

УДК 004.94:621.396.67

## **МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЇ АНТЕНИ ДЛЯ БЕЗДРОВОВИХ МЕРЕЖ НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

Омельченко А.В.

e-mail: andrii.omelchenko@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. АПОТ  
м. Харків, Україна

This paper examines the development and optimization of modern antenna systems for wireless communication. The study highlights the importance of antenna parameters such as gain, bandwidth, and radiation pattern in ensuring efficient signal transmission and reception. A novel adaptive antenna model is proposed, incorporating phased array technology and metamaterials to enhance performance. The implementation of fractal structures and digital phase control enables dynamic beam steering and miniaturization. Experimental results confirm the feasibility of the proposed design for applications in 5G networks, IoT, and satellite communications.

*Вступ.* Антени є важливими елементами будь-якої бездротової системи зв'язку. Вони відповідають за випромінювання та прийом електромагнітних хвиль у заданому частотному діапазоні. Сучасні тенденції розвитку телекомунікаційних технологій вимагають створення ефективних, малогабаритних, багатофункціональних антен, здатних працювати в складних умовах, таких як 5G, Інтернету речей (IoT), супутниковий зв'язок та радіолокація.

Проблема розробки антен тісно пов'язана з такими факторами як фізичні обмеження – розмір, форма, матеріал; параметри потужності – діаграма спрямованості, коефіцієнт підсилення; сумісність з іншими компонентами системи – інтеграція в мобільні пристрої, автомобільні системи, супутники тощо. Нагальною проблемою також є подолання або адаптація антен до матеріальних та радіоперешкод.

Застосування сучасних цифрових методів проектування, таких як машинне навчання, генетичні алгоритми та електромагнітне моделювання, відкриває нові можливості у створенні ефективних антенних елементів.

*Об'єктом дослідження* є антенні системи та антени, їх конструктивні особливості, електромагнітні характеристики та методи оптимізації для підвищення ефективності роботи у бездротових мережах. Особливу увагу приділено адаптивним антенним решіткам, метаматеріалам [5] і фрактальним антенам, що дозволяють розширити функціональні можливості антен та підвищити їхню продуктивність у сучасних телекомунікаційних системах.

*Мета дослідження* – розробка та оптимізація антенних елементів із покращеними характеристиками для бездротових мереж нового покоління.

*Зміст дослідження.* Запропонована модель адаптивної антени використовує фазовані антенні решітки, що дозволяють змінювати напрямок випромінювання без фізичного переміщення антени. Основним обчислювальним модулем може бути широко розповсюджений мікроконтролер STM32, який керуватиме фазовим зсувом [2] та забезпечуватиме динамічне налаштування діаграми спрямованості відповідно до змін умов прийому і передачі. У процесі дослідження розглянуто різні типи антен, зокрема дипольні антени, що є класичним ширококутовим рішенням для телекомунікаційних систем, та петльові антени, які використовуються для прийому сигналів у низькочастотному діапазоні. Окрему увагу приділено фрактальним антенам, що завдяки особливій геометричній структурі дозволяють працювати на кількох частотах одночасно, а також метаматеріальним антенам, які використовують спеціальні штучні матеріали для покращення коефіцієнта підсилення та спрямованості випромінювання.

Дослідження охоплює також фазовані антенні решітки, що забезпечують керувану діаграму спрямованості без механічного руху, та антени на основі друкованих плат, які завдяки своїй компактності широко застосовуються у мобільних пристроях і системах IoT. Для реалізації антенних систем використано мікроконтролер, на якому є можливість реалізувати систему реального часу, який відповідає за керування фазуванням і комутацією антенних елементів, а також модуль фазового управління ADAR1000, що дозволяє регулювати фазу сигналу в фазованих антенних решітках. Для тестування характеристик випромінювання застосовано аналізатор спектра R&S FSV3000 та векторний аналізатор ланцюгів Keysight E5080B, який забезпечує точне вимірювання параметрів антен, таких як коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) [3] та імпеданс.

Чисельне моделювання та оптимізація антенних елементів проводилися за допомогою програмного забезпечення HFSS (Ansys) та CST Microwave Studio, що дозволяє отримати детальні електромагнітні характеристики антен перед їх фізичним виготовленням. Основні принципи реалізації антенних систем включають цифрове управління фазовими масивами, що дозволяє адаптивно змінювати параметри випромінювання [2], оптимізацію коефіцієнта підсилення та мінімізацію втрат у метаматеріальних антеннах, а також застосування фрактальних структур для підвищення ефективності роботи антен у широкому частотному діапазоні.

Окрему увагу приділено антенам на основі друкованих плат, які забезпечують компактність конструкції та можливість інтеграції у портативні пристрої. Проведене дослідження передбачало тестування антенної системи в умовах лабораторного середовища та реального використання у частотному діапазоні 2,4–5 ГГц, що є актуальним для Wi-Fi, Bluetooth, мобільного зв'язку та інших бездротових технологій. *Висновки.* Розвиток антенних технологій є ключовим напрямом удосконалення

бездротових систем зв'язку. Застосування фрактальних структур, метаматеріалів та цифрового управління антенами дозволяє покращити їхні характеристики, зменшити розміри і підвищити ефективність. Розроблена модель адаптивної антени підтвердила свою працездатність у ході експериментальних випробувань, що свідчить про перспективність її використання в сучасних телекомунікаційних системах.

*Наукова новизна* запропонований підхід дозволяє підвищити ефективність антен за рахунок цифрового управління параметрами випромінювання, використання нових матеріалів та оптимізації конструктивних рішень. Подальші дослідження будуть спрямовані на інтеграцію цих антен у мобільні платформи, безпілотні літальні апарати та супутникові системи.

#### Список використаних джерел:

1. Цалієв Т.А. Антени та пристрої НВЧ : консп. лекцій (част. 1) Одеса : Одеська Національна Академія Зв'язку ім. О.С. Попова, 2005. 56 с.
2. Shkil O., Miroshnyk M., Rakhlis D., Trifanov O. Data structures for deductive simulation of HDL conditional operators. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2023. No 3(25). Pp. 98–113. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.25.098>
3. Шкіль О., Рахліс Д., Філіпенко І., Корнієнко В. і Рожнова Т. Автоматизоване проєктування вбудованих систем цифрового оброблення сигналів на платформі SoC. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2024. No 1(27). С. 192–203. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.192>
4. ADAR1000 Datasheet / Datasheet Analog Devices, Ink. 2018-2019, D16790-0-3/19(A). URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1253120/AD/ADAR1000.html> (дата звернення: 10.02.2025).
5. Kumar N., Dwivedi R.P., Usha P., Dubey R., Arora A. Design of Dual-Polarized Compact Quad Band Metamaterial Antenna. *Journal of nano-and electronic physics*. 2021. Vol. 13, No 3. P. 03037-1–03037-4. DOI: [https://doi.org/10.21272/jnep.13\(3\).03037](https://doi.org/10.21272/jnep.13(3).03037) (дата звернення: 12.02.2025).