

УДК 621.396.67

В.І. БЛЄДНОВ, В.В. ПАВЛІКОВ

Харківський університет Повітряних Сил, Україна

**АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕЗОВАНИХ ОСЬОВИХ  
АНТЕННИХ РЕШІТОК ПРИ ПОВЗДОВЖНЬОМУ СИНТЕЗИ**

У роботі проведений аналіз можливості підвищення кутової розрізняювальної здатності осьової синтезованої решітки по відношенню до еквідистантної рівноамплітудної і лінійнофазної решітки. Показана доцільність застосування оптимального фазового розподілення при формуванні діаграми спрямованості антен радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою (РСА) авіаційно-космічного базування.

**радіолокаційні станції з синтезованою апертурою з поперечно орієнтованим головним пелюстком діаграми спрямованості, радіолокаційні станції з синтезованою апертурою з повздовжно орієнтованим головним пелюстком діаграми спрямованості**

**Вступ**

На даний час достатньо детально досліджені характеристики синтезованих антен з поперечно орієнтованим відносно напрямку руху головним пелюстком діаграми спрямованості (ДС). Основний шлях одержання високої розрізняювальної здатності лежить у збільшенні довжини штучного розкриву антени відносно довжини хвилі. Методи бічного, передньобічного, телескопічного та подібних до них оглядів Землі на базі застосування алгоритмів синтезування апертури використовуються досить широко. Питання формування вузької ДС у напрямку руху реальної антени розглянуто не досить повно.

**1. Формулювання проблеми**

Відомі попередні результати аналізу синтезування характеристик антени в повздовжньому напрямку [1]. Такий режим повздовжнього (осьового) синтезування доцільно використовувати в РСА перехвату та прицілювання або іншого призначення. Наприклад, можна вважати доцільним використання радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою для захисту літака з боку задньої напівсфери. Очевидно, що режим синтезування можна застосовувати шляхом врахування руху цілі або при одночасному русі реальної антени та цілі.

Для реалізації цього режиму необхідно більш детально дослідити характеристики синтезованої апертури вздовж лінії руху реальної антени або цілі.

Аналіз відомих джерел показує, що в літературі [2, 3], присвяченій проблемам осьового синтезування, відсутні відомості про шляхи оптимізації характеристик спрямованості таких антен з ціллю підвищення розрізняювальної здатності за кутовими координатами.

*Метою* статті є аналіз можливості підвищення кутової розрізняювальної здатності осьової синтезованої решітки по відношенню до еквідистантної рівноамплітудної і лінійнофазної решітки.

**2. Рішення проблеми**

Як відомо, нормований множник системи (МС) лінійної антенної решітки (ЛАР) визначається такою формулою:

$$F(\theta) = \frac{\sin \left[ N \cdot \frac{k \cdot d}{2} \cdot (\cos(\theta) - \psi) \right]}{N \cdot \sin \left[ \frac{k \cdot d}{2} \cdot (\cos(\theta_{2n}) - \psi) \right]}, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість елементів решітки;  $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$  – хвильове число;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $d$  – відстань між сусідніми елементами;  $\theta_{2n}$  – кутовий напрямок головного пелюстка;  $\psi = \frac{\varphi}{k \cdot d}$ , де  $\varphi$  – різниця фаз

двох сусідніх елементів;  $\theta$  – кутовий поточний напрямок головного пелюстка.

Порівняння форм МС осьових та поперечних решіток показує, що при однакових розмірах розкриву форма і ширина головних пелюстків суттєво відрізняються. Так, наприклад, ширина МС рівноамплітудної еквідистантної та синфазної решітки дорівнює  $2\theta_{0,5} = \lambda/L$ , а ширина головного пелюстка осьової решітки складає

$$2\theta_{0,5} = 2 \cdot \sqrt{\lambda/L},$$

де  $L$  – довжина решітки.

Крім того, вершина головного пелюстка МС осьової решітки має більш плоску ділянку.

На рис. 1 та 2 відповідно показані розрізи МС поперечної та осьової решіток при  $N=10$ ,  $d = \lambda/4$ ,  $L = (N-1) \cdot d$ .

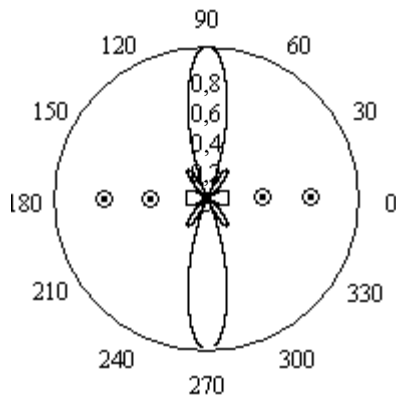


Рис. 1. МС поперечної решітки

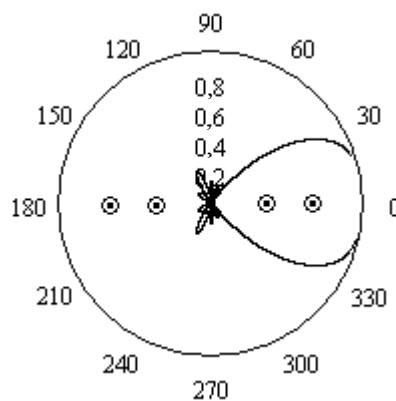


Рис. 2. МС осьової решітки

У зв'язку з тим, що при однопозиційній радіолокації властивості реальної антени РЛС впливають двічі, то ДС РСА для сумарного каналу розраховується з формули

$$F_{\Sigma C}(\theta) = F_1^2(\theta) \cdot F(\theta), \quad (2)$$

де  $F_1(\theta)$  – ДС реальної антени;  $F(\theta)$  – множник системи.

Залежність ширини множника системи та діаграми спрямованості від довжини синтезованої антени

$\frac{L_c}{\lambda}$  при повздовжньому синтезі показана на рис. 3.

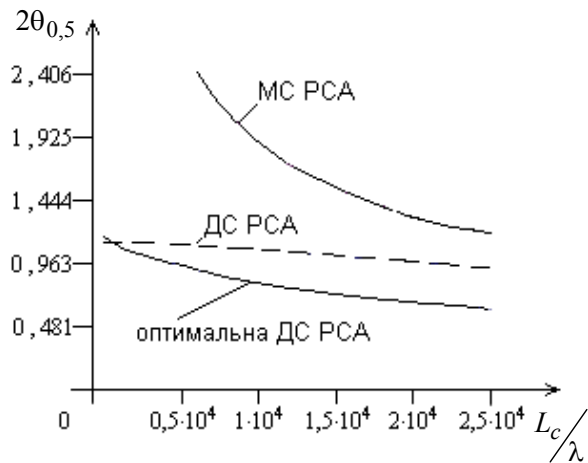


Рис. 3. Залежність ширин ДС та МС від довжин синтезованого розкриву

При розрахунках  $F_1(\theta)$  приймалось, що реальна антена є решіткою довжиною 1 метр з  $d = 0,75\lambda$ , яка зфазована поперечно її розкриву.

Різницеві ДС осьової решітки, які доцільно використовувати в кутомірних каналах РСА, можуть бути забезпечені:

- протифазністю сигналів кожної пари елементів в осьовому напрямку (рис. 4),
- протифазністю сигналів двох осьових підрешіток в напрямку синтезування (рис. 5),
- іншими способами, наприклад, формуванням різницевої діаграми спрямованості реальної антени.

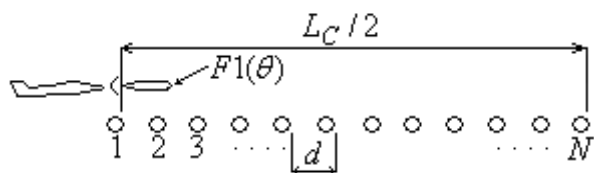


Рис. 4. Формування різницевої ДС протифазністю сигналів кожної пари елементів в осьовому напрямку

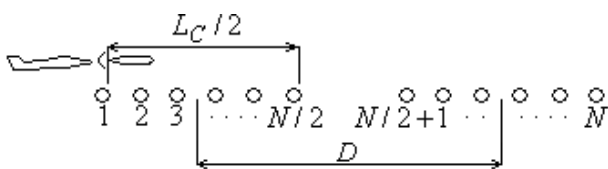


Рис. 5. Формування різницевої ДС протифазністю сигналів двох осьових підрешіток в напрямку синтезування

На рис. 6 відображено зміну форми різницевого МС у залежності від відстані між підрешітками  $D$ , при  $N = 10000$ ,  $d = 0,25\lambda$ . Розрахунки велися за формулою

$$F_{\Delta}(\theta) = F_{\Delta 1}(\theta) \cdot F_2(\theta), \quad (3)$$

де  $F_{\Delta 1}(\theta)$  – різницевий МС підрешітки;  $F_2(\theta)$  – МС двох підрешіток при протифазності їх сигналів у напрямку осі.

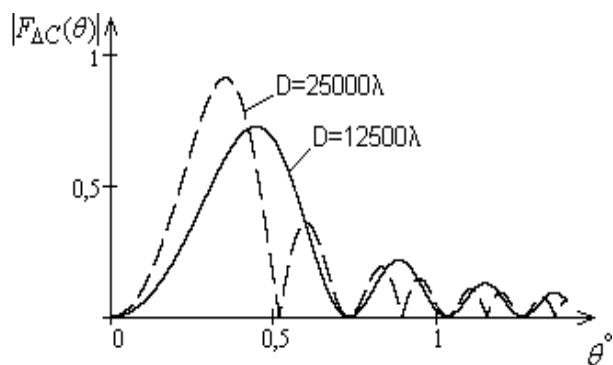


Рис. 6. Зміна різницевого МС залежно від відстані між підрешітками

Різницева ДС РСА може бути розрахована із формули

$$F_{\Delta C}(\theta) = F_1(\theta) \cdot F_{\Delta}(\theta). \quad (4)$$

На рис. 7 показані різницеві діаграми спрямованості радіолокаційних станцій з синтезованою апер-

турою при різних значеннях  $L_c$  та при забезпеченні протифазності сигналів двох сусідніх елементів у осьовому напрямку. При цьому  $F_1(\theta)$  реальної антени приймаємо такою ж, як і при розрахунках діаграми спрямованості для сумарного каналу у режимі прийому.

Як показано в [2], шляхом збільшення величини  $\psi$  порівняно з  $\psi = 1$  можна звужити головний пелюсток, орієнтований вздовж осі решітки, однак при цьому значно зростають бокові пелюстки та погіршуються енергетичні показники. При оптимальному значенні

$$\psi_{opt} = 1 + \frac{2,94}{N \cdot k \cdot d}$$

ширина МС вдвічі звужується і буде дорівнювати

$$2\theta_{0,5} = \sqrt{\lambda/L}.$$

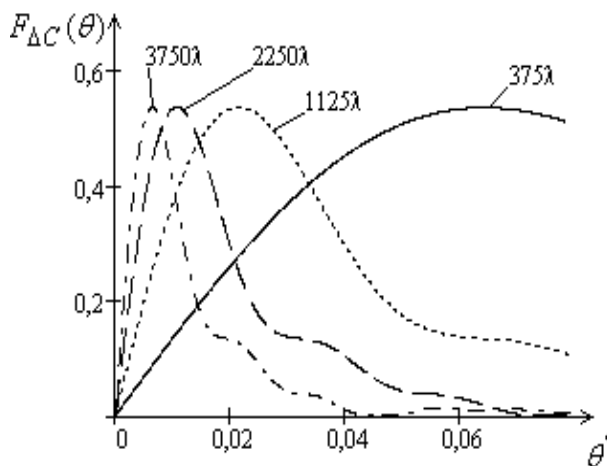


Рис. 7. Зміна різницевої ДС залежно від розміру синтезованого розкриття

На рис. 8 зображені залежності ДС та МС від  $\theta$ :

– цифрою 1 показано множник системи звичайної осьової решітки при:

$$N = 1000; \quad d = \frac{\lambda}{4};$$

$$L_c = (N_c - 1) \cdot d;$$

– цифрою 2 – ненормований множник системи при  $\psi = \psi_{opt}$ ;

– цифрою 3 – оптимальна ненормована діаграма спрямованості радіолокаційної станції з синтезованою апертурою для сумарного каналу.

Очевидно, що при зростанні розміру  $L_c$  вплив форми діаграми спрямованості реальної антени на ДС РСА буде зменшуватись.

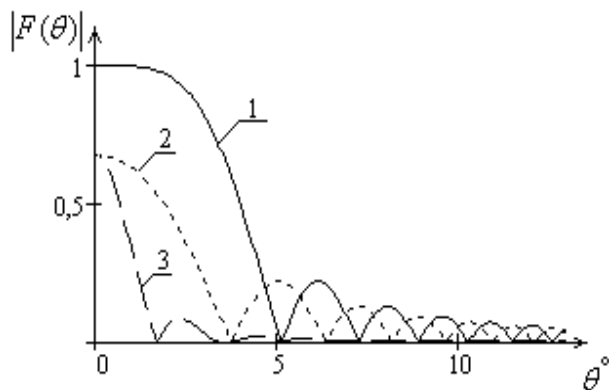


Рис. 8. Залежність ДС та МС від  $\theta$ :  
1 – МС РСА, 2 – оптимальний МС РСА,  
3 – оптимальна ДС РСА

Для порівняння на рис. 3 додатково показано залежність ширини ДС такої оптимальної решітки від співвідношення  $\frac{L_c}{\lambda}$ .

Аналіз показує, що рівень перших бокових пелюсток цієї решітки зростає на 4 децибела порівняно зі звичайною осью решіткою.

На рис. 9 зображено зміну у децибелах рівня нормованого першого бічного пелюстка оптимального множника системи, позначеного цифрою 2, відносно бокового пелюстка звичайного МС, позначеного цифрою 1.

## Висновки

Виходячи з проведеного аналізу, можливо стверджувати, що підвищення кутової розрізняльної здатності РСА авіаційно-космічного базування у сумарному каналі може бути досягнуто використанням оптимального фазового розподілення при сумуванні сигналів. В кутомірному каналі з метою

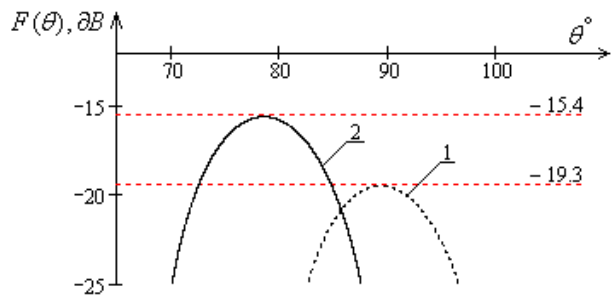


Рис. 9. Зміна рівня нормованого першого бічного пелюстка: 1 – перший бічний пелюсток звичайного МС РСА; 2 – нормований перший бічний пелюсток оптимального МС РСА

підвищення крутості пеленгаційної характеристики доцільно використовувати підрешітки з протифазним сумуванням сигналів. Для отримання однакової ширини ДС РСА при поперечному та повздовжньому синтезі розміри останнього повинні бути у  $\sqrt{L_c/\lambda}$  разів більшими.

## Література

1. Бледнов В.И. Особенности синтеза антен самолетных радиолокационных станций // Вестник науки и техники. – Х.: ООО ХДНТ. – Вып. 4 (15). – 2003. – С. 43 – 52.
2. Куртов А.И., Бледнов В.И., Волосяк В.К. Оптимизация когерентной обработки сигналов в суммарном и разностном каналах моноимпульсного амплитудного радиовизора // Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмического университета „ХАИ”. – Х.: НАУ Вып. 14. – 2002. – С. 71 – 81.
3. Волосяк В.К., Куртов А.И., Бледнов В.И. Продольный синтез апертуры в задачах оптимальной обработки сигналов при пеленговании воздушных целей // Успехи современной радиоэлектроники. – № 9 – 10. – 2004. – С. 3 – 37.

Надійшла до редакції 26. 11. 2004

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.К. Волосяк, Національний аерокосмічний університет ім. Н.С. Жуковського «ХАИ», Харків.