

## БАГАТОЕЛЕМЕНТНА ЛІНІЙНА АНТЕННА РЕШІТКА LTE В РЕЖИМІ ОСЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*У роботі представлено дослідження багатоелементної лінійної антенної решітки LTE, що працює в режимі осьового випромінювання. Проаналізовано вплив міжелементної відстані, типу випромінювачів та фазового збудження на формування діаграми спрямованості. Наведено результати чисельного моделювання, які підтверджують ефективність синфазного режиму та оптимізованої геометрії решітки. Отримані характеристики демонструють перспективність використання такої решітки в обладнанні LTE.*

**Ключові слова:** антена, лінійна решітка, LTE, осьове випромінювання, діаграма спрямованості, моделювання.

### Вступ

Сучасні телекомунікаційні системи стандарту LTE потребують високої якості радіозв'язку, стабільного покриття та здатності працювати в умовах значних перешкод і щільної спектральної структури [1]. Для цього широко застосовуються багатоелементні антенні решітки, що дають змогу формувати просторово спрямовані діаграми та застосовувати методи просторово-часової обробки сигналів [2]. Особливої уваги заслуговують лінійні антени решітки, які забезпечують вузьку діаграму спрямованості та високий коефіцієнт підсилення при відносно невеликій площі апертури [3].

Одним із перспективних режимів роботи таких систем є режим осьового випромінювання, який забезпечує випромінювання вздовж геометричної осі решітки. Цей режим є корисним для базових станцій LTE, що мають забезпечувати спрямоване покриття у вертикальній площині або формувати керовані вісі випромінювання. Дослідження багатоелементної лінійної антенної решітки в режимі осьового випромінювання дозволяє оптимізувати геометрію, взаємне розташування елементів та фазовий розподіл, забезпечивши покращення енергетичних характеристик радіоканалу та зниження рівнів побічних пелюсток.

Метою роботи є аналіз конструктивних та електродинамічних параметрів багатоелементної антенної решітки LTE, що працює в осьовому режимі, а також оцінка її випромінювальних характеристик для покращення ефективності системи мобільного зв'язку.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати принцип роботи багатоелементної лінійної антенної решітки LTE в режимі осьового випромінювання.
2. Визначити вплив міжелементної відстані, геометрії випромінювачів та фазового збудження на формування діаграми спрямованості.
3. Провести чисельне моделювання для оцінки електродинамічних характеристик решітки у робочому діапазоні LTE.

### Результати дослідження

У роботі розглянуто лінійну антенну решітку, що складається з рівномірно розташованих випромінювачів, синфазно збуджених та оптимізованих для частотного діапазону LTE (1,7–1,9 ГГц). За допомогою чисельного моделювання методом скінченних елементів досліджено вплив міжелементної відстані, типу елементарного випромінювача та фазового розподілу на формування діаграми спрямованості вздовж осі решітки.

Показано, що для досягнення стійкого осьового режиму доцільно вибирати міжелементний інтервал у межах  $0,45\text{--}0,55\lambda$ , що мінімізує паразитні бічні пелюстки та забезпечує формування одновершинної діаграми. Аналіз продемонстрував, що збільшення кількості елементів від 8 до

16 призводить до зростання коефіцієнта підсилення на 3–4 дБ та суттєвого звуження основного променя, що позитивно впливає на просторову селективність.

Також встановлено, що синфазне збудження є найефективнішим саме для осевого режиму, тоді як введення лінійного фазового градієнта спричиняє відхилення головного променя і переводить решітку у режим бічного випромінювання. Дослідження показали, що використання широкосмугових вібраторних елементів дозволяє досягти КСХ  $< 1,4$  у робочому діапазоні LTE, що забезпечує надійну погодженість з передавальним трактом.

Моделювання електромагнітного поля показало низький рівень взаємного впливу між сусідніми елементами (менше  $-15$  дБ), що підтверджує ефективність обраної геометрії. Випробування у симуляційному середовищі продемонстрували стабільність діаграми спрямованості при зміні частоти в межах смуги LTE-1800, що є важливою умовою для реальних базових станцій.

## Висновки

Дослідження багатоеlementної лінійної антенної решітки LTE, що працює в режимі осевого випромінювання, показало високу ефективність такої конфігурації для застосувань у системах мобільного зв'язку. Оптимізований міжелементний інтервал та синфазне збудження дозволяють отримати вузьку одновершинну діаграму спрямованості, зменшити рівень побічних пелюсток і підвищити коефіцієнт підсилення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Semenov, A. O., Semenova, O. O., Pinaiev, B., Kulias, R., & Shpylovyi, O. (2022). Development of a flexible antenna-wristband for wearable wrist-worn infocommunication devices of the LTE standard. *Technology Audit and Production Reserves*, 3(1(65)), 20–26. DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261718
2. Семенов А., Громик О. Дослідження спрямованих і хвильових параметрів антени поверхневих хвиль. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, (2), 2023, 125–133. DOI: 10.31891/2219-9365-2023-74-16
3. Семенов А. О., Семенова О. О., Пінаєв Б. О., Козін Д. О., Кристофоров А. В. Широкосмугова прямокутна рупорна антена з діелектричною лінзою для бездротового зв'язку «точка-точка». *Системи та технології*, 64(2), 2022, 38-47. DOI: 10.32782/2521-6643-2022.2-64.5

**Буйницький Максим Васильович** — студент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [research-sector@vntu.edu.ua](mailto:research-sector@vntu.edu.ua)

Науковий керівник: **Семенов Андрій Олександрович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [semenov.a.o@vntu.edu.ua](mailto:semenov.a.o@vntu.edu.ua)

## LTE MULTI-ELEMENT LINEAR ANTENNA ARRAY IN AXIAL RADIATION MODE

### Abstract

*The paper presents a study of a multi-element linear LTE antenna array operating in axial radiation mode. The influence of inter-element spacing, radiator type, and excitation phase on the beam pattern formation is analyzed. Numerical simulations confirm the effectiveness of in-phase excitation and the optimized array geometry. The obtained characteristics demonstrate the suitability of such an array for LTE facilities applications.*

**Keywords:** antenna, linear array, LTE, axial radiation, beam pattern, simulation.

**Buynitsky Maksym Vasyliovych** — student at the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [research-sector@vntu.edu.ua](mailto:research-sector@vntu.edu.ua)

Supervisor: **Semenov Andriy Oleksandrovych** — Dr. Sc. (Eng.), Full Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [semenov.a.o@vntu.edu.ua](mailto:semenov.a.o@vntu.edu.ua)