

УДК 621.396

І.І. Опанасюк, В.А. Багінський

Науковий центр Сухопутних військ, Львів

## ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЧА СТАНЦІЇ РАДІОТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ АНТЕН ІЗ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ

У роботі розглядається можливість підвищення чутливості приймача станції радіотехнічної розвідки з використанням антенних систем з обробкою сигналів. Передбачається робота станції в складній сигнальній обстановці, де не інформативні сигнали діють по бічним пелюсткам діаграми спрямованості антени тим самим знижуючи відношення сигнал/шум на вході приймача. Дію неінформативних сигналів можливо компенсувати формуючи провали діаграми спрямованості у напрямку їх приходу, за рахунок чого відношення сигнал/шум на вході приймача буде вище ніж на виході звичайної антени.

**Ключові слова:** антени з обробкою сигналів, чутливість приймача, відношення сигнал/шум, неінформативний сигнал, антенна решітка, провал діаграми спрямованості.

### Вступ

Досвід проведення операцій багатонаціональними силами в останніх військових конфліктах де приймали участь сили та засоби радіо – радіотехнічної та радіолокаційної розвідки показав надзвичайно високу ефективність їх застосування і як наслідок їх велике насичення в зоні воєнного конфлікту.

При такій інтенсивності та розподілу джерел радіовипромінювання надзвичайно актуальною є задача забезпечення зменшення впливу перешкод від працюючих радіотехнічних засобів. Для розв'язку цієї задачі необхідно приймати заходи, які будуть зменшувати вплив перешкод та шумів, що суттєво обмежують можливості радіотехнічних засобів або роблять неможливим функціонування взагалі.

Одним із основних технічних параметрів приймача є його чутливість, яка залежить від співвідношення сигнал/шум. Під поняттям шум можливо розуміти і перешкодовий (неінформативний) сигнал. Таким чином, не інформативні сигнали, які діють по боковим пелюсткам діаграми спрямованості антени станції радіотехнічної розвідки суттєво зменшують чутливість приймача.

### Основна частина

Порогова чутливість згідно [1] визначається виразом (1):

$$P_{\min} = k_b \cdot T \cdot \Delta f_r \cdot k_n \cdot k_d, \quad (1)$$

де  $P_{\min}$  – порогова чутливість приймача;  $k_b$  – постійна Больцмана;  $T$  – абсолютна температура приймача;  $\Delta f_r$  – смуга пропускання приймача;  $k_n$  – коефіцієнт шуму приймача;  $k_d$  – коефіцієнт роздільності (відношення сигнал/шум на вході приймача, при якому забезпечуються приймання сигналів з заданими ймовірностями).

Розглянемо можливість виділення корисного сигналу на фоні перешкод та шумів, які потрапляють на вхід приймача станції радіотехнічної розвідки по боковим пелюсткам діаграми спрямованості антени шляхом формування провалу у діаграмі спрямованості антени (у межах всієї робочої смуги частот антени) в напрямках приходу перешкоди. Таким чином, збільшуючи  $k_d$  згідно (1) збільшимо чутливість приймача.

Формувати широкосмуговий провал керований у просторі можливо використовуючи інваріантні алгоритми обробки сигналів [2, 3], що надасть можливість подавлювати неінформативні сигнали в бічних пелюстках діаграми спрямованості.

Як правило у станціях радіотехнічної розвідки використовуються антенна система дзеркального типу [4, 5].

Дзеркалом антени є несиметрична вирізка параболічного дзеркала з винесеним із розкриву дзеркала опромінювачами. Для таких антен рівень перших бічних пелюсток складає як правило не більше -13 дБ. Для досліджень було обрано ширина діаграми спрямованості головної пелюстки діаграми спрямованості у горизонтальній площині  $4^\circ$ .

Проведено математичне моделювання характеристик спрямованості дзеркальної антени та інваріантної антени, що побудована на основі лінійної еквідистантної двадцяти шести елементної антенної решітки з рівномірним амплітудним розподілом, з шириною діаграми спрямованості  $4^\circ$ .

Форму діаграми спрямованості дзеркальної антени у горизонтальній площині було розраховано згідно [6] за виразом:

$$F_{3A}(\theta) = \int_{\frac{-L_{3A}}{2}}^{\frac{L_{3A}}{2}} A(y) \cdot e^{j \cdot k \cdot y \cdot \sin \theta} dy, \quad (2)$$

де  $A(y) = F_{el}(\theta)/(r/f)$  - амплітудний розподіл антени в горизонтальній площині;  $F_{el}(\theta)$  - діаграма спрямованості опромінювача дзеркальної антени;  $f$  - фокусна відстань параболи;  $r$  - відстань від фокуса параболи до точки на розкриві параболи;  $\theta$  - поточна кутова координата у горизонтальній площині;  $k = 2 \cdot \pi/\lambda$  - хвильове число.

Діаграми спрямованості дзеркальної антени наведено на рис. 1.

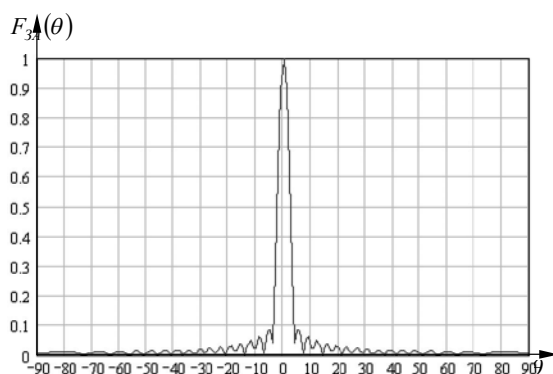


Рис. 1. Діаграма спрямованості дзеркальної антени

Діаграма спрямованості інваріантної антенної решітки розраховано променевим способом [7]. Вираз за яким розрахована діаграма спрямованості у горизонтальній площині має вигляд:

$$F_{IAP}(\theta) = \begin{vmatrix} F_{11}(\theta) & F_{12}(\theta) \\ \Phi_{21}(\theta) & \Phi_{22}(\theta) \end{vmatrix}, \quad (3)$$

де  $F_{11}(\theta)$ ,  $F_{12}(\theta)$  - вирази характеристик спрямованості антенних підрешіток, які, у свою чергу визначаються як:

$$F_{11}(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} F_{el_n}(\theta) \cdot e^{i \cdot n \cdot \omega \cdot (\tau - \tau_{m1})},$$

$$F_{12}(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} F_{el_n}(\theta) \cdot e^{i \cdot n \cdot \omega \cdot (\tau - \tau_{m2})},$$

де  $\theta$  - поточна кутова координата;  $F_{el_n}(\theta)$  - вираз характеристики спрямованості  $n$ -го антенного елемента;  $N$  - кількість антенних елементів (для формування діаграми спрямованості із шириною головної пелюстки  $4^\circ$   $N = 26$ );  $\omega$  - колова частота, на яку розрахована антена;  $\tau = \frac{d}{c} \cdot \sin \theta$  - запізнення сигналу між сусідніми елементами антенної решітки з напрямку  $\theta$ ;  $c$  - швидкість електромагнітної хвилі;  $d$  - відстань між елементами антенної решітки, відстань між елементами обрано  $d = 0,5 \cdot \lambda$ ;  $\tau_{m1}$ ,  $\tau_{m2}$  - час затримки сигналів для формування першого та другого максимумів з напрямів  $\theta_{m1}$ ,  $\theta_{m2}$ ;  $\Phi_{11}$ ,  $\Phi_{12}$  - характеристики базових фільтрів антенної решітки, які мають вигляд:

$$\Phi_{11}(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} F_{el_n}(\theta) \cdot e^{i \cdot n \cdot \omega \cdot (\tau_0 - \tau_{m1})},$$

$\tau_0$  - час затримки сигналів між сусідніми елементами для формування провалу в напрямі  $\theta_0$  діаграми спрямованості IAP.

На рис. 2 зображено діаграму спрямованості інваріантної антени із сформованим провалом у напрямку  $\theta^0$ .

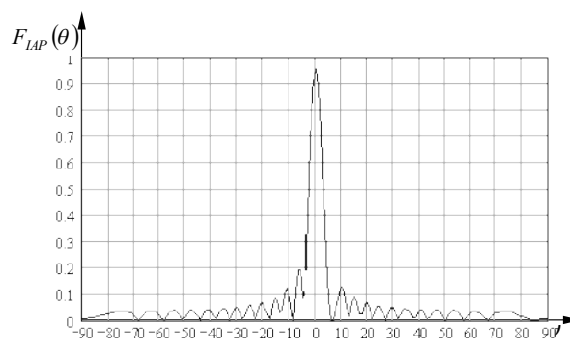


Рис. 2. Діаграма спрямованості інваріантної антенної решітки

Якість придушення шумової перешкоди оцінювалась величиною  $K$  - відношенням сигнал/шум на виходах дзеркальної та інваріантної антен:

$$K_{3A} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{c.3A}}{P_{ш.3A}} \right), \quad (4)$$

де

$$P_{c.3A} = \sum_{\theta=-90}^{90} F_{3A}^2(\theta) \cdot P_c(\theta); \quad (5)$$

$$P_{ш.3A} = \sum_{\theta=-90}^{90} F_{3A}^2(\theta) \cdot P_{ш}(\theta);$$

$P_c(\theta)$ ,  $P_{ш}(\theta)$  - потужності сигналу та шуму на вході антени у напрямку  $\theta$ ;  $P_{c.3A}$ ,  $P_{ш.3A}$  - потужності сигналу та шуму на виході дзеркальної антени;  $F_{3A}(\theta)$  - характеристика спрямованості дзеркальної антени;

$$K_{IAP} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{c.IAP}}{P_{ш.IAP}} \right), \quad (6)$$

де

$$P_{c.IAP} = \sum_{\theta=-90}^{90} F_{IAP}^2(\theta) \cdot P_c(\theta); \quad (7)$$

$$P_{ш.IAP} = \sum_{\theta=-90}^{90} F_{IAP}^2(\theta) \cdot P_{ш}(\theta);$$

$P_{c.IAP}$ ,  $P_{ш.IAP}$  - потужності сигналу та шуму на виході інваріантної антени.

При дослідженнях передбачалось, що корисний сигнал діє по головних пелюстках діаграм спрямованості антен, неінформативний, чи перешкодовий сигнали діють по боковим пелюсткам.

На рис. 3 наведено графіки залежності відношення сигнал/шум для дзеркальної антени (пунктирна лінія) та інваріантної (суцільна лінія) при

потужностях на вході антен  $P_c = P_{ш} = 10^{-11}$  Вт., та  $P_c = 10^{-11}$ ,  $P_{ш} = 10^{-10}$  Вт.

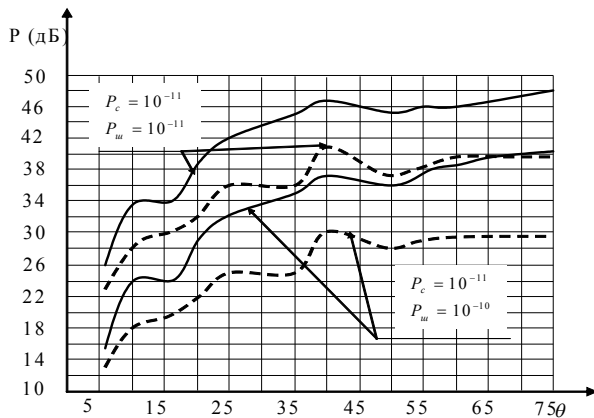


Рис. 3. Графік відношення сигнал/шум на виході дзеркальної та інваріантної антен

### ВИСНОВОК

Із аналізу отриманих результатів видно, що загальний характер відношення сигнал/шум має тенденцію до збільшення в напрямках дальніх бічних пелюсток приблизно на 15 Дб. Для дзеркальної антени та на 20 Дб. Для інваріантної антени. В цілому відношення сигнал/шум на виході інваріантної антени більше ніж у дзеркальної.

При збільшенні потужності перешкоди, загальний характер кривих відношення сигнал/шум не змінюється. Виграш у відношенні сигнал/шум між дзеркальною та інваріантною антенами в напрямку першої бічної пелюстки складає приблизно 3 дБ з подальшим збільшенням виграшу відношення при прийомі перешкоди дальніми боковими пелюстками.

При дії перешкоди з напрямку  $76^0$ , виграш складає приблизно 10 дБ. Це пояснюється тим, що рівень бокових пелюсток у інваріантної антени більший ніж у дзеркальної антени, при чому при формуванні провалу у діаграмі спрямованості інваріантної антени провал не повністю перебиває напрямок приходу перешкоди через що перешкода не повністю подавлюється. Таким чином, збільшуючи відношення сигнал/шум на вході приймача станції радіотехнічної розвідки ми збільшимо чутливість приймача.

### Список літератури

1. *Справочник по радиолокации* / Пер. с англ. под ред. М. Скольника. – Нью-Йорк, 1979. – Т.2. – 522 с.
2. *Поэлементный и змішаний синтез інваріантних антенних решіток* / В.В. Вороніков, О.В. Зелінський, М.В. Коваленко, Ю.О. Колос, В.В. Чухов // *Вісник ЖІТІ. – Житомир* : ЖІТІ, 1999. – № 11. – С. 133 – 138.
3. *Алгоритм вимірювання частоти сигналу інваріантною антенною решіткою* / М.В. Коваленко, Ю.О. Колос, С.В. Петраш, С.О. Соболенко, І.І. Опанасюк // *Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Житомир* : ЖВІРЕ, 2004. – № 8. – С. 101 – 108.
4. *Средства радиоэлектронного подавления, радиосвязи и радионавигации* / В.Я. Гранкин, В.И. Галинский, Ф.Т. Березан, Л.Т. Катречко. – М.: Воениздат, 1979. – 216 с.
5. *Вартанесян В.А. Радиоэлектронная разведка* / В.А. Вартанесян. – М.: Воениздат, 1991. – 256 с.
6. *Шифрин Я.С. Антенны* / Я.С. Шифрин. – Х. : ВИРТА, 1976. – 408 с.
7. *Коваленко М.В. Синтез інваріантних антенних решіток* / М.В. Коваленко // *Вісник ЖІТІ. – Житомир* : ЖІТІ, 1999. – № 9. – С. 178 – 184.

Надійшла до редколегії 7.05.2014

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

### УВЕЛИЧЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНИКА СТАНЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНТЕНН С ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА

И.И. Опанасюк, В.А. Багинский

*В работе рассмотрена возможность увеличения чувствительность приемника станции радиотехнической разведки с использованием антенных систем с обработкой сигналов. Ожидается работа станций в сложной сигнальной обстановке, где не информативные сигналы воздействуют по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны, чем снижают отношение сигнал/шум на входе приемника. Действие не информативных сигналов возможно компенсировать управляемыми провалами в диаграмме направленности антенны в направлении их прихода, за счет чего отношение сигнал/шум на входе приемника будет выше чем при использовании обычной антенны.*

**Ключевые слова:** антенны с обработкой сигналов, чувствительность приемника, отношение сигнал/шум, не информативный сигнал, антенная решетка, провал диаграммы направленности.

### INCREASING OF RECEIVER SENSITIVENESS OF SIGNAL INTELLIGENCE STATION BY MEANS OF USING OF AERIALS WITH SIGNAL PROCESSING

I.I. Opanasyuk, V.A. Baginskiy

*The article examines possibilities of increasing of receiver sensitiveness of signal intelligence station by means of using of aerials with signal processing. It researches operation of SIGINT stations in complex signal environment, where undesired (spurious) signals influence on lateral directional lobes and reduce a ratio signal/noise on the entrance of receiver. It proposes to set off the effect of spurious signals by means of controlled dips in the antenna diagram in direction of their arrival, as result the ratio signal/noise on the entrance of receiver will be higher than with use of conventional aerial.*

**Keywords:** aerials with signal processing, receiver sensitiveness, ratio signal/noise, spurious signal, array, dip in the antenna diagram.