

seeding oscillations are represented by functions integrated with the square; the signals are mutually synchronous in clock points, the second interfering signal is intermittent; signals are mutually asynchronous in clock points; the signals are mutually asynchronous in clock points, the second interfering signal is intermittent; signals are mutually synchronous in clock points, both signals are discontinuous. At the same time, the minimum probability of an error in the estimation of the discrete information parameter of the first (useful) signal was assumed as the optimality criterion. The results of a comparative review of algorithms for the separation of two mutually non-orthogonal binary FM signals demonstrate their evolutionary nature. The identified main regularities make it possible to obtain descriptions of signal separation procedures with mismatched clock frequencies without performing intermediate signal processing procedures. The gradual process of complicating synthesis tasks led to the discovery of gradual regularities in the structures of the separation-demodulation algorithms of two binary FM signals, which provides an opportunity to formulate directions for further research, which should be based on the provisions of the theory of multi-user detection. Namely, the revealed regularities are the basis for conducting further research in order to solve similar problems with the gradual further complication of the initial conditions. Priority consideration in the future will be given to tasks that have theoretical interest and practical value: when both signals are characterized by non-stationary intermittent emission modes and are asynchronous in clock points; when they are characterized by packet transmission mode; when band-efficient types of modulation are used (MSK, GMSK – first of all).

Keywords: multiuser detection theory, mutually non-orthogonal digital signals, discrete information parameter, decision-making rule, intermittent noise similar to useful signal, integral of signal function, a posteriori probabilities.

Єрохін Віктор Федорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри спеціальних телекомунікаційних систем, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна, ORCID 0000-0002-8722-4087, stddssss@gmail.com.

Вакуленко Олександр Володимирович, аспірант, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна, ORCID 0000-0001-8094-8675, tzadikalex@gmail.com.

Yerokhin Viktor, doctor of technical science, professor, head of special telecommunication systems academic department, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.

Vakulenko Oleksandr, postgraduate student, Institute of special communications and information protection of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.

DOI 10.20535/2411-1031.2022.10.1.261179
УДК 621(372.8+396.67)

ОЛЕНА МАВРИНА

МЕТОДИКА КОНСТРУКТИВНОГО СИНТЕЗУ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ЗАСОБУ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ПОБУДОВАНОЇ НА НИЗЬКОРОЗТАШОВАНИХ ВИПРОМІНЮВАЧАХ

Останні роки суттєвої модернізації зазнають системи радіозв'язку. Це стосується як проектування й розробки нових засобів зв'язку так і удосконалення та модернізації існуючих та розробки нових антенно-фідерних пристроїв до них. Загальною особливістю мереж радіозв'язку є суттєва залежність основних характеристик об'єктів зв'язку від типу та параметрів

антенних систем та від рішень щодо їх розташування. Запропоновано розроблену методику конструктивного синтезу антенної системи засобу радіозв'язку, побудованої на низькорозташованих випромінювачах, за допомогою якої можливо синтезувати антенну систему, що покращить ефективність засобів рухомого радіозв'язку. Методика конструктивного синтезу антенної системи засобу радіозв'язку, побудованої на низькорозташованих випромінювачах базується на математичній моделі розрахунку характеристик спрямованості антенної системи з низькорозташованих випромінювачів для засобів радіозв'язку, яка була представлена у статті “Математична модель розрахунку характеристик спрямованості системи вібраторів засобів радіозв'язку” [1]. Методи дослідження – синтез антенної системи з необхідною діаграмою спрямованості, побудований на застосуванні вектору Герца, метод наведених електрорушійних сил, метод дзеркальних відображень та аналіз отриманих результатів. Визначено вплив форми та кількості елементів антенної системи на формування її діаграми спрямованості та встановлено алгоритм розрахунку для підбору оптимальної конструкції з потрібними електричними характеристиками. Використання запропонованої методики покращує та спрощує технічне виконання передавальних та приймальних антенних систем. На основі результатів проведених досліджень здійснено розроблення математичної моделі розрахунку характеристик спрямованості антенної системи, побудованої на низькорозташованих випромінювачах для засобів радіозв'язку та методики конструктивного синтезу антенної системи засобу радіозв'язку побудованої на низькорозташованих випромінювачах, завдяки яким можливо, при відсутності дефіциту часу, побудувати економічно вигідну антенну систему з реалізованим коефіцієнтом підсилення до 16 дБ. Розроблену методику доцільно застосовувати: під час створення нових антенних систем та антено-фідерних пристроїв для сучасних польових та стаціонарних засобів радіозв'язку та антенних систем для безпілотних авіаційних комплексів (для вирішення завдань з організації зв'язку пов'язаних з радіозасобами); під час організації зв'язку польовим спеціальним вузлом радіозв'язку.

Ключові слова: мобільний засіб радіозв'язку, вібраторні антени, низько розташовані вібратори, конструктивний синтез антенних систем, діаграма спрямованості антени, модель розрахунку системи вібраторів, методика конструктивного синтезу антенних систем.

Постановка проблеми. Сьогодні активний розвиток телекомунікацій та радіотехніки в частині радіозв'язку, радіолокації, радіоастрономії та навігації неможливо уявити без впровадження нових досягнень в антенній техніці. Використання удосконалених антенних систем (АС) з низькорозташованих випромінювачів дає змогу підвищувати їх коефіцієнт підсилення, створювати антени з керованими діаграмами спрямованості (ДС), здійснювати електричне сканування променем у просторі і формування багатопроменевої ДС у рамках єдиної антенної системи.

Увагу до дослідження привернув важливий та затребуваний діапазон частот – КХ та УКХ. Під час аналізу стало зрозуміло, що за останні роки матеріальна база радіозасобів оновила, на заміну старим пострадянським радіостанціям прийшли нові радіостанції компаній Motorola, Aselsan та Hargis імпортного виробництва. Новий парк засобів радіозв'язку має значну перевагу над застарілим пострадянськими апаратними, але при цьому також є й ряд недоліків. А саме, стало зрозуміло, нова апаратура оснащена, в основному, антенами штирьового типу. Антени, які лишилися від пострадянських засобів не просто коректно узгодити з новим обладнанням за рахунок утрудненого узгодження з сучасними засобами. При роботі з такими засобами для збільшення дальності або покращення стійкості зв'язку зазначені антени можна підняти на деяку висоту, нахилити у потрібному напрямку, або розташувати над провідною поверхнею. Але у багатьох випадках цього не достатньо для організації стійкого радіозв'язку. Побудова АС передбачає вибір відповідної геометричної форми антен, типу та кількості їх елементів та способу збудження цих елементів. Для покращення спрямованих властивостей АС можливе використання елементів в системі під певним кутом до елементу, що живиться, або використання пасивних елементів певної не прямолінійної форми.

У роботі розглядаються АС, побудовані на низькорозташованих випромінювачах, при чому пасивні елементи мають не прямолінійну форму та можуть бути розташовані під певними кутами до елемента, який живиться. Таке розташування елементів в АС не використовувалось в існуючих рухомих засобах радіозв'язку. Тому розрахунок електромагнітного поля для таких АС не проводився раніше, внаслідок відсутності зручного математичного апарату, отже пропонувалося проаналізувати можливість розрахунку електромагнітного поля в ближній та дальній зонах за запропонованим далі математичним апаратом.

Під час роботи було практично встановлено, що за допомогою Математичної моделі розрахунку характеристик спрямованості системи вібраторів засобів радіозв'язку [1] можливо розрахувати електромагнітне поле в ближній та дальній зонах враховуючи геометрію (розмір, форму) елементів в АС та кути їх розташування один до одного й до елемента, що живиться. Для вправного та зручного використання зазначеної математичної моделі та обґрунтування необхідності її застосування і впровадження у процес конструктивного синтезу АС потрібна методика, яка скомпонує математичний апарат з практичним його застосуванням для технічного виконання передавальних та приймальних антен.

Із останніх публікацій досліджень, які були проаналізовані за період визначення напрямку дослідження, предмету дослідження та наукового завдання, а також в процесі роботи над ним стало зрозумілим, що методології конструктивного синтезу такої фізичної моделі АС із низько розташованих випромінювачів для засобів радіозв'язку та відповідно зручної методики щодо розв'язання задачі синтезу подібних АС, їх характеристик спрямованості не виявлено. Тому виникає необхідність розроблення методики конструктивного синтезу АС засобу радіозв'язку побудованої на низькорозташованих випромінювачах з можливістю управління ДС в вертикальній та горизонтальній площинах. За допомогою методики спроститься конструктивний синтез АС, побудованих на низькорозташованих випромінювачах, в залежності від виду засобу радіозв'язку та місця знаходження абонента, більш точно підбереться структура та розмір АС, що дозволить покращити технічні характеристики засобу радіозв'язку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На момент початку антитерористичної операції на сході України (АТО) на озброєнні в підрозділах Збройних Сил України та інших силових структур держави перебували переважно аналогові комплекси та засоби зв'язку виробництва колишнього Радянського Союзу, які вже на той час технічно та морально застаріли [2]. Тому одним із важливих питань, що потребувало негайного вирішення, постало питання переведення системи зв'язку на цифрові канали і засоби зв'язку та створення якісної цифрової системи зв'язку, яка б забезпечувала потреби як Збройних Сил України, так і усіх силових структур держави у цілому [3] - [10]. Сучасні телекомунікаційні та інформаційні технології дозволяють створювати складні інформаційно-телекомунікаційні системи, складовими частинами яких є сучасні комплекси засобів зв'язку та автоматизації [3] - [5].

У результаті аналізу наукової літератури вітчизняних та зарубіжних видань [11] - [15], щодо перспективи розвитку та шляху трансформації засобів зв'язку та відповідно розроблення й модернізації АФП для сучасних і перспективних засобів передачі інформації стало остаточно зрозуміло, що запропонований напрям дослідження щодо покращення характеристик засобів зв'язку за рахунок удосконалення АС та антенно-фідерних пристроїв (АФП) є затребуваним і актуальним.

Відомо, що у певних випадках не змінюючи тактико-технічних характеристик (ТТХ) засобів зв'язку (складової апаратної частини) можна покращити якість зв'язку, збільшити кількість каналів для радіозв'язку (робочих каналів) або збільшити дальність зв'язку (ДЗ) за допомогою правильно підібраних АС.

Аналізуючи відомі принципи, підходи та методи конструктивного синтезу АС до розрахунку антен [15] - [20] стало зрозуміло, що є можливість спрощення існуючих методів розрахунку АФП, що знаходяться над провідними поверхнями, тому постало наукове завдання

щодо розроблення нової моделі розрахунку характеристик спрямованості таких АС та нової методики конструктивного синтезу АС для створення або модернізації, удосконалення засобу радіозв'язку.

У цілому проведений аналіз затребуваності напряму дослідження свідчить, що він є досить актуальним. Це підтверджується тим, що останнім часом з'являється велика кількість нових розробок та завезених зразків техніки зв'язку для радіозв'язку із-за кордону. У той же час задача оптимізації конструктивного синтезу (моделювання) АС є одночасним розрахунком їх електричних та технічних характеристик, які висуваються до сучасних засобів радіозв'язку КХ (3-30 МГц) та УКХ (30-3000 МГц) діапазонів і вона до теперішнього часу не вирішена. Тобто, на сьогодні існує актуальна науково-технічна задача створення ефективних моделей, методів та методик проектування АС (антено-фідерних та антено-щоголових пристроїв) для сучасного зв'язку, у тому числі рухомого радіозв'язку. Це забезпечить комплексний підхід до врахування вимог щодо призначення засобу зв'язку, стійкості радіозв'язку, забезпечення електричних характеристик та врахування кліматичних і механічних факторів на саму АС, як виріб.

У зв'язку з цим, на основі проведеного аналізу останніх досліджень та публікацій в області теорії та техніки АФП для дослідження обрана АС із низькорозташованих випромінювачів, яка дозволить формувати потрібну ДС у вертикальній та горизонтальній площинах у потрібних напрямках.

Метою статті є розроблення методики конструктивного синтезу АС засобу радіозв'язку, побудованої на низькорозташованих випромінювачах для покращення технічних характеристик засобів рухомого радіозв'язку.

Об'єктом розгляду статті є процес побудови АС на основі низько розташованих вібраторів засобу радіозв'язку.

Предметом розгляду статті є конструктивний синтез АС засобу рухомого радіозв'язку, що побудована з низькорозташованих випромінювачів.

Виклад основного матеріалу досліджень. Методика призначена для побудови антенної системи з низькорозташованих вібраторів засобу радіозв'язку під час розгортання вузла зв'язку силами штатного екіпажу (обслуги).

Передумовами створення методики є те, що на сьогодні існують засоби радіозв'язку для яких чітко визначена конфігурація АС за допомогою штатного набору випромінювачів (вібраторів). Такий підхід дає змогу формувати ДС з постійними характеристиками. Змінення конфігурацій АС та кількості випромінювачів дозволяє покращити тактико-технічні характеристики засобів радіозв'язку.

Відмінність методики від відомих становить у спрощеному врахуванні опору між випромінювачами під час розрахунку конфігурацій АС з використанням нахилених та зогнутих елементів вібраторів для забезпечення потрібних характеристик АС.

Обмеження та припущення.

Обмеження:

- синтез АС для існуючого парку засобів рухомого радіозв'язку;
- не враховуються параметри приймально-передавальної апаратури;
- кваліфікація виконавця відповідає певній посаді (начальника станції);
- вібратори розташовуються над рівною поверхнею землі (не холмиста місцевість);
- час розгортання АС обмежений (відповідає реальній можливості установки необхідної кількості низько розташованих вібраторів).

Припущення:

- вібратори достатньо тонкі;
- розподіл струму вздовж вібраторів має синусоїдальний вигляд;
- опір випромінювання визначається у точках, що відповідають максимальному значенню сили струму.

Показники та критерії якості методики.

Показниками методики є характеристики АС:

- вхідний опір АС;
- ширина ДС;
- коефіцієнт підсилення антени (КПА).

Критерії: відповідність показників розробленої АС на основі низькорозташованих випромінювачів характеристикам, які дозволяють збільшити енергетику радіоліній більше, ніж на 6 дБ в порівнянні з існуючими штатними АФП засобів радіозв'язку.

Вихідні дані:

- координати кореспондента;
- діапазон частот;
- допустимі розміри активних та пасивних елементів в АС (АФП);
- електричні характеристики існуючих АС (АФП);
- параметри апаратури.

Сутність методики полягає у формуванні ДС потрібної форми АС засобу радіозв'язку шляхом побудови розрахованих конфігурацій АС на основі випромінювачів з штатних вібраторів за запропонованою математичною моделлю розрахунку характеристик спрямованості.

За допомогою методики, яка складається з удосконалених відомих методів розрахунку електромагнітного поля (ЕМП) у дальній та ближній зонах та розробленої математичної моделі розрахунку характеристик спрямованості АС з низькорозташованих випромінювачів для засобів радіозв'язку, спростити процес розробки нових та модернізацію існуючих АС засобів радіозв'язку, а також полегшити їх конструювання та розгортання за призначенням. За рахунок цього спростити синтез АС із низькорозташованих випромінювачів для отримання потрібних характеристик спрямованості. Це призведе до підвищення ефективності системи зв'язку за рахунок збільшення дальності або стійкості зв'язку існуючими засобами КХ та УКХ діапазону, удосконаленням АС.

Математичний апарат.

У якості математичного апарату використовується запропонована математична модель розрахунку характеристик спрямованості системи вібраторів засобів радіозв'язку, яка заснована на використанні методу векторів Герца та методу наведених електрорушійних сил.

При організації радіозв'язку з потрібним кореспондентом перед начальником зв'язку (відповідальним за зв'язок) обов'язково виникають питання вибору робочих частот та типу антен, які будуть найбільш повно/якісніше забезпечувати стійкий радіозв'язок на визначені відстані.

Для постановки завдання для конструювання та розгортання АС аналізуються основні вихідні дані:

- координати кореспондента, відповідно відстань до кореспондента;
- робочий діапазон частот відповідно до тактико-технічних характеристик засобу радіозв'язку;
- електричні характеристики існуючих АС (АФП);
- кількість, наявність та розміри активних та пасивних елементів в АС (АФП);
- параметри апаратури.

Виходячи із вихідних даних підбирається попередня/орієнтовна конструкція АС, яка має забезпечувати електричні характеристики для організації зв'язку з визначеним кореспондентом, за допомогою комп'ютерної програми, яка використовує запропоновану модель розрахунку.

На основі використання математичної моделі розрахунку характеристик спрямованості АС з низькорозташованих випромінювачів для засобів радіозв'язку, яка представлена у [1] проводиться розрахунок характеристик АС.

Для чого спочатку розраховується електромагнітне поле у місці розташування пасивних елементів:

$$E(\theta)_{\Pi} = E(\theta)_A f(\theta)_A \cos \varphi,$$

а потім визначається створена ним електрорушійна сила:

$$\mathcal{E}_{\Pi} = E(\theta)_{\Pi} \ell_{g\Pi} \cos \varphi,$$

де $\ell_{g\Pi} = \frac{2}{k} \operatorname{tg} \frac{rl_{\Pi}}{2}$ – діюча довжина пасивного елемента.

Створена у пасивному елементі електрорушійна сила наводить в ньому індукційний струм:

$$I_{\text{інд}\Pi} = \frac{\mathcal{E}_{\Pi}}{R_{\Pi}},$$

де R_{Π} – власний опір пасивного елемента;

\mathcal{E}_{Π} – електрорушійна сила, яка створюється у пасивному елементі.

Тим самим на пасивному елементі АС створюється електричне поле, яке діє на активний елемент:

$$E_{\text{нав}A} = \frac{I_{\text{інд}\Pi}}{r} f(\theta + \varphi)_{\Pi},$$

де $I_{\text{інд}\Pi}$ – індукційний струм наведений на пасивному елементі,

$f(\theta + \varphi)_{\Pi}$ – функція ДС, коли пасивний елемент розташований під певним кутом до активного елемента,

r – відстань між активним і пасивним елементами.

Під дією електричного поля від пасивного елемента $E_{\text{нав}A}$ наводиться індукційний струм в активному елементі $I_{\text{Анав}}$, після його визначення розраховується загальний струм активного елемента, який визначається за виразом:

$$I_{\text{заг}A} = I_A + I_{\text{Анав}} e^{-jkr},$$

де I_A – електричний струм, який подається на активний елемент,

$I_{\text{Анав}}$ – індукційний струм в активному елементі.

Далі розраховується електричне поле, яке утворюється навколо активного елемента з урахуванням дії пасивного елемента. Це дає змогу розрахувати загальне електричне поле АС:

$$\begin{aligned} E_{\text{заг}} &= E_{\text{Анав}} + E_{\Pi 1} + \dots + E_{\Pi n} = E_{\text{Анав}} + E_{\text{нав}A1} \cos \varphi_1 + \dots + E_{\text{нав}An} \cos \varphi_n = \\ &= \left(\frac{60I_{\text{заг}A}}{r_1} f(\theta)_A + \frac{60I_{\text{інд}\Pi 1}}{r_1} f(\theta + \varphi_1)_{\Pi 1} \cos \varphi_1 \right) + \dots + \dots \\ &\dots + \left(\frac{60I_{\text{заг}A}}{r_n} f(\theta)_A + \frac{60I_{\text{інд}\Pi n}}{r_n} f(\theta + \varphi_n)_{\Pi n} \cos \varphi_n \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Із аналізу виразу $E_{\text{заг}}$ (1) слідує, що можна знайти загальне ЕМП від декількох елементів АС. За геометричними параметрами АС можливо визначити ДС від всієї АС. Відповідно до енергетики радіолінії визначається коефіцієнт підсилення АС, який необхідно забезпечити. Дальність зв'язку залежить від ТТХ рухомого засобу радіозв'язку в цілому, тому самим ефективним способом підняти енергетику радіолінії і буде застосування ефективних АС.

На цьому етапі для уточнення отриманих результатів та відповідності їх заданим вихідним даним потрібно проводити перевірку результатів, тобто оцінити покращення в порівнянні зі штатними антенами. Якщо отримані результати не відповідають вихідним даним, то на цьому етапі проводиться корегування вихідних даних та повторний розрахунок характеристик АС.

Після повного розрахунку необхідних електричних характеристик на їх основі створюється фізична модель АС. Проводиться обов'язкова експериментальна перевірка отриманих характеристик спрямованості від фізичної моделі АС. З наступною перевіркою результатів відповідності завданню. По закінченню зазначених перевірок робиться висновок щодо відповідності результатів поставленим задачам. Якщо характеристики АС не відповідають потрібним, то проводиться корекція фізичної моделі АС шляхом зміни конфігурації випромінювачів. За можливістю проводиться додаткова корекція вихідних даних для отримання потрібних електричних характеристик. Цей процес проводиться до тих пір, поки електричні характеристики АС не будуть відповідати поставленому завданню.

На останньому етапі при отриманні фізичної моделі АС, яка задовольняє необхідні характеристики (з потрібними електричними характеристиками) для організації радіозв'язку робляться висновки щодо отриманих результатів роботи, отримана АС монтується (розгортається) на місцевості та робляться висновки й пропозиції для подальшого використання у роботі.

Процес розроблення методики конструктивного синтезу антенної системи засобу радіозв'язку, побудованої на низькорозташованих випромінювачах включатиме в себе сукупність взаємопов'язаних етапів для отримання АС виходячи із мети її розробки та виконання поставлених завдань.

Алгоритм реалізації методики дає змогу на основі використання вихідних даних отримати конфігурації АС із низько розташованих випромінювачів з покращеними характеристиками. Запропонований алгоритм наведений на рис. 1.

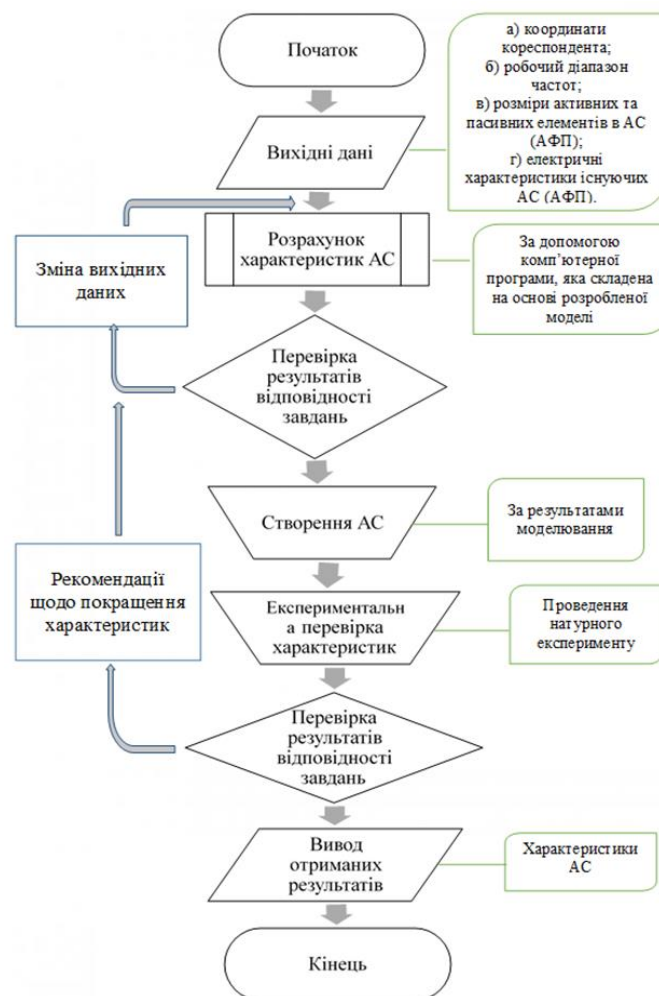


Рисунок 1 – Узагальнений алгоритм реалізації методики конструктивного синтезу АС засобу радіозв'язку, побудованої на низькорозташованих випромінювачах

Область застосування методики.

При розробленні та удосконаленні наукової теорії АС антенного поля для перспективних засобів рухомого радіозв'язку для системи зв'язку, а також для практичного удосконалення якості оперативної та тактичної ланки управління.

Область застосування результатів методики.

Запропонована удосконалена методика конструктивного синтезу АС із низько розташованих випромінювачів з можливістю управління ДС в вертикальній та горизонтальній площинах може використовуватись для КХ та УКХ діапазонів засобів радіозв'язку.

Висновки. За тематикою дослідження особлива увага приділялась наявним у засобах радіозв'язку антенам та АС, які є у складі засобів та припускають виконання завдання на організацію зв'язку в залежності від обстановки, виду радіозасобу, його потужності, робочого частотного діапазону, а також необхідної відстані до абонента, від виду місцевості та ґрунту, на якій працює абонент. Тому ідея вибраного дослідження зосередилась на удосконаленні існуючих та розробленні нових АС із низько розташованих випромінювачів для засобів радіозв'язку для роботи в КХ та УКХ діапазонах.

Було проведено аналіз конструктивних особливостей існуючих типів вібраторних антен та АС для КХ та УКХ діапазонів. Здійснено аналіз існуючих моделей, методів розрахунку характеристик спрямованості системи вібраторів засобів радіозв'язку та методик синтезу АС з випромінювачами на основі вібраторів. За результатами аналізу стало можливим удосконалити розрахунок характеристик спрямованості вібраторних антен за рахунок того, що спрощується визначення опорів елементів системи. Завдяки чому легше моделювати АС різних форм, наприклад з вигнутими елементами, яка за своїми властивостями буде мати вужчу ДС та більший коефіцієнт підсилення антени.

Запропоновано нову математичну модель розрахунку характеристик спрямованості АС з низько розташованих випромінювачів для засобів радіозв'язку, яка перевірена на адекватність завдяки розрахунку "простих" існуючих антен та АС, що складаються з більшої кількості елементів, відомими методами та на підґрунті запропонованої математичної моделі. На основі запропонованої математичної моделі розроблена методика конструктивного синтезу АС засобу радіозв'язку побудованої на низькорозташованих випромінювачах, для спрощення та покращення удосконалення існуючих та розробки нових АС, їх обладнання та узгодження із засобом радіозв'язку.

Завдяки використанню методики можливо формувати ДС антени засобу потрібної форми для радіозв'язку шляхом побудови конфігурацій АС на основі випромінювачів за запропонованою моделлю розрахунку характеристик спрямованості. Може використовуватись для КХ та УКХ діапазону засобів радіозв'язку. Запропоновану методику доцільно застосовувати під час розробки нових зразків техніки, а саме АС та АФП сучасних засобів радіозв'язку та АС для безпілотників.

Комп'ютерну програму розрахунку АС засобу радіозв'язку, побудованої на низькорозташованих випромінювачах, необхідно використовувати начальнику зв'язку підрозділу (начальнику станції) для забезпечення максимальної дальності радіозв'язку при постійній потужності радіопередавача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] С. Ю. Мазор, та О. С. Мавріна, "Математична модель розрахунку характеристик спрямованості системи вібраторів засобів радіозв'язку", *Збірник наукових праць ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського «Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації»*, вип. 1 (34), с. 113-126, 2021.
- [2] О. О. Лаврут, Т. В. Лаврут, О. К. Климович, та Ю. М. Здоренко, "Новітні технології та засоби зв'язку у ЗСУ: шлях трансформації та перспективи розвитку", *Ukrainian Military Pages*. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.ukrmilitary.com/2019/04/signal.html>. Дата звернення: Січ. 17, 2022.

- [3] О. О. Лаврут, О. К. Климович, та Т. В. Лаврут, “Перспективи розвитку автоматизованих систем управління тактичної ланки управління Сухопутних військ Збройних Сил України”, *Системи обробки інформації*, Харків, Україна: ХУПС, вип. 5 (121), с. 116-120, 2014.
- [4] О. О. Лаврут, О. К. Климович, М. Л. Тарасюк, та О. Л. Антонюк, “Стан та перспективи застосування сучасних технологій та засобів радіозв’язку в Збройних Силах України”, *Системи озброєння та військова техніка*, № 1 (49), с. 42-49, 2017.
- [5] О. К. Климович, “Застосування сучасних систем і комплексів зв’язку та автоматизації для потреб Збройних Сил України під час проведення антитерористичної операції”, *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*, Харків, Україна: ХУПС, вип. 2 (43), с. 23-28, 2015.
- [6] Офіційний сайт Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. [Електронний ресурс]. Доступно: www.viti.edu.ua/. Дата звернення: Січ. 11, 2022.
- [7] *Коммуникации и сети. Телеком специальный выпуск “Военная связь. Технологии, решения, проекты”*, сентябрь 2016.
- [8] Є. М. Бовда, Ю. А. Плуговий, та В. А. Рома, “Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв’язком військового призначення”, *Збірник наукових праць ВІТІ*. Київ, Україна: ВІТІ, вип. 1, с. 6-18, 2016.
- [9] Л. О. Бондаренко, О. Б. Плугова, І. В. Цимбал, та Ю. О. Черниш, “Основні інноваційні напрямки розвитку системи зв’язку Збройних Сил України”, *Збірник наукових праць ВІТІ*. Київ, Україна: ВІТІ, вип. 1, с. 19-24, 2016.
- [10] О. О. Лаврут, “Метод управління потоками інформації у фрагменті мобільного компоненту перспективної системи зв’язку в надзвичайних ситуаціях, що змінюються”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал*, № 1 (7), с. 94-101, 2012.
- [11] І. В. Борисов, Т. Г. Гурський, М. Д. Ільїнов, та К. М. Гриценко, “Підвищення ефективності функціонування систем радіозв’язку за рахунок використання адаптивних антенних решіток”, *Збірник наукових праць ВІТІ*. Київ, Україна: ВІТІ, № 1, 2015.
- [12] В. Швець, “Антенна решітка як конструктивний елемент підвищення кібербезпеки приймачів мережевих супутникових систем”, дис. канд. наук, НАУ, Київ, 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://er.nau.edu.ua>. Дата звернення: Груд. 12, 2021.
- [13] Ф. Ф. Дубровка, “Конструктивный синтез планарных антенн с помощью природных алгоритмов оптимизации”, *Вісті вищих учбових закладів. Радіоелектроніка*. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2010. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347009040013>. Дата звернення: Лют. 16, 2022.
- [14] Н.В. Харченко, “Современное состояние и перспективы развития радиостанций зарубежных государств”. *Зарубежное военное обозрение*, № 6, с. 22-30, 2003. [Электронный ресурс]. Доступно: http://factmil.com/publ/vooruzhenie/sredstva_svjazi/sovremennoe_sostojanie_i_perspektivy_razvitija_radiostancij_zarubezhnykh_gosudarstv_2003. Дата обращения: Дек. 19, 2021.
- [15] Д. И. Воскресенский и др.; *Проблемы антенной техники*, Л.Д. Бахрака, Ред. Москва, СССР: Радио и связь, 1989.
- [16] Т. А. Цалієв, *Антенни та пристрої НВЧ. Частина 1: Термінологія та методи теорії антен*. Одеса, Україна: Одеська національна академія зв’язку ім. О. С. Попова, Державний департамент з питань зв’язку та інформатизації, 2005.
- [17] В. Ф. Хмель, А. Ф. Чаплин, и И. И. Шумлянский, *Антенны и устройства СВЧ. Сборник задач*, 2-е изд. Киев, СССР: Высшая школа, 1990.
- [18] А. А. Пистолькорс, *Антенны*. Москва, СССР: Связьиздат, 1947.
- [19] В. В. Каменев, Б. А. Виноградов, и П. Ф. Левчук, *Антенны и распространение радиоволн, Учебное пособие*, Ленинград, СССР: ВАС, 1977.
- [20] Н. П. Гавеля, А. Д. Истрашкин, Ю. К. Муравьев, и В. П. Серков, *Антенны. Часть II. Учебное пособие*, Ю.К. Муравьева, Ред. Ленинград, СССР: ВАС, 1963.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2022.

REFERENCES

- [1] S. Mazor, and O. Mavrina, "Mathematical Model for calculating the characteristics of Radio Communications Vibrator System Direction", *Collection of scientific practices "Special telecommunication systems and information"*, Kyiv, Ukraine: ISZZI of Igor Sikorsky KPI, no. 1 (34) pp. 113-126, 2021.
- [2] O. Lavrut, T. Lavrut, O. Klymowych, and Yu. Zdorenko, "Latest technologies and means of communication in the Armed Forces: the path of transformation and prospects for development", *Ukrainian Military Pages*. [Online]. Available: <https://www.ukrmilitary.com/2019/04/signal.html>. Accessed on: January 17, 2022.
- [3] O. Lavrut, O. Klymowych, and T. Lavrut, "Prospects for the development of automated control systems of the tactical unit of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine", *Information processing systems*. Kharkov, Ukraine: KNUAF, no. 5 (121), pp. 116-120, 2014.
- [4] O. Lavrut, O. Klymowych, M. Tarasyuk, and O. Antonyuk, "Status and prospects of application of modern technologies and means of radio communication in the Armed Forces of Ukraine", *Weapons systems and military equipment*, no. 1 (49). pp. 42-49, 2017.
- [5] O. Klymowych, "Application of modern systems and complexes of communication and automation for the needs of the Armed Forces of Ukraine during the anti-terrorist operation", *Collection of scientific practices of Kharkiv University of the Air Force*, Kharkov, Ukraine: KNUAF, no. 2 (43), pp. 23-28, 2015.
- [6] Official site of the Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes of Kruty. [Online]. Available: www.viti.edu.ua. Accessed on: Jan. 11, 2022.
- [7] *Communications and networks. Telecom: special issue "Military communications. Technologies, solutions, projects"*. September 2016.
- [8] Ye. Bovda, Yu. Pluhovyi, and V. Roma, "Conceptual bases of synthesis of the automated control system of communication for military purpose". *Collection of scientific practices*, Kyiv, Ukraine: MITI, vol. 1, pp. 6-18, 2016.
- [9] L. Bondarenko, O. Pluhova, I. Tsymbal, and Yu. Chernysh, "The main innovative directions of development of the communication system of the Armed Forces of Ukraine", *Collection of scientific practices*, Kyiv, Ukraine: MITI, vol. 1, pp. 19-24, 2016.
- [10] O. Lavrut, "A method of managing the flow of information in a fragment of the mobile component of a promising communication system in changing emergencies", *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine: scientific and technical journal*, no. 1 (7), pp. 94-101, 2012.
- [11] I. Borysov, T. Hurskyi, M. Ilinov, and K. Hryzenok, "Improving the efficiency of radio communication systems through the use of adaptive antenna arrays", *Collection of scientific practices*, Kyiv, Ukraine: MITI, no. 1, 2015.
- [12] V. Shvets, Antenna array as a constructive element to increase cybersecurity of network satellite receivers, Ph.D. thesis, NAU, Kyiv, Ukraine, 2018. [Online]. Available: <https://er.nau.edu.ua>. Accessed on: Dec. 12, 2021.
- [13] F. Dubrovka, "Constructive synthesis of planar antennas using natural optimization algorithms", *News of higher educational institutions. Radio electronics*. Kyiv, Ukraine: NTUU «KPI», 2010. [Online]. Available: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347009040013>. Accessed on: Febr. 16, 2022.
- [14] N. Kharchenko, "The current state and prospects for the development of radio stations in foreign countries", *Foreign military review*, no. 6, pp. 22-30, 2003. [Online]. Available: http://factmil.com/publ/vooruzhenie/sredstva_svjazi.sovremennoe_sostojanie_i_perspektivy_azvitija_radiostancij_zarubezhnykh_gosudarstv_2003. Accessed on: Dec. 19, 2021.
- [15] D. Voskresenskyi et al., *Problems of antenna technology*, L. Bakhvak, Ed. Moscow, USSR: Radio and Communications, 1989.
- [16] T. Tsaliiev, *Antennas and microwave devices, Part 1: Terminology and methods of antenna theory*, Odesa, Ukraine: Odesa National Academy of Communications named after O.S. Popova, State Department of Communications and Informatization, 2005.

- [17] V. Khmel, A. Tsaplin, and I. Shumlanskyi, *Antennas and microwave devices. Collection of problems*, 2-d edition, Kyiv, USSR: Higher School, 1990.
- [18] A. Pistolkors, *Antennas*, Moscow, USSR: Svyazizdat, 1947.
- [19] V. Kamenev, B. Vinogradov, and P. Levchuk. *Antennas and Radio Wave Propagation: Training manual*, Leningrad, USSR, 1977.
- [20] N. Havelia, A. Istrashkin, Yu. Muravev, and V. Serkov. *Antennas. Part II. Training manual*, Yu. Muravev, Ed. Leningrad, USSR: Military Academy of Communications, 1963.

OLENA MAVRINA

METHODS OF CONSTRUCTIVE SYNTHESIS OF ANTENNA SYSTEM OF RADIO COMMUNICATION BUILDING ON LOW-LYING VIBRATORS

In recent years, the radio communication system has undergone significant modernization. This concerns both the design and development of new means of communication and the improvement and modernization of existing ones and the development of new antenna-feeder devices for them. A general feature of radio communication networks is the significant dependence of the main characteristics of communication objects on the type and parameters of antenna systems and on decisions regarding their location. The developed technique of constructive synthesis of the antenna system of the radio communication device built on low-lying emitters is offered, with the help of which it is possible to synthesize the antenna system which will improve the technical characteristics of the mobile radio communication means. The method of constructive synthesis of the antenna system of radio communication equipment built on low-lying emitters is based on the mathematical model of calculating the directional characteristics of the speaker from low-located emitters for radio communication facilities. This model was presented in the article “Mathematical model for calculating the directional characteristics of the system of vibrators of radio communication equipment” [1]. Research methods – synthesis of antenna systems with the necessary pattern is based on the Hertz vector method, the method of induced electromotive forces, the method of mirror images and analysis of the results. The influence of the shape and number of elements of the antenna system on the formation of its radiation pattern is determined and the calculation for the selection of the optimal design with the required electrical characteristics is established. That is, the proposed technique helps to improve and simplify the technical performance of transmitting and receiving speakers. Based on the results of the research, a mathematical model for calculating the directional characteristics of the AS, built on low-lying emitters for radio communication equipment and methods of constructive synthesis of AS radio communication equipment built on low-located emitters, which is possible in the absence of with realized gain up to 16 dB. It is expedient to apply the developed technique: during the development of new AS and antenna-feeder devices for modern field radio communication equipment and AS for unmanned aerial vehicles; during the organization of communication by a field special radio communication node.

Keywords: mobile radio communication device, vibrating antennas, low-lying vibrators, constructive synthesis of antenna systems, antenna orientation diagram, vibrator system calculation model, method of constructive synthesis of antenna systems.

Мавріна Олена Сергіївна, начальник науково-організаційного відділу Науково-дослідного центру, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна, ORCID 0000-0002-8661-477X, polkovnik1_2008@ukr.net.

Mavrina Olena, head of the scientific-organizational department of the scientific and research center, Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, Ukraine.