

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ ДИПОЛЯ НАДЕНЕНКО У ВІЛЬНОМУ ПРОСТОРИ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

У роботі отримано результати математичного моделювання діаграми спрямованості диполя Надененко у вільному просторі в діапазоні довжин хвиль 48..100 м. Встановлено, що зі збільшенням довжини хвилі ширина пелюсток діаграми спрямованості збільшується.

**Ключові слова:** антена, Диполь Надененко, діапазон частот, випромінювання, діаграма спрямованості.

### Abstract

The results of mathematical modeling of the directivity pattern of the Nadenenko dipole in free space in the wavelength range of 48...100 m are obtained in the work. It is established that with an increase in the wavelength, the width of the lobes of the directivity pattern increases.

**Keywords:** antenna, Nadenenko Dipole, frequency range, radiation, radiation pattern.

### Вступ

Для прийому та передачі радіосигналів у гектаметровому діапазоні знайшов застосування симетричний вібратор – диполь Надененко. У вібраторах такого типу вхідний опір сильно міняється при зміні довжини хвилі. Надененко запропонував виконувати плечі вібратора з великим поперечним перерізом. Диполь Надененко являє собою симетричний вібратор великого діаметра, який складається з дротів, що розташовані по твірній циліндру. Підвіс антени повинен бути не менше ніж чверть хвилі. Широка діапазонність диполя Надененко досягається за рахунок зменшення його хвильового опору шляхом збільшення діаметра диполя [1].

Диполь Надененко має переваги над іншими симетричними вібраторами. Завдяки тому, що він виконаний з проводів, які розташовані по твірній циліндра, значно зменшується вхідний опір. А це приводить до зменшення вхідного опору антени зі зміною довжини хвилі [1].

Відомо, що симетричний вібратор в значному діапазоні хвиль зберігає направлення максимуму випромінювання. У широкому діапазоні хвиль для диполя Надененко можна отримати задовільний коефіцієнт біжучої хвилі [2]. Завдяки простоті конструкції, широкому діапазоні хвиль, доброму узгодженню з стандартними фідерами Диполь Надененко використовують у тих випадках, коли потрібні слабо направлені антени [3]. Тобто для дальнього радіозв'язку і радіомовлення, а також у ряді спеціальних застосувань (заго-ризонтна радіолокація, радіонавігація та ін.).

Метою роботи є модельне дослідження спрямованих властивостей диполя Надененко для випромінювання радіохвиль гектаметрового діапазону частот.

### Результати дослідження

Система координат для розрахунку діаграм спрямованості зображена на рисунку 1, де  $L$  – довжина плеча вібратора,  $T$  – точка спостереження,  $\theta$  – кут між поверхнею землі та напрямком в точку спостереження,  $\varphi$  – кут між віссю симетричного вібратора і проекцією точки спостереження у горизонтальній площині  $ХОУ$ . Для отримання діаграми спрямованості антени в горизонтальній площині для хвиль  $\lambda_{\min} = 48(м)$ ,  $\lambda_{\text{сер}} = 74(м)$ ,  $\lambda_{\max} = 100(м)$  достатньо використати формулу [4]

$$f(\varphi) = \frac{\cos(kl \sin \varphi) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \sin \varphi} \quad (1)$$

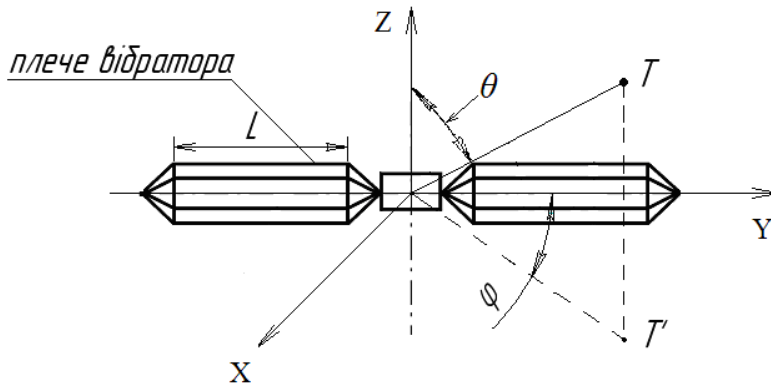


Рис. 1. Система координат для розрахунку діаграм спрямованості

Для математичного моделювання діаграм спрямованості антени будемо використовувати програмний математичний пакет Mathcad 15. Нормовані діаграми спрямованості диполя Надененко у горизонтальній площині наведені на рис. 2.



Рис. 2. Нормована діаграма спрямованості в горизонтальній площині при (а)  $\lambda_{\min} = 48(м)$ , (б)  $\lambda_{\text{сер}} = 74(м)$  і (в)  $\lambda_{\max} = 100(м)$

Здійснимо математичне моделювання діаграми спрямованості антени в вертикальній площині для хвиль довжин хвиль  $\lambda_{\min} = 48(м)$ ,  $\lambda_{\text{сер}} = 74(м)$ ,  $\lambda_{\max} = 100(м)$  за формулою [4]

$$f(\theta) = \sin(KH \sin \theta). \quad (2)$$

де  $\theta$  – кут між поверхнею землі та напрямком в точку спостереження.

Нормовані діаграми спрямованості диполя Надененко у вертикальній площині наведені на рис. 3.

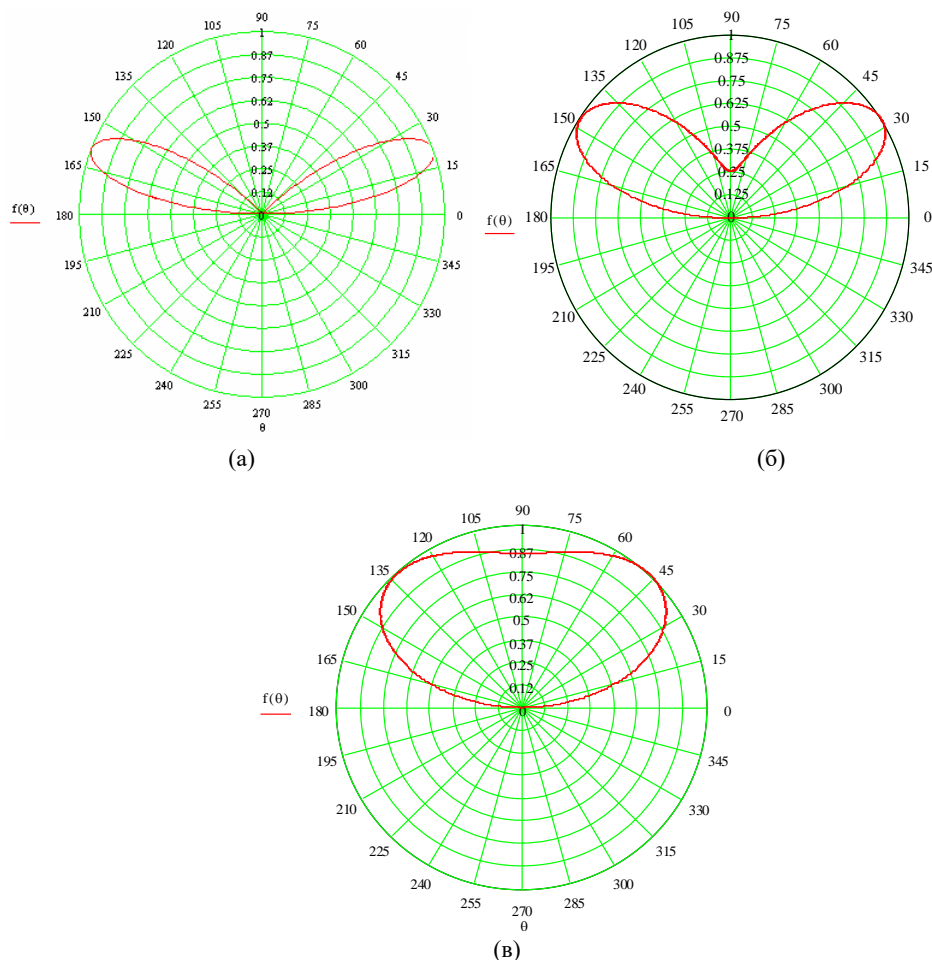


Рис. 3. Нормована діаграма спрямованості в горизонтальній площині при (а)  $\lambda_{\min} = 48(м)$ , (б)  $\lambda_{\text{сеп}} = 74(м)$  і (в)  $\lambda_{\max} = 100(м)$

Перевіримо наявність максимумів і мінімумів напрямків випромінювання, для чого скористаємося формулами [5]

$$\theta_{\max} = \arccos \left[ \frac{(2\nu + 1)\lambda}{4H} \right], \quad (3)$$

$$\theta_{\min} = \arccos \left[ \frac{\nu\lambda}{2H} \right], \quad (4)$$

де  $\nu = 0, 1, 2, 3, \dots$

Значення діаграми спрямованості в максимумах обчислюємо за формулою [6]

$$f(\theta_{\max}) = (1 - \cos kl). \quad (5)$$

При  $\nu = 0$

- для  $\lambda_{\min} = 48(м)$

$$\theta_{\max} = \arccos \left[ \frac{(2 \cdot 0 + 1) \cdot 48}{4 \cdot 33,97} \right] = 69,3^\circ, \quad f(\theta_{\max}) = (1 - \cos 69,3^\circ) = 0,646,$$

$$\theta_{\min} = \arccos \left[ \frac{0 \cdot 48}{2 \cdot 33,97} \right] = 90^\circ;$$

- для  $\lambda_{\min} = 74(\text{м})$

$$\theta_{\max} = \arccos \left[ \frac{(2 \cdot 0 + 1) \cdot 74}{4 \cdot 33,97} \right] = 57^\circ, \quad f(\theta_{\max}) = (1 - \cos 57^\circ) = 0,455,$$

$$\theta_{\min} = \arccos \left[ \frac{0 \cdot 74}{2 \cdot 33,97} \right] = 90^\circ;$$

- для  $\lambda_{\min} = 100(\text{м})$

$$\theta_{\max} = \arccos \left[ \frac{(2 \cdot 0 + 1) \cdot 100}{4 \cdot 33,97} \right] = 42,6^\circ, \quad f(\theta_{\max}) = (1 - \cos 42,6^\circ) = 0,264,$$

$$\theta_{\min} = \arccos \left[ \frac{0 \cdot 100}{2 \cdot 33,97} \right] = 90^\circ.$$

Коефіцієнт напрямленої дії, з врахуванням впливу землі, в напрямку максимального випромінювання для хвиль з довжиною  $\lambda_{\min} = 48(\text{м})$ ,  $\lambda_{\text{сер}} = 74(\text{м})$ ,  $\lambda_{\text{макс}} = 100(\text{м})$  обчислюємо по формулі [6]

$$D = \frac{120}{R_\Sigma} (1 - \cos kl)^2 \cdot \frac{(1+m)^2 \cdot R_{11}}{R_\Sigma}. \quad (6)$$

Для  $\lambda_{\min} = 48(\text{м})$

$$D_{\min} = \frac{120}{193} (1 - \cos 225) \cdot \frac{(1+1)^2 \cdot 195}{193} = 7,31.$$

Для  $\lambda_{\min} = 74(\text{м})$

$$D_{\text{сер}} = \frac{120}{210} (1 - \cos 146) \cdot \frac{(1+1)^2 \cdot 200}{210} = 7,27.$$

Для  $\lambda_{\min} = 100(\text{м})$

$$D_{\text{макс}} = \frac{120}{160} (1 - \cos 108) \cdot \frac{(1+1)^2 \cdot 120}{160} = 3,84.$$

### Висновки

У роботі здійснено модельне дослідження діаграми спрямованості диполя Наденко. У вертикальній площині діаграма спрямованості при  $\lambda_{\min} = 48 \text{ м}$ . має дві відокремлені пелюстки, при  $\lambda_{\text{сер}} = 78 \text{ м}$ . також дві відокремлені пелюстки та при  $\lambda_{\text{макс}} = 100 \text{ м}$ . В горизонтальній для всього діапазону довжин хвиль спостерігаємо дві симетричних пелюстки. Це зумовлено тим, що диполь Наденко має дзеркальне зображення, разом з яким він утворює систему зв'язаних вібраторів. Зі збільшенням довжини хвилі ширина пелюсток збільшується. Також розраховано коефіцієнт спрямованої дії, з врахуванням впливу землі антени для трьох довжин хвиль. У великому діапазоні хвиль для диполя Наденко можна отримати задовільний коефіцієнт біжучої хвилі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Семенов А.О., Гнатенко А.Ю., Козюк М.Е. Дослідження спрямованих та енергетичних характеристик антени Надененко. Тези доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 12-14 грудня 2022 р., Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка», 2022. – С. 46-47. ISBN 978-617-529-397-3
2. Семенов А.О., Шутило М.А., Луцький Є.Ф., Зубарев О.В. Дослідження впливу поверхні землі на спрямовані властивості пасивних логоперіодичних антен цифрового телебачення стандартів DVB-T і DVB-T2. Збірник тез доповідей II міжнародної конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», 29-31 жовтня 2013 року, Вінниця. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – С. 206-208.
3. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Куляс Р.О., Шпильовий О.О. Гнучка двохсмугова LTE антена для радіочастотних технологій доступу носимих пристроїв бездротових інфокомунікаційних і сенсорних мереж. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 4 2022. Частина 1. С. 32-38. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/07>
4. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л.В. Антени та пристрої надвисоких частот: Підручник для ВНЗ / За ред. Л.Я. Ільницького. – К: Укртелеком, 2003. – 496 с.
5. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. Пристрої надвисоких частот та антени: Навч. посібник. – К: НАУ, 2013. – 188 с.
6. Семенов А.О., Семенова О.О., Пінаєв Б.О., Білик О.В., Шпильовий О.О. Дослідження густини потоку електромагнітного випромінювання від елементарного електричного випромінювача у ближній та проміжних зонах. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 3 2022. С. 13-19. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/03>

**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)

**Овчарук Артем Олександрович** — аспірант групи 172А-22, кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [artyom.ovcharuk@gmail.com](mailto:artyom.ovcharuk@gmail.com)

**Бабій Ярослав Андрійович** — магістрант групи РТ-22м, кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [andrexvich@icloud.com](mailto:andrexvich@icloud.com)

**Semenov Andriy Oleksandrovych** — Dr. Sc. (Eng.), 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)

**Ovcharuk Artem Oleksandrovych** — student of group 172A-22, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [artyom.ovcharuk@gmail.com](mailto:artyom.ovcharuk@gmail.com)

**Babii Yaroslav Andriiovych** — master student of group RT-22m, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [andrexvich@icloud.com](mailto:andrexvich@icloud.com)