

detecting unmanned aerial vehicles of each type, the indicator "probability of UAV detection" is used. The fact of UAV detection is recorded in three variants of partial task completion. The first embodiment of the partial solution of the task takes into account unmanned aerial vehicles detected by three systems. The second embodiment of the task takes into account unmanned aerial vehicles detected by any two of the three systems. The third variant of the partial solution of the task takes into account unmanned aerial vehicles detected by any one system out of three. To determine the performance indicator, a discrete-continuous stochastic model of the operational functional behavior of an electronic complex consisting of radar, optoelectronic or thermal imaging and acoustic systems with a given algorithm for its functioning is proposed. The development of a probabilistic graph of states and transitions is shown, on the basis of which a stochastic model of the operational functional behavior of the UAV detection electronic complex is formed in the form of a system of Kolmogorov-Chopman differential equations. The degree of adequacy of the proposed discrete-continuous stochastic model of the operational functional behavior of the electronic complex is determined by taking into account the performance indicators of the systems that are part of it. As indicators of system efficiency, we used "the probability of detecting a UAV by the system of the electronic complex when the UAV is in the area controlled by this system" and "the average values of the time intervals from the moment of UAV appearance in the controlled area until the moment of its detection by the corresponding system". To evaluate the increase in the efficiency of the created UAV detection electronic systems, an indicator is used in the form of the ratio of the probability of non-detection of UAVs by one system when it is used autonomously and the probability of non-detection of UAVs by the created electronic system.

Keywords: unmanned aerial vehicle complex, unmanned aerial vehicles, air target detection, UAV detection electronic complex, operational behavior of the complex, discrete-continuous stochastic model of operational behavior.

УДК 621.396.67 (045)

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.29.2023.26-33>

І.П. Кіріс¹, Є.В. Рижов², М.В. Мороз¹, М.А. Дєдов¹, Є.В. Пелешок¹, І.М. Старинський³

¹Науково-дослідний інститут воєнної розвідки, м. Київ

²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

³Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ

Article history: Received 30 May 2023; Revised 31 May 2023; Accepted 30 September 2023

СИНТЕЗ МОБІЛЬНОЇ ЛОГОПЕРІОДИЧНОЇ ВІБРАТОРНОЇ АНТЕНИ ДЛЯ ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ 40–500 МГц

Синтезовано мобільну логоперіодичну вібраторну антену (далі – мобільна ЛПА) для роботи з широко-смуговими сигналами в діапазоні частот 40–500 МГц. Проведено розрахунок геометричних розмірів антени. За допомогою програмного продукту MMANA-GAL проведено розрахунок діаграми направленості антени та визначено основні її технічні характеристики (вхідний опір, коефіцієнт стоячої хвилі, коефіцієнт направленої дії). Розглянуто особливості конструктивної побудови синтезованої антени, особливості її розгортання на місцевості, згортання у транспортне положення та експлуатації. Під час проведення експериментальних випробувань визначено час розгортання антени та час її згортання у транспортне положення. Проведено порівняльний аналіз кількісних і якісних показників синтезованої мобільної ЛПА з її аналогами.

Ключові слова: радіомоніторинг, радіоелектронний засіб, логоперіодична вібраторна антена, коефіцієнт стоячої хвилі, коефіцієнт направленої дії.

Постановка проблеми

Сьогодні ефективність системи управління військами та озброєнням стала таким самим фактором перемоги в бою, як і їх кількість та якість. В сучасних умовах управління військами та озброєнням практично повністю засноване на використанні різних радіоелектронних засобів, що в свою чергу дозволило

збільшити ефективність вогневого ураження сил та засобів протиторчої сторони та значно підвищити якість управління військами. Слід зазначити, що в усіх арміях розвинених країн світу питанню порушення роботи системи управління військами та озброєнням протиторчої сторони приділяється досить велика увага.

Перш ніж знищити радіоелектронні засоби противника, потрібно швидко та ефективно виявити їх

радіовипромінювання в ефірі, провести аналіз прийнятих радіосигналів, ідентифікувати їх, визначити місця розташування випромінювачів та встановити їхню належність. Проведений аналіз виявлених радіовипромінювань та їх пеленгування дозволяє розкрити систему зв'язку противника, систему управління військами в цілому, визначити характер їхньої діяльності, розташування та наміри. Слід відмітити, що виявлення радіоелектронних засобів є першою необхідною складовою радіоелектронної боротьби і може вестися в будь-який час року і доби при будь-яких метеороумовах. Після виявлення радіоелектронного засобу другою складовою радіоелектронної боротьби є вогневе ураження або радіоелектронне придушення виявлених радіоелектронних засобів противника.

Оскільки системи виявлення та аналізу радіовипромінювань отримують інформацію з наявних електромагнітних полів, то одними із основних їх пристроями є приймальні антени. Мобільні військові станції виявлення радіовипромінювання використовують велику кількість різноманітних антен, кожна з яких виконує лише її притаманну функцію. Від конструктивних особливостей антен залежить оперативність розгортання/згорання на місцевості мобільної військової системи виявлення радіовипромінювання, їх аналіз, точність ідентифікації та своєчасне ураження радіоелектронних засобів противника вогневими засобами або їх придушення (подавлення) системами радіоелектронної боротьби.

Очевидно, що покращення таких характеристик антен, як оперативність їх розгортання на місцевості та згорання у транспортне положення, діапазон робочих частот, коефіцієнт підсилення, точність вимірювання, максимальний коефіцієнт спрямованої дії, надійність та простота технічного обслуговування є сучасними тенденціями розвитку мобільних військових систем виявлення та аналізу радіовипромінювань від радіоелектронних засобів противника.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

За результатами огляду наукових публікацій [1–8] та вивчення сучасної проблематики розробки антенних систем виявлення та аналізу радіовипромінювання встановлено, що в останні роки особливу актуальність набуває питання розробки мобільних ширококутових антен, здатних за короткі проміжки часу бути розгорнутими/згорнутими на місцевості та приведеними в робоче положення. Отже, актуальним є пошук шляхів щодо розробки конструктивних особливостей ширококутових антен для підвищення їх оперативності (мобільності) розгортання/ згорання на місцевості.

Формування мети статті

Метою і основним змістом статті є синтез мобільної логоперіодичної вібраторної антени (далі – мобільна ЛПА) (для роботи в діапазоні частот 40–500 МГц) з конструктивним механізмом оперативного її розгортання на місцевості та згорання у транспортне положення.

Вимоги, що висуваються до синтезованої мобільної ЛПА:

- робоча смуга частот: 40–500 МГц;
- коефіцієнт стоячої хвилі (далі – КСХ) (SWR – Standing Wave Ratio) не більше 2 в робочій смузі частот;
- коефіцієнт направленої дії (далі – КНД) – не менше 6 dBi;
- тип поляризації – вертикальна / горизонтальна.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити ряд часткових задач, а саме:

- розрахувати геометричні розміри антени для діапазону частот 40–500 МГц;
- за допомогою програмного продукту MMANA-GAL визначити кількісні та якісні характеристики антени, розрахувати її діаграму направленості;
- розробити конструктивні особливості механізму розгортання (приведення) антени у робоче положення та її згорання у транспортне положення;
- провести експериментальне випробування антени – визначити час розгортання антени для приведення її у робоче положення та час згорання антени у транспортне положення;
- провести порівняльний аналіз кількісних і якісних показників розробленої мобільної ЛПА з її аналогами.

Виклад основного матеріалу

Основними вимогами до приймальних антен системи радіомоніторингу є значний коефіцієнт підсилення, велика смуга пропускання та сталість електричних характеристик в заданій смузі частот. Прикладом таких антен, які задовольняють основним вимогам, можуть бути антени логарифмічної періодичної структури. Логоперіодичні антени (далі – ЛПА) відносяться до класу ширококутових направлених антен, використовуються в діапазоні УКХ, у діапазоні дециметрових хвиль і навіть у сантиметрових. За принципом дії ЛПА відносяться до самостійного типу антен. Проте деякі різновиди ЛПА за своїм конструктивним рішенням можна віднести до вібраторних багатоелементних антен. Проте електродинамічний аналіз і синтез цих антен викликають значні труднощі, через що їх важливі властивості і потенційні можливості залишаються нерозкритими.

Задача синтезу мобільної ЛПА для роботи в діапазоні частот 40–500 МГц полягає в такому виборі кількості вібраторів, їх довжин та розміщення,

при якому забезпечуватиметься задана форма діаграми направленості (далі – ДН). Довгі роки підбір геометрії ЛПА проводили експериментально, що відображено в ряді робіт та у відомих конструкціях цих антен. Слід відмітити роботу [9], де на основі великих експериментальних даних отримані рекомендації з оптимального вибору періоду структури антени і довжини вібраторів при умові, що всі вібратори однакові, а період структури антени постійний. Також доведено, що за рахунок варіації довжин вібраторів і відстаней між ними можливо суттєво покращити їхні характеристики. Проте суто експериментальна оптимізація мобільної ЛПА є досить затратним за часом та дорогим процесом, так як вимагає створення макета зі змінною конструктивною геометрією та введенні додаткових вузлів конструкції, які не потрібні в кінцевому варіанті антени і в той же час впливають на її електричні параметри.

Схематично конструкція антени логарифмічної періодичної структури є лінійно поляризованою, що складається з ряду паралельних лінійних вібраторів, розташованих в одній площині (рис. 1). Розміри елементів мобільної ЛПА підбиратимемо так, щоб її характеристики були періодичними функціями логарифму частоти.

Для розрахунку геометричних розмірів мобільної ЛПА необхідно знати максимальну довжину хвилі λ_{\max} вибраного діапазону частот, кут розриву структури α та період структури τ . Чим ближче до одиниці значення геометричної прогресії (період структури) τ і чим менше значення кута $\frac{\alpha}{2}$ (кут між віссю антени та лінією, що проходить через кінці вібраторів), тим більше коефіцієнт посилення антени, оскільки таким чином формується решітка однотипних вібраторів. Але при цьому зростають габарити (особливо довжина) та маса антени. Слід враховувати, що обмеження робочого діапазону мобільної ЛПА з боку низьких частот призведе до збільшення габаритів, а з боку високих частот – точністю виконання конструкції антени. Так, при синтезі антени для діапазону частот 40–500 МГц ($\lambda_{\max} = 7,5$ м) кут структури антени α виберемо в залежності від необхідного КНД [10].

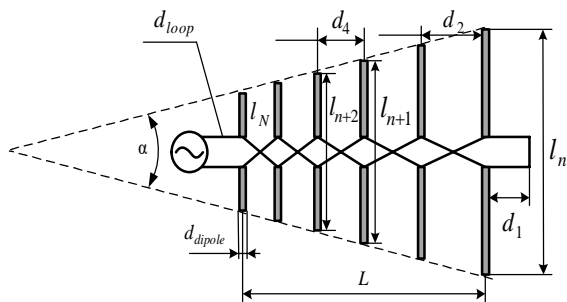


Рис. 1. Конструкція антени логарифмічної періодичної структури

Довжина вібраторів і відстань між ними змінюється в геометричній прогресії зі значенням періоду структури антени τ .

Виберемо значення періоду структури антени

$$\tau = \frac{R_n}{R_{n-1}} = \frac{l_n}{l_{n-1}} = 0,88 \quad (1)$$

та кут розриву структури $\alpha = 68^\circ$. Проте потрібно приймати до уваги, що зменшення кута α призведе до значного збільшення габаритів антени.

Кількість елементів мобільної ЛПА розрахуємо наступним чином:

$$N = 1 + \frac{\lg B_s}{\lg \frac{1}{\tau}}, \quad (2)$$

де $B_s = B \cdot B_{ar}$ – коефіцієнт перекриття робочого

діапазону антени; $B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}$ – коефіцієнт перекриття

робочих частот антени; $B_{ar} = 1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \operatorname{ctg} \alpha$ – напівемпіричний вираз коефіцієнта ширини активної зони ЛПА.

Використовуючи вираз (2), розрахуємо кількість елементів антени

$$N = 1 + \frac{\lg B_s}{\lg \frac{1}{\tau}} = 1 + \frac{\lg \left[\frac{f_{\max}}{f_{\min}} \left(1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \operatorname{ctg} \alpha \right) \right]}{\lg \frac{1}{\tau}} =$$

$$= 1 + \frac{\lg(12,5 \cdot 1,22)}{0,055} = 1 + \frac{1,18}{0,055} \approx 23.$$

Розрахуємо довжину вібраторів мобільної ЛПА наступним чином [10,11]

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{4 \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} = \frac{7,5}{4 \sin 30^\circ} = 3,75 \text{ м}. \quad (3)$$

Далі з урахуванням (1) можна визначити всі наступні довжини вібраторів:

$$l_2 = l_1 \cdot \tau = 3,75 \cdot 0,88 = 3,30 \text{ м};$$

$$l_3 = l_2 \cdot \tau = l_1 \cdot \tau^2 = 3,75 \cdot 0,77 = 2,90 \text{ м};$$

$$l_4 = l_3 \cdot \tau = l_2 \cdot \tau^2 = l_1 \cdot \tau^3 = 3,75 \cdot 0,68 = 2,56 \text{ м};$$

.....

$$l_{23} = l_1 \cdot \tau^{22} = 3,75 \cdot 0,06 = 0,23 \text{ м}.$$

Розрахуємо відстані, що виражені в довжинах хвиль, між сусідніми вібраторами антени за допомогою наступного виразу [12]

$$d_1 = \frac{l_2(1-\tau)\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}}{2} = \frac{3,3(1-0,88)\operatorname{ctg}34^\circ}{2} = 0,29 \text{ м};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$d_{23} = \frac{l_{22}(1-\tau)\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}}{2} = \frac{0,26(1-0,88)\operatorname{ctg}34^\circ}{2} = 0,02 \text{ м}.$$

Розраховані геометричні розміри мобільної ЛПА наведені в табл. 1.

На теперішній час розроблена велика кількість спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє синтезувати реальні ЛПА з високою точністю, розрахувати всі геометричні розміри антени, що повністю визначатимуть її майбутню конструкцію, проводити розрахунок ДН та основних її характеристик. Задачу синтезу мобільної ЛПА слід розглядати як задачу математичного моделювання.

За допомогою програмного продукту Log Ant (Logo-periodic Antennas calculator) проведемо перевірку розрахованих геометричних розмірів мобільної ЛПА шляхом задання основних її параметрів: діапазон робочих частот 40–500 МГц, період структури антени $\tau = 0,88$ та значення відносного інтервалу $\delta = 0,04$, імпеданс антени $R_{\text{ex}} = 120 \text{ Ом}$, діаметр вібраторів $d_{\text{dipol}} = 4 \text{ мм}$. Після розрахунку геометричних розмірів мобільної ЛПА програма Log Ant дозволяє сформувати файл розрахунку з розширенням *.maa для подальшого його конвертування в програмний продукт аналізу та дослідження антенних систем MMANA-GAL.

Проведемо розрахунок та аналіз основних характеристик розробленої мобільної ЛПА [12].

Вхідні умови проведення аналізу основних характеристик антени за допомогою програмного продукту MMANA-GAL:

- частоти робочого діапазону, на яких проводитиметься розрахунок ДН мобільної ЛПА та аналіз основних її характеристик: $F = 50 \text{ МГц}$; $F = 100 \text{ МГц}$; $F = 300 \text{ МГц}$; $F = 500 \text{ МГц}$;
- висота підняття антени – 7 м;
- тип землі – ідеальна;
- матеріал траверса та вібраторів першого модуля – алюмінієвий сплав;
- матеріал вібраторів другого модуля – гнучкий мідний дріт діаметром 4 мм.

Враховуючи вхідні дані, розрахуємо ДН мобільної ЛПА в горизонтальній і вертикальній площині, коефіцієнт стоячої хвилі (SWR) та її коефіцієнт направленої дії. Результати розрахунку ДН мобільної ЛПА при вертикальній та горизонтальній поляризації наведено на рис. 2. Результати розрахунку коефіцієнта стоячої хвилі (SWR) та коефіцієнта направленої дії наведено на рис. 3.

Таблиця 1

Геометричні розміри мобільної ЛПА

Номер вібратора	Довжина вібратора l (м)	Відстань між вібраторами d (м)
1	$l_{\text{max}} = 3,75$	0,29
2	3,30	0,25
3	2,90	0,22
4	2,56	0,19
5	2,25	0,17
6	1,98	0,15
7	1,74	0,13
8	1,53	0,11
9	1,35	0,10
10	1,19	0,09
11	1,04	0,08
12	0,92	0,07
13	0,81	0,06
14	0,71	0,05
15	0,63	0,05
16	0,55	0,04
17	0,49	0,04
18	0,43	0,03
19	0,38	0,03
20	0,33	0,02
21	0,29	0,02
22	0,26	0,02
23	$l_{\text{min}} = 0,23$	0,02

Довжина лінії збору антени: $L = 1,93 \text{ м}$

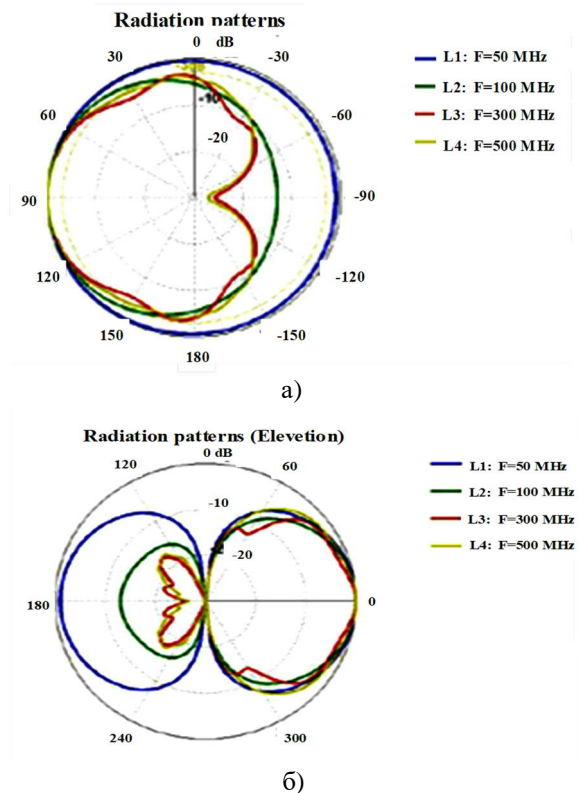


Рис. 2. ДН розробленої мобільної ЛПА для горизонтальної (а) та вертикальної (б) поляризації

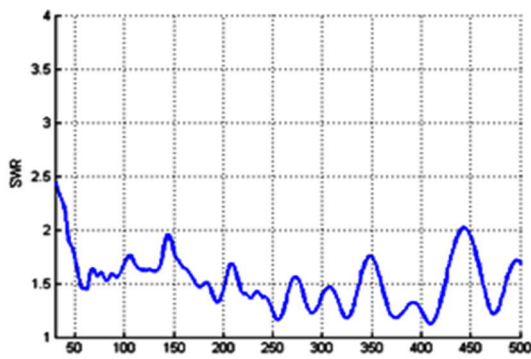
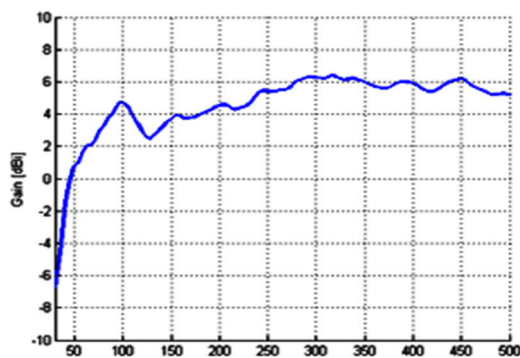
Measured SWR:**Measured gain:**

Рис. 3. SWR та КНД мобільної ЛПА

**Конструктивний механізм розгортання/
згортання синтезованої мобільної ЛПА**

Мобільна ЛПА виконана як єдиний нерозбірний пристрій, спроможний оперативно розгорнутися або згорнутися у транспортне положення (рис. 4). Антена складається з двох модулів, перший – метрового діапазону хвиль, другий – дециметрового. Вібратори другого модуля виконані у вигляді гнучких мідних дротів, які під час розгортання антени натягуються на капроновій мотузці. У свою чергу капронова мотузка натягується під час розкриття лівої та правої частин вібратора першого модуля, який виконано як площинний вібратор у вигляді рівнобедреного трикутника, плечі якого шарнірно з'єднані з верхньою та нижньою трубками траверса (матеріал траверса та вібраторів першого модуля – алюмінієвий сплав АД-31). Фіксування лівої та правої частин трикутного вібратора здійснюється важільною системою на тиловому боці траверса.

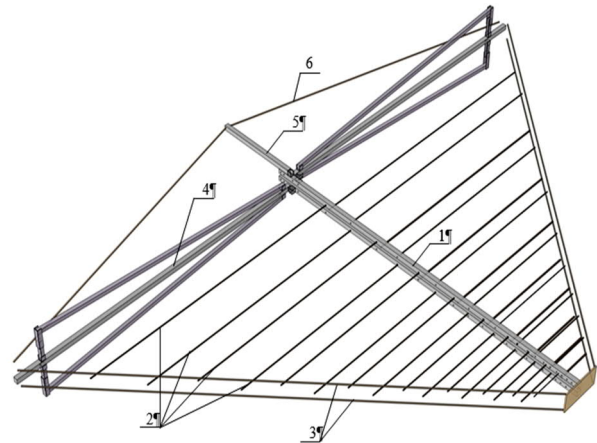


Рис. 4. Зовнішній вигляд мобільної ЛПА

Для приведення у робоче положення антена кріпиться на щоглі за допомогою U-подібних хомутів у вертикальній або горизонтальній площині залежно від поляризації випромінювання. Далі розгортаються вібратори першого модуля у перпендикулярне траверсу положення. Для натягування вібраторів другого модуля і фіксування вібраторів першого модуля важільна система на тиловому боці траверса переводиться з положення “на траверсі” у положення “від траверса”. Згортання антени здійснюється у протилежному порядку.

Мобільна ЛПА конструктивно містить лінію збудження із алюмінієвих паралельних трубок квадратного перетину, що є траверсом 1 (рис. 4) для розміщення елементів. Обидва полотна вібраторів другого модуля 2 складаються з гнучкого мідного дроту діаметром 4 мм та з'єднані з траверсом за допомогою мідних клем через шайбу з іржостійкої сталі.

Під час розгортання антени вібратори другого модуля 2 натягуються за рахунок натягнення їх на капроновій мотузці 3. Натягнення мотузки 3 здійснюється під час розкриття трикутних вібраторів першого модуля 4. Фіксуються вібратори першого модуля 4 мотузкою 6 важільної системи 5. Вібратори першого модуля з важелем важільної системи, як і траверс, виконані з алюмінієвих трубок квадратного перетину.

Вібратори першого модуля антени виконані у вигляді складаної конструкції (рис. 5). Кожний вібратор складається з напрямної 1 та двох бічних алюмінієвих труб 2 квадратного перетину, які під час розкладання антени розходяться від напрямної на кут 10° кожний та фіксуються гайкою “баранцем” 3 [14,15]. Шарнірні з'єднання механізму розгортання антени виконані із сталевих швелерів (див. рис. 6).

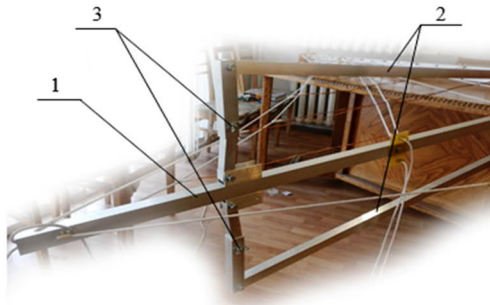


Рис. 5. Конструкція вібратора першого модуля мобільної ЛПА



Рис. 6. Механізм розгортання мобільної ЛПА

Під час проведення експериментальних випробувань мобільної ЛПА встановлено:

- достовірність проведених розрахунків і моделювання антени;
- точність виготовлення антени, правильність вибору її конструкції і матеріалів;
- стабільність ДН у робочій смузі частот;
- антена має мінімальне значення $SWR < 2$ в робочій смузі частот;
- високий КНД у смузі частот 100–500 МГц;
- тип поляризації антени – горизонтальна/ вертикальна;
- час розгортання антени на місцевості складає не більше 10 хв / час згортання антени у транспортне положення не більше 15 хв.

Висновки

Науковим результатом є синтез конструктивно нової мобільної ЛПА для роботи з широкосмуговими сигналами в діапазоні частот 40–500 МГц.

Антену виконано як єдиний нерозбірний пристрій, спроможний мобільно (оперативно) розгорнутися на місцевості (не більше 10 хв) або згорнутися у транспортне положення (не більше 15 хв).

Розроблений механізм оперативного розгортання/згортання антени за рахунок зміни форми пліч симетричного вібратора у нижній частині діапазону дозволив зберегти її масогабаритні характеристики (габарити

антени у транспортному положенні – 2010×600 мм, вага антени – 7 кг).

За результатами проведеного розрахунку та аналізу основних характеристик синтезованої мобільної ЛПА встановлено:

- стабільність ДН у робочій смузі частот;
- ширина головного пелюстка по відмітках $-3 \text{ dB} - 60^\circ$;
- значення коефіцієнта стоячої хвилі в робочому діапазоні частот ($SWR < 2$);
- значення КНД в діапазоні частот 100–500 МГц складає приблизно 6 дБі;
- тип поляризації – горизонтальна/вертикальна.

За результатами проведеного порівняльного аналізу кількісних і якісних показників синтезованої мобільної ЛПА з її найближчими аналогами встановлено, що розроблений конструктив мобільної ЛПА дозволив збільшити діапазон робочих частот антени для нижньої ділянки УКХ-діапазону та збільшити оперативність розгортання/згортання антени (час розгортання/згортання зменшено в 2 рази).

Синтезована мобільна ЛПА може бути використана в мобільних військових системах виявлення та аналізу радіовипромінювань від радіоелектронних засобів противника, їх ідентифікації та визначення місця розташування.

Список літератури

1. Інітський Л.Я., Сибрук Л.В., Мухалчук І.І. Radio monitoring antenna for directional finding. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. Vol. 78, № 8. pp. 651–662. DOI:10.1615/TelecomRadEng.v78. i8.10.
2. Інітський Л.Я., Шчербына О.А., Мухалчук І.І. “Antenna System of Radiomonitoring with Advanced Features” Proc. of 4th IEEE International Conference Methods and Systems of Navigation and Motion Control, 18-20 October 2016. Kyiv (Ukraine). 2016. pp. 67–71. DOI:10.1109/MSNMC. 2016. 7783108.
3. Інітський Л.Я., Шчербына О.А., Мухалчук І.І., О.О. Козьохіна. Control of the antenna radiation pattern for radiomonitoring systems. *5th International 167 Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*, 22.10.2019, IEEE, pp. 210–213. DOI:10.1109/APUAVD47061.2019.8943900.
4. Щербина О.А., Ільницький Л.Я., Михальчук І.І. Антенна система для станцій радіомоніторингу. *Науковий технологічний журнал*. 2020. Вип. 45 № 1. С. 28–40. DOI:10.18372/2310-5461.45.14580.
5. Шчербына О.А., Інітський Л.Я., Мухалчук І.І., Козьохіна О.В. Accuracy characteristics of radio monitoring antennas. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. № 3, 2020. pp. 42–56. DOI:10.15588/1607-3274-2020-3-4.
6. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г. *Радіомоніторинг: вчора, сьогодні, завтра*. Справочное издание. Прилуки: Аір-Поліграф, 2010. 296 с.
7. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.Г. *Довідник з радіомоніторингу*. Ніжин: “Аспект-Поліграф”, 2008. 588 с. ISBN 978-966-340-295-6.

8. Слободянюк П.В. Система радіомоніторингу Центру “Укрчастотнагляд”. Шляхи вдосконалення. *Зв’язок*, 2004, № 6. С. 29–31. ISSN: 2412-9070.

9. Ehrenspeck H.W., Poehler H.A. A now method for obtaining maximum gain from Jagi antennas. *IRE Trans. On Antennas and Propagation*. 1959. Vol. AP-7. № 4. pp. 379–386. DOI:10.1109/TAP.1959.1144708.

10. Joel R. Hallas. *Basic Antennas – Understanding Practical Antennas and Designs*. ARPL Inc., 2009. 216 p. ISBN 9780872599994.

11. Matteo M. *Антенны*. Харків: FOLIO, 2009. 224 с. ISBN 978-966-0347-09-0.

12. Levin B. *Antennas rigorous methods of analysis and synthesis*. CRC Press, 2023. 322 p. ISBN 9780367556624.

13. Balanis C.A. *Antenna Theory Analysis and Design* / John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. 1073 p. ISBN-13: 978-1118642061, ISBN-10: 1118642066.

14. Milligan Thomas A. *Modern antenna design* / John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. 614 p. ISBN 9780471720607.

15. Складана логоперіодична вібраторна антена: пат. 113095 Україна: МПК G01S 7/03(2006.01). № u2016 07282; заяв. 05.07.2016; опубл. 10.01.2017 Бюл. № 1, 6 с.

Reference

1. Ilnitskyi L.Y., Sibruk L.V., Mykhalchuk I.I. Radio monitoring antenna for directional finding. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. Vol. 78, № 8. pp. 651–662. DOI:10.1615/TelecomRadEng.v78.i8.10 [in Ukrainian].

2. Ilnitsky L.Y., Shcherbyna O.A., Mykhalchuk I.I. “Antenna System of Radiomonitoring with Advanced Features” Proc. of 4th IEEE *International Conference Methods and Systems of Navigation and Motion Control*, 18-20 October 2016. Kyiv (Ukraine). 2016. pp. 67–71. DOI:10.1109/MSNMC.2016.7783108 [in Ukrainian].

3. Ilnitskyi L.Ya., Shcherbyna O.A., Mykhalchuk I.I., O.O. Kozhokhina. Control of the antenna radiation pattern for radiomonitoring systems. *5th International 167 Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*, 22.10.2019, IEEE, pp. 210–213. DOI:10.1109/APUAVD47061.2019.8943900. [in Ukrainian].

4. Shcherbyna O.A., Ilnitskyi L.Ya. and Mykhalchuk I.I. (2020), “Antenna systema dlia stantsii radiomonitorynhu” [Antenna system for radiomonitoring stations]. *Scientific Technologies*.

Kyiv, 2020. pp. 28–40. DOI:10.18372/2310-5461.45.14580 [in Ukrainian].

5. Shcherbyna O.A., Ilnitskyi L.Ya., Mykhalchuk I.I. and Kozhokhina O.V. Accuracy characteristics of radio monitoring antennas. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. № 3. pp. 42–56. DOI:10.15588/1607-3274-2020-3-4 [in Ukrainian].

6. Slobodianiuk P.V. and Blahodarnyi V.H. (2010), “*Radyomonytorynh: vchera, sehodnia, zavtra.*” [Radio monitoring: yesterday, today, tomorrow]: Reference edition, Air-Polihraf, Pryluky, 296 p. [in Ukrainian].

7. Slobodianiuk P.V., Blahodarnyi V.H. and Stupak V.H. (2008) “*Dovidnyk z radiomonitorynhu*” [Handbook on Radio Monitoring]: Aspekt-Polihraf, Nizhyn, 588 p. ISBN 978-966-340-295-6 [in Ukrainian].

8. Slobodianiuk P.V. “Systema radiomonitorynhu Tsentru “Ukrchastotnahliad”. Shliakhy vdoskonalennia”

[System of radio monitoring Center “Ukrchastotnahliad”. Ways of improvement]: *Zviazok*, Kyiv, 2004, № 6. pp. 29–31. ISSN: 2412-9070 [in Ukrainian].

9. Ehrenspeck H.W. and Poehler H.A. A now method for obtaining maximum gain from Jagi antennas. *IRE Trans. On Antennas and Propagation*. 1959. Vol. AP-7. № 4. pp. 379–386. DOI:10.1109/TAP.1959.1144708 [in English].

10. Joel R. Hallas. *Basic Antennas – Understanding Practical Antennas and Designs*. ARPL Inc., 2009. 216 p. ISBN 9780872599994. [in English].

11. Matteo M. (2009), “*Antenny*” [Antennas]. FOLIO, Kharkiv, 224 p. ISBN 978-966-0347-09-0 [in Ukrainian].

12. Levin B. *Antennas rigorous methods of analysis and synthesis*. CRC Press, 2023. 322 p. ISBN 9780367556624. [in English].

13. Balanis C.A. *Antenna Theory Analysis and Design* / John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. 1073 p. ISBN-13: 978-1118642061, ISBN-10: 1118642066 [in English].

14. Milligan Thomas A. *Modern antenna design* / John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. 614 p. ISBN 9780471720607 [in English].

15. Patent of Ukraine (2017), “Skladana lohoperiodychna vibratorna antenna” [Composite logperiodic vibratory antenna]. Patent 113095 Ukraine, IPC G01S 7/03(2006.01). № u2016 07282; stated. 05.07.2016; published. 10.01.2017, Bulletin № 1, 6 p. [in Ukrainian].

SYNTHESIS MOBILE LOGARITHMIC PERIODIC ANTENNA FOR THE FREQUENCY RANGE 40–500 MHz

Kiris I., Ryzhov Ye., Moroz M., Diedov M., Peleshok Ye., Starynskyi I.

Today, the effectiveness of the troop and weapons management system has become as much a factor in winning a battle as their quantity and quality. In modern conditions, the management of troops and weapons is almost entirely based on the use of various radio-electronic means, which in turn made it possible to increase the effectiveness of fire damage to the forces and means of the opposing side and significantly improve the quality of the management of troops.

Since radio emission detection and analysis systems receive information from existing electromagnetic fields, receiving antennas are one of their main devices. It is obvious that the improvement of such characteristics of antennas as the efficiency of their deployment on the ground and folding into the transport position, the range of operating frequencies, the amplification factor, the accuracy of measurement, the maximum coefficient of directional action, reliability and ease of maintenance are modern trends in the development of mobile military systems for the detection and analysis of radio emissions from the enemy's radio-electronic means.

According to the results of the review of scientific publications and the study of modern problems of the development of radio monitoring antenna systems, it was established that in recent years the issue of developing mobile broadband antennas - able to be deployed/collapsed on the ground and brought into working position in short periods of time - has become especially

relevant. Therefore, it is urgent to find ways to develop the design features of broadband antennas to increase their efficiency (mobility) of deployment/collapse on the terrain. The purpose and main content of the article is to increase the efficiency (reduction of time) of deployment on the ground and folding into the transport position of the logoperiodic vibrating antenna for working with broadband signals in the frequency range of 40–500 MHz.

According to the results of a comparative analysis of the quantitative and qualitative indicators of the developed mobile logoperiodic antenna with its closest analogues, it was established that the developed design of the mobile logoperiodic antenna made it possible to increase the range of operating frequencies of the antenna for the lower part of the VHF range and increase the efficiency of deploying/collapsing the antenna (expanding/collapsing time is reduced 2 times) while the weight and dimensions of the antenna remained unchanged (dimensions of the antenna in the transport position – 2010x600 mm, antenna weight – 7 kg).

Keywords: radio monitoring, radio electronic means, logoperiodic antenna, standing wave ratio, coefficient of directional action

УДК 35/358

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.29.2023.33-37>

В.М. Корольов, О.В. Агеєв

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 18 September 2023; Revised 20 September 2023; Accepted 30 September 2023

ЧАСТКОВА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНИХ ПЕРСОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКТІВ РОЗМІНУВАННЯ

На основі аналізу існуючих підходів щодо моделювання процесів розмінування, використання комплектів розвідки та розмінування місцевості, для визначення варіанта комплекту, необхідно не тільки порівняльне оцінювання їх параметрів, а ще і визначення відносних персональних показників характеристик цих комплектів. Для їх визначення застосовано метод експертних оцінок, а саме ранжування. Визначення значущості відносних персональних показників характеристик комплектів розмінування може спричинити деякі проблеми, які великою мірою залежить від індивідуальних навичок та досвіду експерта. Відсутність стандартизованих метрик щодо загальноприйнятих стандартів до комплектів розвідки та розмінування місцевості може ускладнювати порівняння показників між різними експертами. Відсутність чіткої методології може призвести до неоднозначності та непередбачуваності в оцінці.

У статті подано часткову методику відносних значень персональних показників характеристик комплектів розмінування з використанням методу експертних оцінок. Запропонована часткова методика дозволяє визначити коефіцієнти відносних персональних показників характеристик комплектів розмінування. На основі наведених у дослідженні теоретичних положень запропоновано методику обробки результатів опитування експертів. Наприкінці отримані числові значення коефіцієнтів відносних персональних показників для типового комплекту розмінування та сформульований напрям подальших досліджень.

Ключові слова: вибухонебезпечний предмет; саморобний вибуховий пристрій; натяжний датчик цілі; тралення; комплекти розвідки та розмінування місцевості; коефіцієнти, персональні показники; експертне опитування.

Постановка проблеми

В результаті агресивного нападу рф в Україні заміновано величезні території. Сумлінна статистика констатує, що в Україні на сьогодні встановлено сотні квадратних кілометрів мінних полів, тисячі груп і поодиноких мін, а також саморобних вибухових пристроїв, знаходяться на поверхні (в глибині) землі сотні тисяч боеприпасів, які не розірвалися. Процес подальшого мінування триває.

Війна призвела до того, що наша держава виявилася однією з найбільш забруднених країн світу вибухонебезпечними предметами. Після закінчення бойових дій для очищення територій від вибухонебезпечних

предметів потрібні колосальні витрати коштів та ресурсу для проведення гуманітарного розмінування. В цих умовах дуже гостро постало питання виконання як бойових завдань з розвідки місцевості та пророблення проходів в мінних полях, так і суцільного (гуманітарного) розмінування місцевості після звільнення від противника.

Враховуючи, що існуючі комплекти розвідки та розмінування місцевості (КР) є морально та фізично застарілими, на порядок денний постає завдання їх всебічного вдосконалення, створення нових. Беручи до уваги, що війна продовжується, площі, що заміновані, зростають, то цей процес стає все більш актуальним.