

УДК 621.396

Р.В. Момот, Г.В. Худов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕН НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ

В статті приводиться коротка характеристика антен, основних характеристик, що суттєво впливають на точність визначення координат як радіолокаційних цілей, так і джерел випромінювання. Також описані деякі проблемні питання, що ускладнюють розрахунки характеристик антен та розробку приймальних пристроїв, що розглянуті в статистичній теорії антен.

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, постановник активних перешкод, діаграма спрямованості, коефіцієнт направленої дії, зона виявлення.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У теперішній час одним з напрямком розвитку сучасних радіолокаційних станцій (РЛС) радіотехнічних військ (РТВ) Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України є їх модернізація [1 – 4], основною метою якої є поліпшення експлуатаційних показників та підвищення мобільності РЛС, а основними напрямками є перехід на нову елементну базу, підвищення мобільності і живучості, автоматизація основних елементів бойової роботи, заміна систем зв'язку, доробка окремих бойових і тестових алгоритмів. Одним з важливих елементів РЛС, що підлягає модернізації, є антенна система.

**Мета статті** – проаналізувати вплив характеристик антен на точність визначення координат джерела випромінювання, з метою його супроводження, точного визначення координат та видачі цілевказівки на командні пункти зенітних ракетних військ та пункти наведення авіації для подальшого їх знищення.

### Постановка задачі і викладення матеріалів дослідження

Відомо [5], що будь-яка радіолінія складається з двох пристроїв – передавального та приймального. Зв'язок між ними здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль, які розповсюджуються в просторі [5]. Основним призначенням передавальної антени є випромінювання електромагнітних хвиль, які вільно розповсюджуються у просторі [5]. Основним призначенням приймальної антени – уловлювання енергії з поля радіохвиль, які розповсюджуються, а також передачі даної енергії в приймач [5].

У випадку передавальних антен, струми які протікають в антені, збуджують електромагнітне поле в просторі. Так як це поле розповсюджується, («іде») від антени, то необхідно весь час підтримувати його, що здійснюється завдяки передачі енергії від зарядів поля в антені, які рухаються [5].

У випадку приймальної антени, поле радіохвиль, які «приходять», діють на вільні заряди, які має антена. Під впливом цього поля заряди здобувають складову швидкості в напрямку дії електромагнітного поля, тобто в антені виникає змінний струм. При цьому частина енергії падаючої хвилі поступає в антену, яка в свою чергу передає її з визначеним коефіцієнтом корисної дії (ККД) приймачу [5].

Зворотній характер процесів, які проходять в передавальній та приймальній антенах, визначають їх оберненість. Останнє означає, що принципово передавальну антену можна використовувати як приймальну, та навпаки. Такі антени називаються приймально-передавальні [5].

Перетворення енергії струмів високої частоти в енергію радіохвиль в режимі передачі або зворотне перетворення в режимі прийому являється першою функцією антени. Друга функція антени – концентрація випромінювання у визначених напрямках при заданій поляризації радіохвиль в режимі передачі або прийом з визначених напрямків радіохвиль заданої поляризації в режимі прийому [5]. Для покращення відношення сигнал-шум, необхідно перш за все покращити просторову вибірковість РЛС шляхом підвищення її розрізняльної здатності для приближення розміру елемента, що розрізняється, до розміру цілі, тобто необхідною звуженням діаграми спрямованості антени (ДСА) та розширенням спектру сигналу, оптимізувати умови спостереження малорозмірних цілей на фоні перешкод [6].

З потраплянням електромагнітних хвиль (ЕМХ) на приймальну антену вона збуджується і на ній виникає струм. Залежність амплітуди струму від кутів приходу  $(\theta, \varphi)$  плоскої ЕМХ, при постійній величині напруженості поля в місці прийому називається діаграмою спрямованості приймальної антени [5].

ДСА в режимі прийому та передачі співпадають. Співпадіння параметрів антени в режимі передачі та прийому незалежно від поляризації, має місце при умові, що приймач та передавач підключаються до антени однаково [7].

З визначення діаграми спрямованості (ДС) приймальної антени можна зробити висновок, що, якщо направити антену на джерело випромінювання, то амплітуда струму, який навівся на антені, буде більшою, ніж у випадку, коли антена повернута на певний кут. Виходячи з даного висновку, можна припустити, що, чим більший струм на поверхні антени, тим більшу потужність можна добути з поля. Потужність, яку віддає приймачу антена можна визначити за формулою [7]:

$$P_{\text{пр}} = \frac{E^2}{240\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} G(\theta, \varphi). \quad (1)$$

В виразі (1) перший множник представляє собою щільність потоку потужності  $S$  в точці прийому. Другий множник має розмірність площі і називається ефективною площею антени  $A_{\text{еф}}(\theta, \varphi)$ .

Ефективна площа представляє собою таку площадку, яка, будучи помноженою на щільність потоку потужності хвилі що приходить, дає потужність яку антена віддає навантаженню при умові, що поляризація антени та падаючої хвилі співпадають

$$P_{\text{пр}} = SA_{\text{еф}}(\theta, \varphi). \quad (2)$$

Співвідношення

$$A_{\text{еф}}(\theta, \varphi) = \frac{\lambda^2}{4\pi} G(\theta, \varphi) \quad (3)$$

є одним з найважливішим в теорії антен. Воно пов'язує ефективну площу – параметр який зручний в режимі прийому, з коефіцієнтом підсилення – параметром, який використовується в режимі передачі. Співвідношення (3) придатне для антени будь-якої конструкції без всяких обмежень [5].

Втрати враховуються введенням ККД антени  $\eta$ :

$$\eta = P_{\Sigma} / P_{\text{підв}}; \quad P_{\text{підв}} = P_{\Sigma} + P_{\text{втрат}},$$

тобто ККД показує яка частина потужності, яка підводиться до антени, іде на випромінювання, тобто затрачується корисно [5]. Коефіцієнт підсилення (КП) показує в скільки разів потужність, яка підводиться до антени без втрат, повинна бути більша потужності, що підводиться до антени що розглядається, при умові рівності полів, які були збудженні цими антенами в напрямку  $\theta, \varphi$  [2].

Таким чином, при визначенні КП порівнюються потужності, які підводяться до ізотропної антени та антени яка розглядається, в той час, як при визначенні коефіцієнту направленої дії (КНД) проводиться порівняння потужності, яка випромінюється даними антенами.

КНД приймальної антени в напрямку  $\theta, \varphi$  називається відношення потужності, що поступає на вхід приймача при прийомі з напрямку  $\theta, \varphi$ , до потужності, яка поступає на вхід приймача при прийомі ненаправленої антени [5]. При цьому вважається, що дана антена та ненаправлена антена узгодженні з приймачем та мають однакові ККД [5].

Іншими словами, КНД характеризує виграш в прийнятій потужності за рахунок направленості антени. Коефіцієнт підсилення  $G(\theta, \varphi)$  і представляє собою параметр, який характеризує величину виграшу по потужності з врахуванням як направлених властивостей антени, так і втрат в ній [5]. КНД для передавальної та приймальної антен однакові.

**Коротка класифікація антен.** У відповідності з діапазоном хвиль, що використовується, розрізняють антени довгих, середніх, коротких хвиль, антени ультракоротких хвиль (УКХ) та антени оптичного діапазону [5]. Діапазон ультракоротких хвиль (УКХ), є основним для радіолокації та характеризується великою різноманітністю антен, що використовуються [5].

Антени УКХ можна розділити на метрові та надвисокочастотні (НВЧ) антени, до яких відносяться антени дециметрових, сантиметрових та міліметрових хвиль. Для антен УКХ діапазону (особливо НВЧ антени) характерні такі три особливості [5]:

– їх розмір значно більший довжини хвилі, що дозволяє забезпечити високі направлені характеристики антени;

– замість лінійних струмів які протікають по тонким провідникам, широко використовуються поверхневі струми, які обтікають великі металеві поверхні;

– перетворення струмів високої частоти в радіохвилі і формування діаграми направленості виробляються різними елементами антени. Так в дзеркальних або лінзових антенах джерелом випромінювання являється вібратор, щілина, рупор (або система вібраторів, щілин, рупорів). Діаграма ж направленості цих антен формується дзеркалом або лінзою.

По способу формування поля яке випромінюється, виділяють наступні чотири класи антен [5]:

1) випромінювачі невеликих розмірів ( $l \leq \lambda$ ) для діапазону частот 10 кГц – 1 ГГц. До числа антен даного класу відносяться одиночні вібраторні та щілинні випромінювачі, полоскові та мікрополоскові антени, розмічені антени, а також частотно незалежні випромінювачі;

2) антени біжучої хвилі розмірами від  $\lambda$  до  $10\lambda$  та більше для частот від 3 МГц до 10 ГГц: спіральні, діелектричні та антени «витікаючої» хвилі;

3) антенні решітки розмірами від  $\lambda$  до  $100\lambda$  та більше для частот 3 МГц до 30 ГГц. Це антени, які складаються з великого числа окремих випромінювачів. Незалежне регулювання фаз (а іноді і амплітуд) збудження кожного елемента антенної решітки. Забезпечує можливість електричного управління діаграми спрямованості. Використовуються лінійні, плоскі, кільцеві, випуклі та конформні (співпадають з формою об'єкта установки) антенні решітки. На основі антенних решіток виконують антенні системи з обробкою сигналу, в тому числі адаптивні до змінної заводової обстановки;

4. апертурні антени розмірами від  $\lambda$  до  $1000\lambda$  для діапазону частот 100 МГц – 100 ГГц та вище.

Найбільш розповсюдженні дзеркальна, рупорні та лінзові апертурні антени. До апертурних антен застосовують так звані «гібридні» антени, які представляють поєднання дзеркал та лінз з випромінюючою системою у вигляді антенної решітки. Апертурні антени будуються за оптичними принципами та забезпечують найбільш високу спрямованість випромінювання [8].

За останні роки вимоги до радіолокаційної апаратури різного призначення різко підвищилися. До них можна віднести: збільшення дальності виявлення, точності, роздільної здатності; збільшення швидкості огляду, темпу видачі даних, здійснення програмного огляду; розробка багатофункціональних систем, які здатні одночасно забезпечити роботу по багатьох цілях, причому для різних цілей режим роботи може бути різним; розробка адаптивних систем, здатних змінювати свої характеристики та алгоритми роботи в залежності від повітряної обстановки [9].

Дані тенденції в напрямку розвитку сучасної радіолокації наложили свій відбиток на вимоги до антен, визначили напрямок розвитку сучасної теорії та техніки антен. Можна виділити два характерних напрямки в розвитку антен РЛС: збільшення габаритів антен, що дає змогу збільшити дальність виявлення, точність, розрізнявальну здатність; розробка ряду нових типів антен, які більш гнучких по своїм можливостям, чим традиційні типи антен, здатних забезпечити, перш за все, швидке електронне качання променя антени, багатофункціональність системи, адаптацію РЛС до повітряної обстановки що постійно змінюється. До даних типів антен можна віднести в першу чергу: фазовані антенні решітки (ФАР); антени з обробкою сигналу (адаптивні антени різного типу); багато дзеркальні антени [9].

Збільшення габаритів антени, істотно ускладнює конструкцію антен, висока вартість сучасних антен привели до виникнення нових наукових напрямків в теорії антен та підвищили інтерес до ряду напрямків, які мали раніше чисто теоретичний інтерес [9].

Одним з таких напрямків є статистична теорія антен (СТА) – теорія антен з випадковими джерелами. Вона досліджує параметри антен, коли розподіл струму чи поля в ній є випадковими [5].

Раніше, при аналізі невеликих та простих по конструкції антен, прийнято було рахувати, що струми в провідниках антени або поле в її розкритті визначені, детерміновані величини. Знаючи розподіл струмів (або поля) в антені, розраховують важливіші характеристики, а саме ДС та зв'язані з нею параметри (КНД, ширину ДС, рівень бокових пелюсток), фазову ДС і т.д. [9]. В дійсності в багатьох випадках струми в антені чи поле в її розкритті є в тій чи іншій мірі випадковими [9].

1. Дзеркальна антена. Зазвичай вважається, що дзеркало антени має параболічну форму. Насправді із-

за неточності виготовлення, вітру, перепаду температури, власної ваги а т.д. реальна поверхня дзеркала випадковим чином відхилена від параболічної. Випадкові деформації форми дзеркала (вмятини, дірки) можуть виникати також в ході експлуатації і бойовій роботі РЛС. При випадкових спотвореннях дзеркала амплітудно-фазовий розподіл (АФР) поля в розкритті антени є випадковими. Замість плоского фронту хвилі на виході дзеркала маємо випадково-порізанним фронт.

2. Фазовані антенні решітки (ФАР). ФАР – це система з ряду випромінювачів, кожен з яких живиться окремим каналом від окремого генератора або підсилювача. У каналі живлення кожного випромінювача є пристрої, керівники амплітудою і фазою струму випромінювача. Із-за ряду причин: нестабільності пристроїв керування (фазообертачів) і генераторів, неідентичності трактів і тому подібне, фази і амплітуди струмів в різних випромінювачах решітки випадкові. Відмітимо, що на сьогодні при існуючих фазообертачах і генераторах СВЧ розкид (нестабільність) їх характеристик досить великий.

Випадковий характер АФР на виході решітки може бути обумовлений також випадковим виходом з ладу окремих її каналів.

3. Робота приймальної антени. Зазвичай при аналізі характеристик приймальної антени вважають, що падаюча на неї хвиля плоска і за цієї умови визначають параметри антени – ДН, КНД і т.і. Насправді, фронт падаючої хвилі є випадковим, оскільки хвиля проходить крізь турбулентне середовище – тропосферу, іоносферу. "Період" деформацій у фронті падаючої хвилі приблизно дорівнює розміру неоднорідностей середовища. Особливо сильно виявляється цей ефект, наприклад, в лініях далекого тропосферного поширення, а також в радіолініях, що проходять крізь полярну іоносферу [9].

Якщо розміри апертури антени є співрозмірними з "періодом" деформацій у фронті падаючої хвилі, то параметри приймальної антени помітно відрізнятимуться від значень їх, характерних для випадку падіння на антену плоскої хвилі [9].

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, на теперішній час існує велике різноманіття антен та систем, що використовуються в різних галузях. В радіотехнічних військах основними типами антен є антени УКХ.

Основною характеристикою, що впливає на точність визначення координат джерела випромінювання, є діаграма спрямованості. При збільшенні лінійних розмірів антени, зростає діаграма спрямованості, та збільшується точність виявлення координат. Але при збільшенні розмірів антени підвищується вартість антени, та збільшується кількість випадкових факторів, які заважають обробці корисних сигналів.

## Список літератури

1. Воробьев И.Н. От современной тактике к тактике сетецентрических действий / И.Н. Воробьев, В.А. Киселев // Военная мысль. – М.: МО РФ, 2011. – № 8. – С. 19-27.

2. Демидов Б.А. Элементы методологии обоснования направлений развития и формирования облика перспективной системы вооружения вида вооруженных сил государства / Б.А. Демидов, А.Ф. Величко, О.А. Хмелевская // Системы управління, навігації та зв'язку. – № 3 (15). – К.: ДП ЦНДІ НУ, 2010. – С. 187-194.

3. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники / Б.А. Демидов, М.И. Луханин, А.Ф. Величко, М.В. Науменко. – К. ИД «Стилос», 2011. – 463 с.

4. Механізм заміни комплектуючих виробів озброєння та військової техніки сучасними аналогами нової техніки / Б.М. Ланецький, І.Б. Чепков, В.В. Лук'янчук, І.М. Ніколаєв // Наука і оборона. – 2012. – № 2. – С. 54-60.

5. Шифрин Я.С. Антенны / Я.С. Шифрин. – Х.: ВИРТА, 1976. – 368 с.

6. Електрон. ресурс. Режим доступу до ресурсу: [library.tuit.uz/skanir\\_knigi/book/Radiotexnicheskie.../3glava.htm](http://library.tuit.uz/skanir_knigi/book/Radiotexnicheskie.../3glava.htm).

7. Вендик О.Г. Антенны с электронным движением луча (введение в теорию) / О.Г. Вендик, М.Д. Парнес; под ред. Л.Д. Бахраха. – С.-Петербург ЛІСТИ, 2001. – 252 с.

8. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: учебн. / Д.М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.

9. Шифрин Я.С., Лосев А.И., Минервин Н.Н. Построение и эксплуатация антенных систем РЛС. Влияние условий распространения радиоволн на характеристики РЛС. Конспект лекций. Часть I-IV / Я.С. Шифрин, А.И. Лосев, Н.Н. Минервин. – Х.: ВИРТА 1976. – 278 с.

Надійшла до редколегії 20.12.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

Р.В. Момот, Г.В. Худов

*В статье приводится краткая характеристика антенн, основных характеристик, которые существенно влияют на точность определения координат радиолокационных целей и источников излучений. Также описываются некоторые проблемные вопросы, которые усложняют расчеты характеристик антенн и разработку приёмных устройств, рассматриваемых в статистической теории антенн.*

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, постановщик активных помех, диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, зона обнаружения.

## IMPACT PERFORMANCE ANTENNAS ON ACCURACY OF COORDINATES RADIATION SOURCE

R.V. Momot, G.V. Khudov

*This article is provided a brief description of antennas, the main characteristics that significantly affect the accuracy of detection coordinates as radar targets, as the radiation source. There are some issues that complicate the calculations of the characteristics of antennas and the development of receivers considered in the statistical theory of antennas.*

**Keywords:** radar, director of active interference pattern, the rate of directed action zone detection, statistical theory.