

УДК 629.396

Е.О. Ковалевський, канд. техн. наук

## СИНТЕЗ АДАПТИВНОЇ АНТЕННО-ПРИЙМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ GNSS

НАУ, кафедра аеронавігаційних систем

*Розглянуто метод синтезу адаптивної антени за критерієм мінімуму суми середньоквадратичних відхилень вихідних потужностей сигналів і завад від відповідних потужностей при точному визначенні напрямків їх приходу. Показано ефективність синтезованої системи в усуненні завад.*

*Overviewed methods of synthesis of adaptive array by the gage of minimum total of average-square deviation of output signal and jam power versus relevant power at exact determination of coming directions. Showed the efficiency of synthesized system in jam depressing.*

## Постановка проблеми

У радіолокації, радіонавігації та зв'язку широко використовується адаптивна компенсація завад на базі антенних решіток (АР).

Відомий цілий ряд підходів до синтезу адаптивних систем [1; 2].

Специфіка роботи систем супутникової радіонавігації GNSS дозволяє пропонувати спосіб, що ґрунтується на вимірюванні (розрахунку) напрямків приходу сигналів і завад [3].

## Синтез адаптивної системи

Завданням адаптації в антенно-приймальній системі з АР є розрахунок вагових коефіцієнтів  $W$  з тим, щоб зважена сума сигналів АР забезпечила максимальне усунення завад при мінімальному зменшенні потенціалу сигналу.

Вихідні напруги завади та сигналу адаптивної антенно-приймальної системи з АР запишемо у вигляді:

$$U_n(\theta) = \sum_{k=1}^{N-1} \dot{U}_{nk} W_k e^{-j \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \theta k};$$

$$U_c(\alpha) = \sum_{k=1}^{N-1} \dot{U}_{ck} W_k e^{-j \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \alpha k},$$

де  $\theta$ ,  $\alpha$  – вектори кутів приходу завад та навігаційних сигналів;  $N$  – кількість елементів АР;  $\dot{U}_{nk}$ ,  $\dot{U}_{ck}$  – комплексні амплітуди;  $d$  – крок решітки;  $\lambda$  – довжина хвилі сигналу, що приймається.

Комплексні амплітуди  $\dot{U}_{nk}$ ,  $\dot{U}_{ck}$  припустимо постійними вздовж розкривання АР.

При відомих  $\theta$  та  $\alpha$  вектор  $W$  отримаємо вирішенням системи рівнянь

$$\begin{cases} U_n(\theta) = 0, & \forall \theta = \theta_n; \\ U_c(\alpha) = 1, & \forall \alpha = \alpha_c, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\theta_n$  та  $\alpha_c$  – істинні напрямки приходу завад і сигналів.

Якщо враховувати  $W$  сигнали в каналах АР, то можна забезпечити максимальне усунення завади.

Якщо  $\tilde{\theta}$  та  $\tilde{\alpha}$  оцінки параметрів  $\theta$  та  $\alpha$ , то вектор вагових коефіцієнтів  $W$  визначається наближено, що призведе до похибок

$$E_\theta = |U_n(\theta) - U_n(\tilde{\theta})|;$$

$$E_\alpha = |U_c(\alpha) - U_c(\tilde{\alpha})|. \quad (2)$$

Подамо середній квадрат похибки системи у вигляді

$$\bar{E}^2 = \bar{E}_\theta^2 + \bar{E}_\alpha^2,$$

де „ $\bar{\cdot}$ ” статистичне усереднення.

Після підстановки виразу (2) отримаємо

$$\begin{aligned} \bar{E}^2(\theta, \alpha) = & \overline{\left[ U_n(\theta) - U_n(\tilde{\theta}) \right] \left[ U_n^*(\theta) - U_n^*(\tilde{\theta}) \right]} + \\ & + \overline{\left[ U_c(\alpha) - U_c(\tilde{\alpha}) \right] \left[ U_c^*(\alpha) - U_c^*(\tilde{\alpha}) \right]}. \end{aligned} \quad (3)$$

Прирівняємо градієнт (3) до нуля

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{E}^2}{\partial \tilde{W}} = & 2 \left[ \dot{U}_n^*(\theta) - \dot{U}_n^*(\tilde{\theta}) \right] + \\ & + 2 \left[ \dot{U}_c^*(\alpha) - \dot{U}_c^*(\tilde{\alpha}) \right] = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Розв'язання системи рівнянь (4) відносно  $\tilde{W}$  призводить до виразу

$$\tilde{W} = W \mathfrak{Q}, \quad (5)$$

де  $\mathfrak{Q}$  – діагональна матриця фазорів з компонентами

$$e^{-j \frac{2\pi d}{\lambda} k (\sin \theta - \sin \tilde{\theta} + \sin \alpha - \sin \tilde{\alpha})}, \quad k \in 0 \dots N-1.$$

При малих відхиленнях оцінок  $\tilde{\theta}$  та  $\tilde{\alpha}$  від істинних значень вираз (5) можна відобразити у вигляді

$$\tilde{W} = W + \delta W.$$

Аналіз функції (3) на чутливість показує, що

$$\frac{\partial \bar{E}^2(\theta, \alpha)}{\partial \theta} > \frac{\partial \bar{E}^2(\theta, \alpha)}{\partial \alpha},$$

тому наступні відхилення кутів приходу навігаційних сигналів не враховуються.

Подамо завадовий сигнал на виході адаптивної антенно-приймальної системи так:

$$U_n(\tilde{\theta}) = U_n(\theta) + \delta U_n(\theta).$$

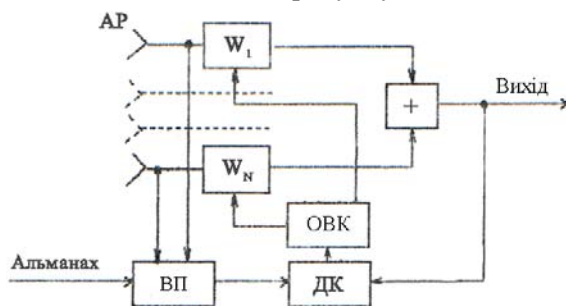
У випадку малості помилки оцінювання  $\theta$  розкладемо  $U_n(\tilde{\theta})$  у ряд Тейлора та відкинемо члени другого порядку:

$$U_n(\theta) = U_n(\tilde{\theta}) + U_n'(\tilde{\theta})(\theta - \tilde{\theta}).$$

З рівняння (6) випливає, що

$$\theta = \hat{\theta} + \frac{U_n(\theta) - U_n(\tilde{\theta})}{U_n'(\tilde{\theta})} = \tilde{\theta} + kdU_n(\tilde{\theta}). \quad (6)$$

Якщо  $\tilde{\theta} \rightarrow \theta$  вихідний сигнал завади  $U_n(\tilde{\theta}) \rightarrow U_n(\theta)$ , тобто вираз (3) досягає мінімального значення. Таким чином, приходимо до структури адаптивної антенно-приймальної системи, що показана на рисунку.



Структурна схема адаптивної антенно-приймальної системи

За даними альманаху у вимірювальному пристрої ВП розраховуються кути приходу сигналів та вимірюються кути, що відповідають напрямку приходу завади.

У дискримінаторі ДК корегується оцінка кута приходу завади відповідно до виразу (6).

Кореговані значення кута приходу завади та кути приходу сигналів надходять в обчислювач вагових коефіцієнтів ОВК, в якому вирішується система рівнянь (1) та визначається вектор  $W$ .

Розроблені математичні моделі систем синтезовано за пропонуванням критерієм (див. рисунок) і критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки [1].

Ефективність усунення синусоїдальної та широкопasmової завад досліджували при різних відношеннях завади/шум і завади/сигнал [4]. За показник усунення завади брали відношення напруг сигналів, що приймалися з напрямків приходу завади та навігаційного сигналу відповідно.

### Висновки

Проведене моделювання двох адаптивних систем, синтезованих за запропонованим критерієм і критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки вихідного сигналу, показало, що система зі структурною схемою, зображеною на рисунку:

- не поступається за показником усунення завади;
- більш широкопasmова;
- не потребує кількості кореляторів за кількістю елементів АР;
- може бути використана для побудови багатопозиційної системи, яка визначає місцезнаходження виходу завадових сигналів [5];
- стійка при зміні рівнів сигналів та завад.

### Література

1. *Адаптивная компенсация помех в каналах связи* / Под ред. Ю.И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
2. *Монзинго Р.А., Миллер Т.У.* Адаптивные антенные решетки. – М.: Радио и связь. 1986. – 448 с.
3. *Ковалевский Э.А.* Адаптивные антенно-приемные системы средств спутниковой аэронавигации // Матеріали V Міжнар. конф. “Авіа-2003”, 23–25 квіт. 2003 р. – Т. 2. Аерокосмічні системи моніторингу та керування. – К.: НАУ, 2003. – С. 21.14–21.17.
4. *Дослідження проблеми і розробка методів підвищення завадостійкості супутникових систем навігації.* Звіт з наук.-дослід. роботи 145-ДБ04, ДРН№0104U003742; Наук. кер. В.В. Конін. Відп. викон. Е.О. Ковалевський. – К.: НАУ, 2005. – 152 с.
5. *Ковалевский Э.А., Конин В.В., Харченко В.П.* Определение местоположения источника помехи средствами аэронавигации // Матеріали VI Міжнар. НТК “Авіа-2004”. – Т. 2. Аерокосмічні системи та керування. – К.: НАУ, 2004. – С. 21.42 – 21.44.

Стаття надійшла до редакції 23.03.05.