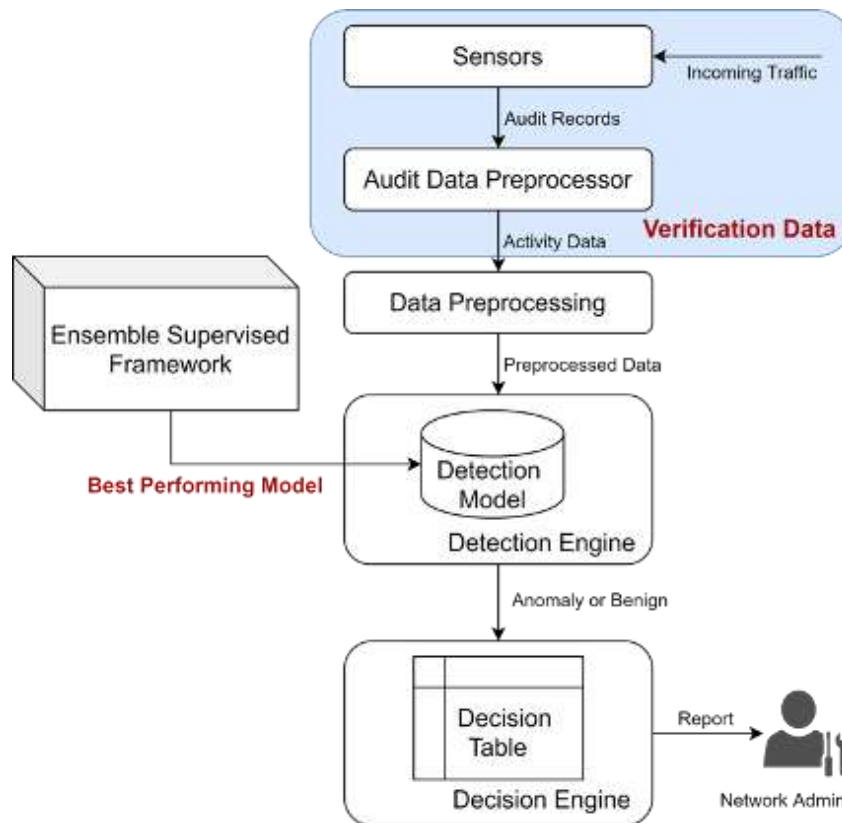


Рисунок 3. Структура ансамблевого машинного навчання як метод виявлення СВВ

Наступний блок виконується для ідентифікації набору функцій ансамблю, і це кінець частини алгоритму, пов'язаної з вибором функцій ансамблю. Наступна частина алгоритму з класифікації ансамблю тренує моделі машинного навчання та зберігає результат класифікації в структурі даних, ініціалізований на початку алгоритму. Накопичений результат було використано як новий набір даних, де ознаки є індивідуальними результатами класифікації, а ціль — це основна правда з набору даних. Новий набір даних було знову навчено та класифіковано всіма моделями машинного навчання, які розглядалися для експерименту. В наступному кроці аналізуємо результат, щоб оцінити продуктивність окремого класифікатора для визначення найкраща модель.

Перш ніж аналізувати складність алгоритму, потрібно визначити кілька термінів, а саме:  $n_{fm}$  як кількість методів вибору ознак,  $n_{mi}$  як кількість моделей МН для індивідуальної класифікації,  $n_{me}$  як кількість моделей МН для ансамблю класифікація,  $n_{fs}$  як кількість найкращих функцій,  $n_{fl}$  як кількість функцій у списку функцій,  $O(fs)$  як найвища часова складність серед усіх методів ВФ,  $O(mi)$  як найвища часова складність серед усіх окремі моделі МН і  $O(me)$  як найвищу часову складність серед усіх моделей МН ансамблю.



Складність алгоритму можна визначити як час, так і простір. Тому часова складність алгоритму така

$$T(n) = n_{fs} [n_{fm} \{O(fs) + O(n_{fl}) + O(n_{fl}) + n_{mi}O(mi) + n_{me}O(me)\}]$$

Оскільки використано постійну кількість моделей МН і методів ВФ, спрощена версія часової складності в екв. 2 дорівнює часовій складності, коли використовується один класифікатор і один метод ВФ.

$$T(n) \approx O(fs) + \text{MAX}(O(mi), O(me))$$

В алгоритмі використовується 5 вхідних змінних, 5 статичних змінних, 6 ітераторів циклу, 1 карта та 8 інших змінних. У більшості випадків використовується змінну типу «список» і один тип хеш-карти.

Потрібні правильно встановлені оціночні метрики, щоб знайти найкращу ефективну модель, яку можна включити в СВВ. Чутливість, специфічність, точність, прецизійність, запам'ятовування та f-міра є добре відомими показниками оцінки ефективності.

### **Перелік посилань**

1. Lyu X., Ying F., Onpium P. Scene style conversion algorithm of AI digital host: a deep learning approach. 2023 2nd international conference on edge computing and applications (ICECAA), м. Namakkal, India, 1921 лип. 2023 р. URL: <https://doi.org/10.1109/icecaa58104.2023.10212269>

2. R. Vinayakumar, K. Soman, and P. Poornachandran, "Evaluating effectiveness of shallow and deep networks to intrusion detection system," in 2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), pp. 1282–1289, IEEE, 2017.

3. R. Vinayakumar, M. Alazab, S. Srinivasan, Q.-V. Pham, S. K. Padanayil, and K. Simran, "A visualized botnet detection system based deep learning for the internet of things networks of smart cities," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 56, no. 4, pp. 4436–4456, 2020.

### **Анотація**

В статті описано комплексне рішення безпеки на основі машинного навчання (МН) для виявлення вторгнень в мережі з використанням комплексної контрольованої структури МН і методів вибору функцій ансамблю. Крім того, надано порівняльний аналіз кількох моделей МН і методів вибору функцій. В статті розроблено загальний механізм виявлення та досягнення вищої точності з мінімальною частотою помилкових позитивних результатів (ЧПР).

Ключові слова: машинне навчання, інтелектуальна система, нейромережа, несанкціоновані атаки.

### **Annotation**

The article describes a complex security solution based on machine learning (ML) for network intrusion detection using a complex controlled ML structure and ensemble feature selection methods. In addition, a comparative analysis of several MN models and function selection methods is provided. The article develops a general mechanism for detecting and achieving higher accuracy with a minimum frequency of false positive results (FPR).

Keywords: machine learning, intelligent system, neural network, unauthorized attacks.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ ДО РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ УЛЬТРАЗВУКОВИМИ МЕТОДАМИ**

*Лемеха В. О., аспірант; Мовчанюк А. В., к.т.н., доцент;  
Мартиненко Н. В., студент; Новосад А. А. ст.викладач  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

Доволі часто виникає задача контролю відстані до перешкоди, наприклад для визначення трафіку руху автомобілів, що може вирішуватись різними методами: радіохвильовим [1], за допомогою лідарів [2], ультразвукової далекометрії [3]. Слід зазначити, що використання ультразвукових методів мають найнижчу вартість [4]. Однак, ультразвукові методи вимірювань мають ряд особливостей, а саме достатньо широку діаграму спрямованості [5], суттєве загасання ультразвукових хвиль [6], суттєву залежність чутливості та діаграми спрямованості від конструкції п'єзоперетворювача [7], залежність швидкості звуку від температури [8] та ін.

Порівняно низька швидкість звуку в повітрі дозволяє доволі просто виявляти рухомі об'єкти за рахунок суттєвого, порівняно з радіохвильовими методами, доплерівського зсуву частоти відбитого від перешкоди сигналу [8,9]. В зв'язку з тим, що ультразвуковими методами зазвичай визначають відстань до нерухомої перешкоди [10], виникає необхідність оцінки максимальної потенційної дальності роботи ультразвукових далекомірів до перешкоди, що рухається. Особливістю такого далекоміру є те, що він працює в моноімпульсному режимі, тому підняти дальність спрацювання за рахунок накопичення сигналу не є можливим.

В першому наближенні можна вважати, що на дальність будуть впливати рівень звукового тиску, що випромінюється, чутливість ультразвукового сенсору, загасання ультразвукової хвилі, рівень власного шуму першого каскаду підсилювача, падіння чутливості сенсору за рахунок доплерівського зсуву частоти, швидкості руху перешкоди та її здатність відбивати ультразвукову хвилю.

Будемо вважати, що межею чутливості буде випадок, коли рівень власних шумів вхідного підсилювача дорівнює рівню прийнятого відбитого сигналу. Також припустимо, що в ультразвуковому діапазоні частот до уваги слід брати тільки шуми Джонсона, а іншими видами шумів можна знехтувати. В такому випадку, рівень шумів на вході підсилювального каскаду:

$$E_{ш} = E_{ш_{ус}} \cdot \sqrt{\Pi_{ш}}$$

де  $E_{n\_amp}$  - щільність напруги шумів на вході підсилювача,  $\Pi_{ш}$  - шумова смуга.

Будемо вважати, що шумова смуга формується смуговим фільтром, смуга пропускання якого буде залежати від доплерівського зсуву частоти:

$$\Pi_{ш} = 2 \cdot f_0 \frac{v_{\max}}{c},$$

де  $f_0$  - частота ультразвукової хвилі, що випромінюється,  $c$  - швидкість звуку,  $v_{\max}$  - максимальна швидкість руху перешкоди.

В результаті отримаємо

$$E_{ш} = E_{ш\_ус} \cdot \sqrt{2 \cdot f_0 \frac{v_{\max}}{c}}.$$

Напруга на вході підсилювача складе

$$U_{вх} = 2 \cdot U_{вип} \cdot D \cdot H,$$

де  $U_{вип}$  - напруга на випромінювачі,  $D$  - загасання ультразвуку в повітрі [11],  $H$  - відстань до об'єкту, що рухається.

В результаті отримаємо, що

$$H_{\max} = \frac{E_{ш\_ус} \cdot \sqrt{f_0 \frac{v_{\max}}{c}}}{\sqrt{2} \cdot U_{вип} \cdot D}.$$

Отриманий вираз дозволяє оцінити максимальну дистанцію до об'єкту що рухається, а також обґрунтувати основні параметри систему ультразвукового далекоміру в першому наближенні.

Для експериментальної перевірки отриманих співвідношень було розроблено експериментальний стенд (рис.1,2), що показав дальність роботи до об'єкту більш ніж 15 метрів.

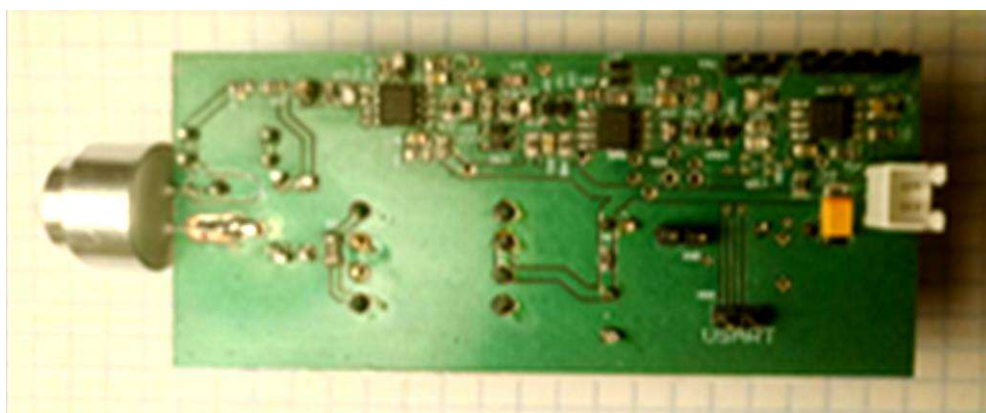


Рисунок 1. Прототип ультразвукового далекоміра

Зазначимо, що в отримані вирази також дозволять в майбутньому розрахувати необхідний коефіцієнт підсилення тракту обробки прийнятого сигналу, що повинен компенсувати загасання ультразвукової хвилі.



Рисунок 2. Осциллограма, що ілюструє роботу ультразвукового далекоміра

Однак для цього необхідно враховувати виграш у співвідношення сигнал/шум після детектору обвідної, а також тип використаного детектора. По часу, між випроміненим та прийнятим імпульсом по фронту обвідній можна визначити відстань, а по заповненню імпульсів можна визначити швидкість руху перешкоди.

### Перелік посилань

1. Measuring Real-Time Road Traffic Queue Length: A Reliable Approach Using Ultrasonic Sensor. Avirup Mandal, Pampa Sadhukhan, Firoj Gaji and Prolay Sharma. DOI:10.1007/978-981-15-0829-05\_38, — 2020
2. Lidar System Architectures and Circuits. Behnam Behroozpour, Phillip A. M. Sandborn, Ming C. Wu, and Bernhard E. Boser. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700030, — 2017
3. Understanding Ultrasonic Level Measurement. Stephen Milligan, Henry Vandelinde, Michael Cavanagh. — 2012
4. Ultrasonic Sensor. Application Manual. Murata manufacturing Co., Ltd. — 2008
5. Piezoelectric Sensors and Actuators. Stefan Johann Rupitsch. — 2018
6. Ultrasonics fundamentals and applications. Heinrich Kuttruff. — 1991
7. Piezoelectric Transducers and Applications. Antonio Arnau Vives. — 2008
8. The science and applications of acoustics. Daniel R. Raichel. — 2006
9. Calibration of Ultrasonic Transducer Based on Ultrasonic Logging Instrument for Shaft Sinking. Maoyong Cao, Xiaoan Si, Hui Zhang, Fengying Ma , Peng Ji and Hui Yao. DOI: 10.3390/s22186867, — 2022
10. Evaluation of Water Level in Flowing Channels Using Ultrasonic Sensors. Tatiane Souza Rodrigues Pereira, Thiago Pires de Carvalho1 , Thiago Augusto Mendes, Klebber Teodomiro Martins Formiga. DOI:10.3390/su14095512, — 2022
11. Ranging with Frequency Dependent Ultrasound Air Attenuation. Riccardo Carotenuto, , Fortunato Pezzimenti, Francesco G. Della Corte, Demetrio Iero Massimo Merenda. DOI:10.3390/s21154963, — 2021

### Анотація

Обґрунтовано доцільність використання ультразвукових далекомірів для визначення відстані до перешкоди, що рухається. Перелічено основні фактори, що впливають на дальність роботи при визначенні відстані. Наведено розрахункові співвідношення для визначення максимальної відстані до об'єкту, в залежності від швидкості руху та рівня власних шумів підсилювача.

Ключові слова: ультразвук, далекомір, загасання, рівень шумів, смуга пропускання.

### Abstract

Rationale for the use of ultrasonic range finders in determining the distance to moving obstacles. Listed factors affecting operational range when determining distance. Provided formulas for calculating the maximum distance to an object based on movement speed and amplifier's own noise level.

Keywords: ultrasound, ultrasonic, rangefinder, attenuation, noise level, bandwidth.

## **ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СУЧАСНИХ МЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ**

*Масюк І. В. студент; Богомолов М. Ф. к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
м. Київ, Україна*

За останні роки відбувся значний прогрес у галузі штучного інтелекту (ШІ), особливо у сфері охорони здоров'я, де ШІ сприяє розробці передових методик від діагностики до індивідуалізованої допомоги в лікуванні. В цей час зосереджено увагу на використанні ШІ для інновацій у зображувальній терапії та його вплив на персоналізовану медицину. Такі алгоритми як *GAN*, *ResNet*, *UNet* і *VAE* грають ключову роль у цьому процесі. *GAN* використовуються для створення реалістичних медичних зображень, *UNet* - для сегментації зображень, *ResNet* - для класифікації, а *VAE* - як тип нейронної мережі [1].

Основним напрямком використання ШІ у медицині є діагностика та сприяння у прийнятті рішень щодо лікування, забезпечуючи високу точність діагнозів, персоналізовані рекомендації та поліпшене розуміння зображень [1, 2]. ШІ також використовується для аналізу медичних зображень, генетичних та хімічних даних, сприяючи виявленню та розробці ліків, а також для точнішої діагностики та створення індивідуальних планів лікування [1, 3].

У розробці програмного забезпечення ШІ вносить елемент непередбачуваності, оскільки деякі його аспекти визначаються лише після навчання на вхідних даних. Мета полягає в створенні універсальної моделі, здатної працювати з новими даними, які не були частиною навчального набору. ШІ включає навчання під наглядом, неконтрольоване навчання та навчання з підкріпленням [4].

Процес впровадження ШІ у медицину включає визначення медичної проблеми, збір даних, інженерію ознак, вибір моделі, тренування, оцінку, інтерпретацію, валідацію, інтеграцію, врахування етичних та правових питань та постійний моніторинг [2].

Завдання ШІ — оптимізувати безпомилкове виконання завдань, забезпечуючи швидкий аналіз даних, доповнюючи людські здібності та прогнозуючи різні сценарії [3]. Наприклад, використання ШІ в діагностиці раку молочної залози досягло 95% точності, перевищивши традиційні методи. У лікуванні діабету, ШІ допоміг знизити рівень *HbA1c* на 1,5%. Інтеграція ШІ в медичні записи економить до 30% часу лікарів, а епідеміологічний ШІ з точністю 90% прогнозує спалахи грипу [2].

Однак, існують обмеження та виклики у використанні ШІ в охороні здоров'я, які включають етичні, соціальні та технічні аспекти. Це охоплює

збереження конфіденційності, забезпечення справедливості, управління очікуваннями, а також розв'язання питань точності, надійності та сумісності [1, 2, 5].

За недавні роки відбулася інтенсивна еволюція в галузі штучного інтелекту (ШІ), особливо у сфері медицини, де ШІ відіграє ключову роль у створенні новітніх методів лікування, починаючи від діагностики до персоналізованої медичної допомоги. Активно досліджуються можливості ШІ у перетворенні методів лікування, заснованих на медичних зображеннях, та його вплив на індивідуальну медицину. Алгоритми, такі як *GAN*, *ResNet*, *UNet* та *VAE*, є важливими у цьому контексті. *GAN* використовуються для створення правдивих медичних зображень, *UNet* служить для сегментації зображень, *ResNet* застосовується для класифікації, а *VAE* є прикладом нейронної мережі [1].

Провідним напрямком використання ШІ у медицині є діагностика та підтримка лікувальних рішень, де ШІ демонструє високу точність у діагностиці, надає персоналізовані рекомендації та поліпшує інтерпретацію зображень [1, 2]. ШІ аналізує медичні зображення, генетичні дані, хімічні з'єднання, сприяючи виявленню нових лікарських засобів, точнішій діагностиці та розробці індивідуалізованих планів лікування [1, 3].

У сфері програмного забезпечення ШІ вносить елементи невизначеності, оскільки деякі параметри стають відомими тільки після етапу тренування з використанням вхідних даних. Ціль полягає в створенні моделі, яка буде точною для нових даних, що не входили до навчального набору. ШІ містить навчання під наглядом, неконтрольоване навчання та навчання з підкріпленням [4]. Процес інтеграції ШІ в медицині має кілька етапів: визначення проблеми, збір даних, розробка ознак, вибір моделі, тренування моделі, оцінка продуктивності, інтерпретація результатів, клінічне тестування, інтеграція в медичну практику, звернення до етичних та правових питань, та постійний моніторинг та оновлення системи [2].

Основна мета ШІ полягає у виконанні завдань з максимальною точністю та мінімізації помилок, включаючи швидкий аналіз даних, доповнення людських здібностей та прогнозування [3]. Наприклад, ШІ у діагностиці раку молочної залози досягло точності 95%, перевищивши традиційні методи. У лікуванні діабету, використання ШІ допомогло знизити рівень *HbA1c* на 1,5%. Інтеграція ШІ в електронні медичні записи забезпечує економію часу лікарів на 30%, а епідеміологічний ШІ з чутливістю 90% прогнозує спалахи грипу [2].

Проте існують виклики та обмеження в використанні ШІ у медичній галузі, які включають етичні, соціальні та технічні аспекти. Це стосується питань конфіденційності, справедливості, управління очікуваннями, а також точності, надійності, сумісності алгоритмів та моделей [1, 2, 5].

Штучний інтелект (ШІ) переживає період стрімкого розвитку, особливо у сфері охорони здоров'я, де його потенціал активно досліджується для

трансформації медичної практики. ШІ відіграє ключову роль у перетворенні способів лікування, особливо у сферах, де потрібне управління медичними зображеннями, та набуває важливості у контексті персоналізованої медицини. Різноманітні алгоритми, такі як *Generative Adversarial Networks (GAN)*, *Residual Networks (ResNet)*, *UNet* та інші, використовуються для різних цілей, від генерації зображень до аналізу даних, що сприяє точнішій та ефективнішій діагностиці та лікуванню.

Основними напрямками використання ШІ в охороні здоров'я є діагностика захворювань та підтримка медичних спеціалістів у прийнятті рішень щодо лікування пацієнтів. Ці напрямки містять застосування алгоритмів глибокого навчання для аналізу медичних зображень, обробки генетичних даних, та створення персоналізованих лікувальних планів. Ці інновації в області ШІ відкривають нові можливості для більш точної та ефективної медичної допомоги.

Успішне впровадження ШІ у медицину вимагає складного та багатетапного процесу. Цей процес починається з ретельного визначення медичних проблем, які потребують рішення, і переходить до збору та аналізу великих обсягів даних. Наступним етапом є вибір та адаптація відповідних алгоритмів ШІ, тренування моделей на базі цих даних, та їх подальше тестування. Останнім кроком є інтеграція успішно протестованих моделей ШІ у щоденну медичну практику, де вони можуть допомогти у діагностиці, лікуванні та управлінні хворобами.

Результати використання ШІ в охороні здоров'я вже вражають. Наприклад, в області онкології, моделі глибокого навчання демонструють високу точність у діагностиці раку молочної залози, перевищуючи традиційні методи. У лікуванні діабету, ШІ допомагає контролювати рівень цукру в крові, знижуючи показники *HbA1c*. Впровадження ШІ у системи електронних медичних записів значно покращує продуктивність медичного персоналу, звільняючи час для прямої роботи з пацієнтами. Крім того, ШІ здатний ефективно прогнозувати епідемії, як, наприклад, спалахи грипу, та ідентифікувати генетичні мутації, що допомагають у підборі найбільш ефективного лікування.

Проте, зі зростанням застосування ШІ в медицині, виникають нові виклики, зокрема етичні, соціальні та технічні. Етичні виклики включають питання конфіденційності, збереження приватності даних пацієнтів та забезпечення їх згоди на використання цих даних. Соціальні виклики пов'язані з довірою до систем ШІ та їх інтеграцією в медичну практику. Технічні виклики охоплюють надійність та точність алгоритмів, забезпечення їх сумісності з чинними медичними системами та розв'язання проблем, пов'язаних з безпекою даних.

Загалом, використання ШІ в охороні здоров'я є надзвичайно перспективним напрямком, який обіцяє значно покращити результати лікування та якість медичної допомоги. Це не лише сприяє більш точній та ефективній

медичній допомозі, але й відкриває двері для нових методів лікування та підходів до здоров'я, роблячи медицину більш адаптивною та індивідуалізованою.

### **Перелік посилань**

1. Samar M. Nour. Artificial intelligence (AI) for improving performance at the cutting edge of medical imaging [Електронний ресурс] / Samar M. Nour. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10296694>.
2. Sreekanth Yalavarthi. AI in medicine: from diagnosis to treatment decision support [Електронний ресурс] / Sreekanth Yalavarthi // Journal of emerging technologies and innovative research. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/374950780\\_AI\\_in\\_Medicine\\_From\\_Diagnosis\\_to\\_Treatment\\_Decision\\_Support](https://www.researchgate.net/publication/374950780_AI_in_Medicine_From_Diagnosis_to_Treatment_Decision_Support).
3. Artificial intelligence in medicine and dentistry [Електронний ресурс] / Marin Vodanović, Marko Subašić, Denis Milošević, vana Savić Pavičič // Acta stomatologica croatica. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://hrcaak.srce.hr/file/428684>.
4. Farzane Tajidini1. A review of artificial intelligence in medicine [Електронний ресурс] / Farzane Tajidini1, Mohammad-Javad kheiri. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/366086653>.
5. Manoj Diwakar. Medical data analysis meets artificial intelligence (AI) and internet of medical things (IoMT) [Електронний ресурс] / Manoj Diwakar, Prabhishek Singh, Vinayakumar Ravi // Bioengineering. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2306-5354/10/12/1370>.

### **Анотація**

Розглядається стрімкий розвиток штучного інтелекту (ШІ) у сфері охорони здоров'я, його вплив на діагностику та лікування, а також використання алгоритмів, як-от *GAN*, *ResNet*, *UNet*. Обговорюються успіхи ШІ у поліпшенні діагностики раку, лікування діабету, оптимізації роботи медичного персоналу, прогнозуванні захворювань та ідентифікації генетичних мутацій. Також порушуються питання етичних, соціальних та технічних викликів у впровадженні ШІ у медичну практику, підкреслюючи значення ШІ для покращення медичного обслуговування.

Ключові слова: штучний інтелект, охорона здоров'я, медична діагностика, алгоритми ШІ, *GAN*, *ResNet*, *UNet*, персоналізована медицина, етичні виклики, соціальні виклики, технічні виклики, якість медичного обслуговування, оптимізація лікування.

### **Annotation**

This text examines the rapid development of artificial intelligence (AI) in healthcare, its impact on diagnostics and treatment, and the use of algorithms such as *GAN*, *ResNet*, *UNet*. The successes of AI in improving cancer diagnostics, diabetes treatment, optimizing medical staff work, disease prediction, and identifying genetic mutations are discussed. Also addressed are the ethical, social, and technical challenges in the implementation of AI in medical practice, emphasizing the importance of AI in improving healthcare services.

Keywords: artificial intelligence, healthcare, medical diagnostics, AI algorithms, *GAN*, *ResNet*, *UNet*, personalized medicine, ethical challenges, social challenges, technical challenges, healthcare quality, treatment optimization.



## ПРОБЛЕМАТИКА ВИМІРЮВАНЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ У ПОВІТРІ, ЩО ВИДИХАЄТЬСЯ ПАЦІЄНТОМ

*Пономарьов І. В. аспірант; Антипенко Р. В. к.т.н., доцент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

Моніторинг стану пацієнта під час проведення штучної вентиляції легень (ШВЛ) є одним з найбільш важливих компонентів медичного супроводу пацієнта. Однією із систем моніторингу є капнограф — пристрій, що вимірює парціальний тиск (концентрацію) діоксиду вуглецю у повітрі, що видихається пацієнтом. Додатково капнограф відображає зміну концентрації в часі. Отримана крива називається капнограма, а її форма дозволяє оцінити загальний стан пацієнта, а також цілісність системи ШВЛ. На рисунку 1 наведені приклади капнограм для різного стану пацієнта та дихальної системи[1].

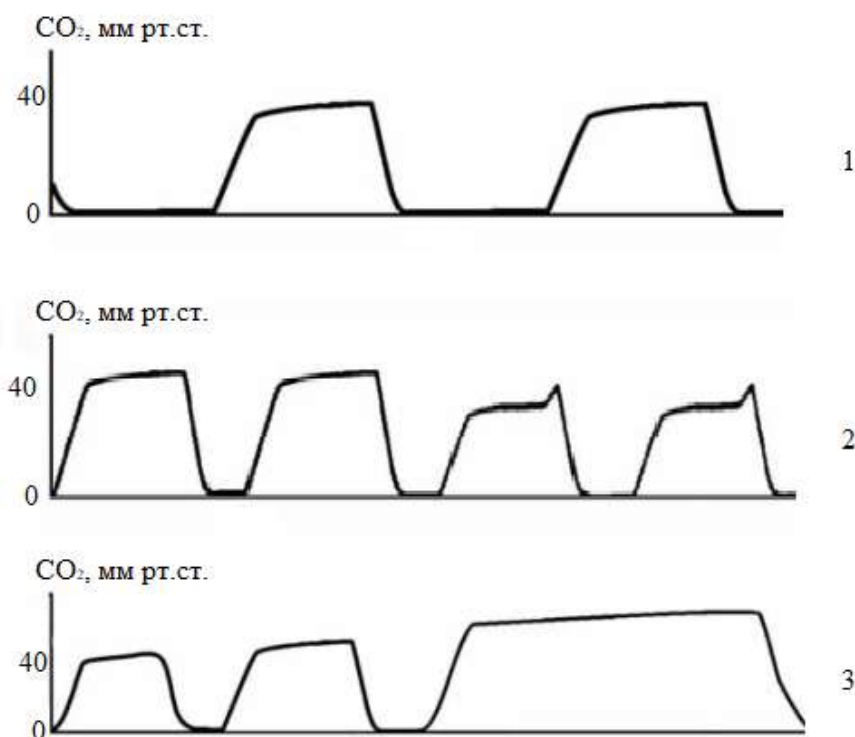


Рисунок 1. Приклади капнограм: 1 — норма, 2 — порушення циркуляції дихальних шляхів, 3 — гіповентиляція[1]

Існує два основних типи капнографів — капнограф основного потоку і капнограф бічного потоку. Капнограф основного потоку приєднується безпосередньо до дихального контуру біля патрубку пацієнта. Капнограф бічного потоку приєднується до дихальної системи через додатковий патрубок і за допомогою окремого насоса відбирає зразки повітря [2].

Наразі найбільш популярним видом капнографа є оптичний (інфраче-

рвоний). При проходженні інфрачервоного (ІЧ) випромінювання крізь газове середовище частина поглинається молекулами наявних газів. Графік, що ілюструє поглинання ІЧ випромінювання деякими газами показано на рис.2. Для вуглекислого газу найбільше поглинання відбувається на довжині хвилі, яка дорівнює приблизно 4,25 мкм.

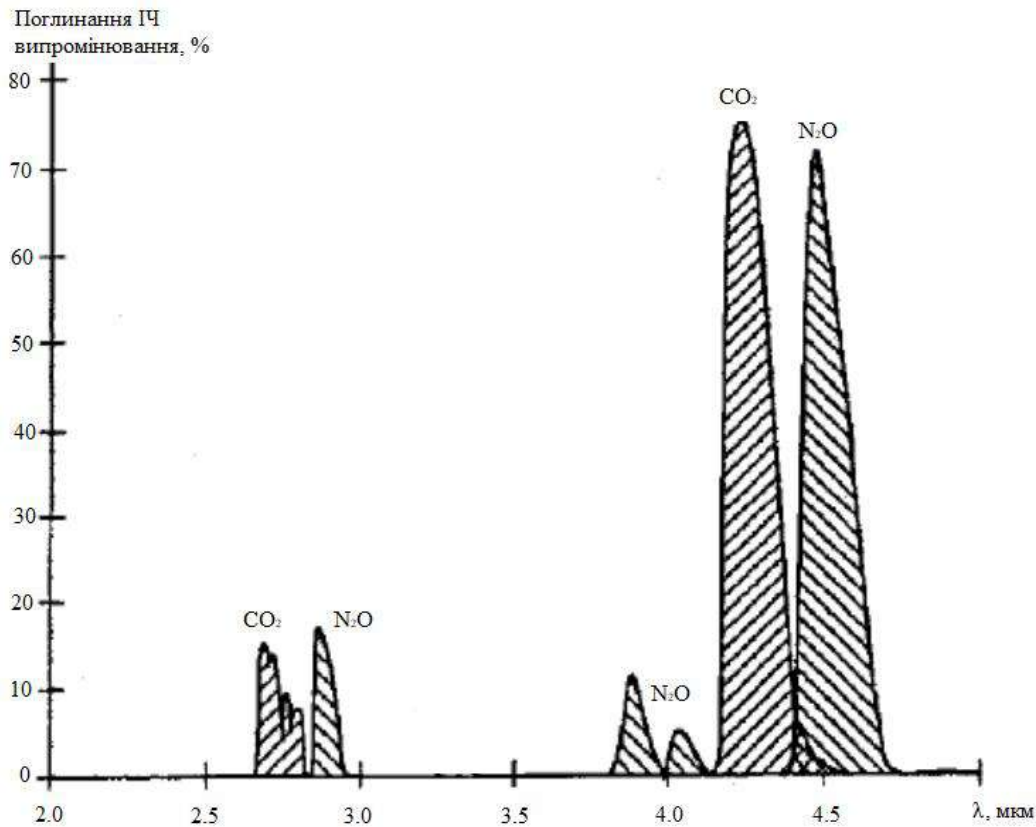


Рисунок 2. Спектр поглинання інфрачервоного випромінювання для деяких газів[2]

Узагальнена структурна схема оптичного капнографа представлена на рис.3.

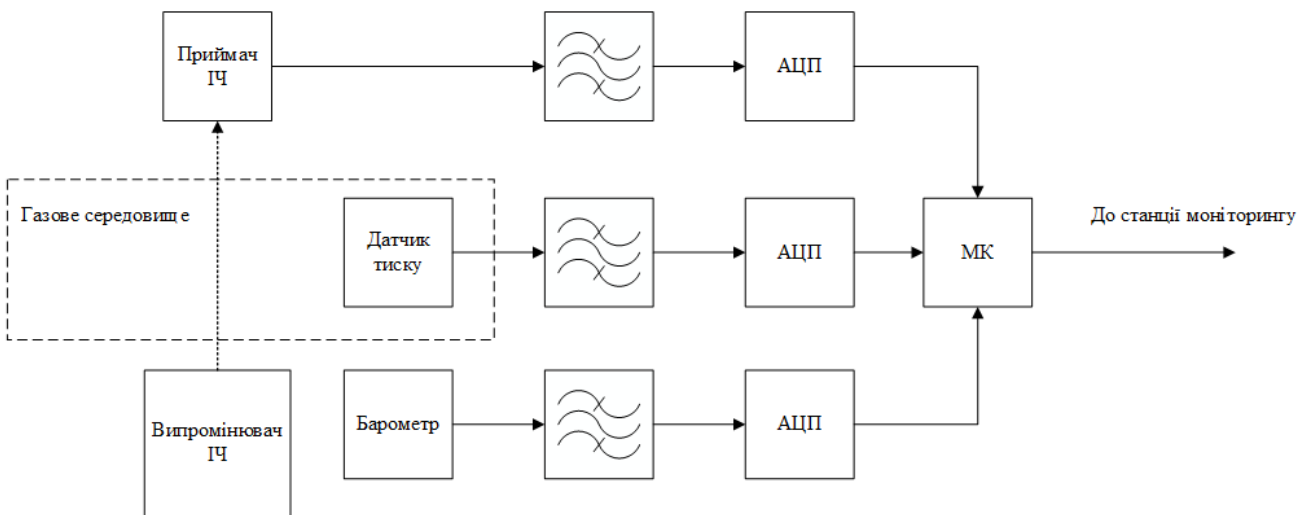


Рисунок 3. Узагальнена структурна схема оптичного капнографа

Окрім випромінювача та приймача ІЧ випромінювання в даному виді капнографів також присутні давачі атмосферного і внутрішнього тиску.

Оскільки капнограф вимірює парціальний тиск діоксиду вуглецю в газовій суміші додатково повинен враховуватись атмосферний тиск та тиск всередині дихальної системи.

Досвід експлуатації таких пристроїв показує, що основними проблемами капнографів є недостатня швидкодія та спотворення форми сигналу. Низька швидкодія обумовлена затримкою сигналу, яка виникає внаслідок обробки вхідних сигналів з детектора інфрачервоного випромінювання та давачів тиску. Форма сигналу може бути спотворена внаслідок механічного впливу (спонтанне дихання пацієнта, серцеві викиди), а також через недосконалу обробку вхідних сигналів. Аналіз показує, що дані проблеми найбільш критичні для новонароджених пацієнтів. Через високу частоту дихання (приблизно 60 циклів дихання в хвилину) і невеликий об'єм легень форма сигналу може бути значно спотворена, а затримки сигналу можуть сягати кількох циклів дихання, а отже і значення концентрації діоксиду вуглецю може не відповідати дійсності. Ці недоліки системи в подальшому можуть призвести до некоректного відображення стану пацієнта і неправильних маніпуляцій з боку медичного персоналу.

Для покращення наявної методики визначення концентрації діоксиду вуглецю пропонується комплексний підхід, який включає в себе модернізацію схемотехнічних, програмних та конструкційних рішень. Першочерговим завданням є збереження форми сигналу при високих частотах дихання, що досягається підвищенням швидкодії системи обробки сигналів та використання нових алгоритмів. Додаткова фільтрація сигналу зменшує вплив зовнішніх факторів (наприклад спонтанного дихання пацієнта) на коректність відображення капнограми та концентрації діоксида вуглецю.

### **Перелік посилань**

1. Nagler J. Capnographic Monitoring in Respiratory Emergencies / J. Nagler, B. Krauss. // *Clinical Pediatric Emergency Medicine*. – 2009. – №10(2). – С. 82-89.
2. Kerslake I. Uses of capnography in the critical care unit / I. Kerslake, F. Kelly. // *BJA Education*. – 2017. – №17. – С. 178–183.
3. Santoso D. Design and implementation of capnograph for laparoscopic surgery. / D. Santoso, F. Setiaji. // *International Journal of Information and Electronics Engineering*. – 2013.

### **Анотація**

Розглянуто основні проблемні питання проведення вимірювань концентрації діоксида вуглецю у повітрі, що видихається пацієнтом з урахуванням особливостей побудови капнографів та виділено можливі шляхи вирішення даних питань.

Ключові слова: капнограф, обробка сигналів.

### **Abstract**

The work examines the main problematic issues of measurements the concentration of carbon dioxide in the air exhaled by the patient, taking into account the peculiarities of the construction of capnographs, and possible ways to solve these issues are highlighted.

Keywords: capnograph, signal processing.

## ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧІ ВИКОНУЮЧІ ПРИСТРОЇ У СТАБІЛІЗАЦІЙНО-ПОВОРОТНИХ ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ

*Стешенко В. Д. аспірант; Титенко О. Т. к.т.н., доцент;  
Новосад А. А. ст.викладач; Деружко Б. М. аспірант  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна*

В теперішній час широко використовують оптичні системи для безпілотних літальних апаратів. Використання систем наведення та стабілізації значно розширюють їх функціональні можливості. Для стабілізації та наведення оптичної системи використовують спеціалізовані поворотні платформи, що мають задовольняти декільком вимогам: кількості ступенів свободи, кутами повороту, роздільною здатністю та швидкодією. Для спрощення обрання раціонального варіанту виконуючого пристрою поворотної платформи запропонована класифікація, що сформована на базі принципів функціонування електромеханічних виконуючих пристроїв.



Рисунок 1. Класифікація електромеханічних виконуючих пристроїв

Для розробки класифікації було розглянуто і проаналізовано літературу з напрямків проектування роботизованих систем та мехатроніки[1][4] та публікації за напрямком розробки оптичних поворотно-стабілізаційних систем[2][3].

Класифікація розроблена за наступними принципами та структурою: електромеханічні перетворювачі являють собою велику групу виконуючих пристроїв в основі яких лежить процес перетворення електричної енергії в механічну. Електромеханічні перетворювачі, в свою чергу, розділені за способами перетворення електричної енергії в механічну.

Для прикладу застосування даної класифікації виконаємо вибір електромеханічного виконуючого пристрою для підвісу оптичної системи для безпілотного літального апарату. За критерії вибору візьмемо наступні дані: масу корисного навантаження 200г; масу поворотного комплексу до 400 г.; роздільну здатність кута нахилу 1 градус; швидкість повороту 200 градусів на секунду; кути повороту за креном 360, за тангажем 180, за ристанем 270.

Почнемо вибір відповідно до наведеної класифікації. Проаналізуємо кожну групу загалом:

**Електромагнітні.** Пристрої розраховані на виконання роботи по прямолінійному переміщенню виконуючого механізму. Для наведеної задачі може бути застосований багатофазний лінійний актюатор який має можливість чіткого позиціонування але має складну схему керування, не забезпечує достатніх кутів повороту, потребує механізму перетворення лінійного руху в обертальний, має вагу більшу ніж електромагнітний двигун за рахунок прямої залежності робочої амплітуди виконуючого пристрою і кількості електромагнітних котушок. Електромагнітні системи не задовільняють вимог для даної системи.

**П'єзоелектричні.** Може бути застосований п'єзоелектричний двигун. Здатен забезпечити чітке позиціонування, достатню швидкість повороту, миттєвий старт та зупинку, достатній крутний момент. Недоліком є складність керування, вага потенційно підходящого двигуна, мала розповсюдженість відповідно мала гнучкість у підборі необхідної моделі, ціна.

**Електродвигунні.** DC двигуни, або колекторні двигуни постійного струму прості у керуванні, дешеві але мають недолік у наявності контактних щіток що призводить до викиду електромагнітних завад. Мають застосовуватись тільки у складі сервомеханічної системи з зворотнім зв'язком та редуктором.

AC Двигуни або двигуни змінного струму можуть задовільнити вимоги але потребують складної частотної системи керування та сервомеханічного приводу та не є розповсюдженими у розмірі і вазі які б могли задовільнити вимоги. AC двигуни не доцільні для задоволення вимог для даної системи.

До інших двигунів відносяться BLDC (безщіткові двигуни постійного струму) та крокові двигуни. Обидва типи пристроїв мають ряд переваг в порівнянні з попередньо розглянутими електромеханічними перетворювачами, а саме: високий крутний момент на низьких обертах, можливість чіткого позиціонування, високий рівень надійності, просту конструкцію,

гнучкість у підборі необхідної моделі двигуна та алгоритмів керування. Кроковий двигун додатково має особливість у можливості утримування приводного валу у статичному положенні і можливості реалізації контролю прискорення, що може зменшити вірогідність пропуску кроків і вірогідно дозволити використовувати електромеханічний перетворювач без кіл зворотного зв'язку або сервомеханічної системи. Електродвигунні електромеханічні перетворювачі у вигляді BLDC та крокових двигунів здатні задовільнити вимоги для даної системи.

Отже за допомогою розробленої класифікації було розглянуто групи електромеханічних перетворювачів, проаналізовано узагальнені особливості кожної підгрупи і шляхом критичного підбору було визначено що для того щоб поворотна система могла задовільнити вказані вимоги слід застосовувати двигуни групи електродвигунні, підгрупи інші до яких входять безщіткові двигуни постійного струму та крокові двигуни. Дані електромеханічні перетворювачі мають ряд концептуальних переваг в порівнянні з іншими розглянутими пристроями.

### **Перелік посилань**

1. Dr.Klaus Janschek. Mechatronic Systems Design, Methods. Models. Concepts Dr. Kristof Richmond. Dr.Clarence Klaus Janschek DOI:10.1007/978-3-642-17531-2, — 2012,
2. John Lester Miller. Design challenges regarding high- definition electro-optic/infrared stabilized imaging systems/ John Lester Miller, Scott Way, Bruce Ellison, Cynthia Archer. DOI:10.1117/1.OE.52.6.061310, — 2013.
3. Jieji Zheng, Adaptive Multi-Parameter Estimation of Inertial Stabilization Platform with Unknown Load /Jieji Zheng, Xin Xie, Baoyu Li, Ning Chen, Dapeng Fan /doi.org/10.3390/act12040176,— 2023.
4. Clarence W. de Silva. Mechatronic Systems Devices, Design, Control, Operation and Monitoring, Mechatronic Systems . Clarence W. de Silva — 2014,

### **Анотація**

З метою спрощення вибору раціонального варіанту електромеханічного перетворювача для систем стабілізації і повороту запропоновано класифікацію електромеханічних перетворювачів, на базі принципів функціонування електромеханічних виконуючих пристроїв та їх експлуатаційних властивостей. Наведено приклад застосування класифікаційної таблиці для вибору раціонального електромеханічного перетворювача для стабілізаційно-поворотної оптичної системи.

Ключові слова: стабілізаційно-поворотна оптична система, класифікація електромагнітних перетворювачів, поворотна система, спрощення вибору електрично приводу.

### **Abstract**

In order to simplify the selection of a rational electromechanical converter for stabilization and rotation systems, a classification of electromechanical converters has been proposed based on the principles of operation of electromechanical actuators and their operational properties. An example of the application of the classification table for choosing a rational electromechanical converter for a stabilization-rotation optical system is provided.

Keywords: stabilization-rotation optical system, classification of electromagnetic converters, rotation system, simplification of electric drive selection.

---

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК АВТОРІВ

Vyshnevyyi S. V.	8	Лащевська Н. О.	62
Деружко Б. М.	46	Лемеха В. О.	66
Мовчанюк А. В.	66	Маленчик Т. В.	27
Burkovskiy Y.	50	Манчак К. В.	30
Nikitchuk A. V.	53	Мартиненко Н. В.	66
Zarogozhets D. A.	8	Масюк І. В.	69
Антипенко Р. В.	73	Мирончук О. Ю.	20, 36, 42
Бендак В. Р.	27	Навроцький Д. О.	39
Богачук В. В.	56	Неуймін О. С.	11
Богомолов М. Ф.	33, 69	Новосад А. А.	66, 76
Василенко Д. О.	14	Олійник М. В.	27
Головня В. М.	59	Парфило І. О.	33
Головня Є. С.	59	Пономарьов І. В.	73
Гончарук К. Г.	11	Прокопов Р. О.	36
Деружко Б. М.	27	Саратов Є. М.	46
Деружко Б. М.	76	Сидоров Д. В.	39
Дубровка Ф. Ф.	46	Соколов К. А.	24
Жук С. Я.	24, 27	Сосновий В. О.	62
Задорожний Г. С.	14	Стешенко В. Д.	76
Зіньковський Ю. Ф.	50, 59	Тарасова Л. Д.	56
Іванченко Ю. В.	17	Титенко О. Т.	76
Коваль М. А.	20	Чмельов В. О.	17, 30
Кот М. Г.	24	Шпилька М. В.	42

---

Комп'ютерна верстка В. М. Головня.

Підп. до друку \_\_\_\_\_ р. Формат 60x84 1/16.

Папір офс. Computer Modern

Спосіб друку — ризографічний. Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Обл.-вид. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_ пр.

Зам. № \_\_\_\_

---

Видавництво "Політехніка" КПІ ім. Ігоря Сікорського

вул. Політехнічна, 14, корп. 15

м. Київ, 03056

тел. (044) 204-81-78