

## СПОСОБИ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ГРУПИ ВИПРОМІНЮВАЧІВ В ЗОНІ АЕРОПОРТУ ЯКІ СТВОРЮЮТЬ ЗАВАДИ ГЛОБАЛЬНИМ НАВІГАЦІЙНИМ СУПУТНИКОВИМ СИСТЕМАМ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: hvan@nua.edu.ua

У роботі отриманні співвідношення для проведення розрахунків енергії завади яка впливає на роботу приймача глобальних навігаційних супутникових систем GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО, при неможливості проведення безпосередніх вимірювань перешкоди в точці розташування приймача.

**Ключові слова:** глобальна навігаційна супутникова система, завада, електромагнітна обстановка, енергія, GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО.

### Вступ

Дія радіоелектронних засобів (РЕЗ) в зоні аеропорту впливає на роботу приймачів глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО тому необхідно мати уявлення про рівні енергії завади, яка впливає на роботу приймача ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО. При неможливості проведення вимірювань необхідно мати наближені методи розрахунку енергії перешкоди в точці розташування приймача ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО.

Тому актуальною є задача отримання формул для проведення рівня енергії завади в точці розташування приймача ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО.

### Основна частина

На формування електромагнітної обстановки (ЕМО) у зоні аеропорту впливають всі радіоелектронні системи управління повітряним рухом. Для енергетичної оцінки електричного

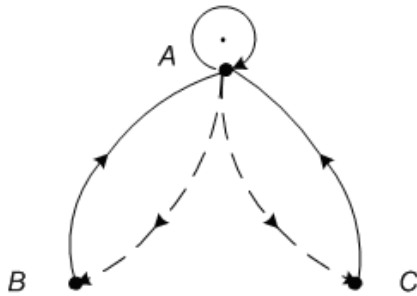


Рис. 1. Граф формування ЕМО

поля групи випромінювачів постановників перешкод ГНСС розглянемо граф ЕМО (рис. 1.)

При відсутності статистичних даних, необхідних для реалізації імовірного підходу до оцінки якості ЕМО, що створюється сукупністю РЕЗ з угруповань  $B$  та  $C$  гіпотези  $H_i$  розглядаються як відповідні сценарії [3]. Дія напруженості електричного поля  $E_i$  кожного  $i$ -го випромінювача в точці розташування приймальної антени системи  $A$  визначається співвідношенням:

$$E_i = \frac{13\sqrt{P_i G_i}}{r_i} V_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  – потужність на вході антени  $i$ -го джерела поля, кВт;  $G_i$  – коефіцієнт підсилення антени,  $r_i$  – відстань від антени джерела до антени приймача сигналу, км;  $V_i$  – множник послаблення хвилі при її поширенні. При цьому загальна потужність  $P$ , що виникає в приймальній антені під впливом кількості зосереджених завод:

$$P = 6.33 \cdot 10^3 G \sum_{i=1}^{B+C} \frac{P_i G_i \lambda_i^2}{r_i^2} V_i, \quad (2)$$

де  $G$  – коефіцієнт підсилення приймальної антени,  $\lambda_i$  – довжина хвилі, збудженої  $i$ -м випромінюванням, м.

Зрозуміло, що співвідношеннями (1) і (2) можна користуватися при невеликій кількості випромінювачів. Але ж доцільно ранжувати рівні завод у точці розміщення рецептора і аналізувати "дуельні ситуації". Отриману інформацію можна застосувати для цілеспрямованих

дій з управління якості ЕМО, пам'ятаючи, що середовище розповсюдження радіохвиль є лінійним.

Однак можна здійснити декомпозицію ЕМО за енергетичним спектром сумарної завади, якщо вони є вузько смуговими. При цьому сумарна питома енергія  $\xi$  полів у точці розміщення рецептора:

$$J = \sum J_i \approx \frac{1}{\pi} \sum_{i=1} S_i^2(\omega) \Delta\omega_i, \quad (3)$$

комплексна спектральна щільність вузько смугового процесу описується виразом:

$$\bar{S}_i(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} E_i(t) e^{-i\omega t} dt,$$

де  $\Delta\omega_i = \omega_{iB} - \omega_{iH}$  - смуга частот, яку займає  $i$ -те випромінювання. Оскільки враховувати всі  $S_i^2(\omega)$  в (3) практично неможливо, то їх суму доцільно перегрупувати по рівнянням і здійснити порогову селекцію. Відомо, що у будь-який час кількість міцних сигналів у точці спостереження значно менше, ніж кількість слабих сигналів. Тому розподіл  $\xi_i$  по шкалі частот – нерівномірний. Якщо  $d(\Delta\omega)$  – умовна смуга частот  $\Delta\omega$ , то  $\rho = \frac{\Delta\omega}{d(\Delta\omega)}$  - коефіцієнт частотної

щільності сигналів (завад) в смузі  $\Delta\omega$ . Залежність  $\rho$  від  $S_i^2$  є плавною кривою, характер якої ілюструється на рис. 2.

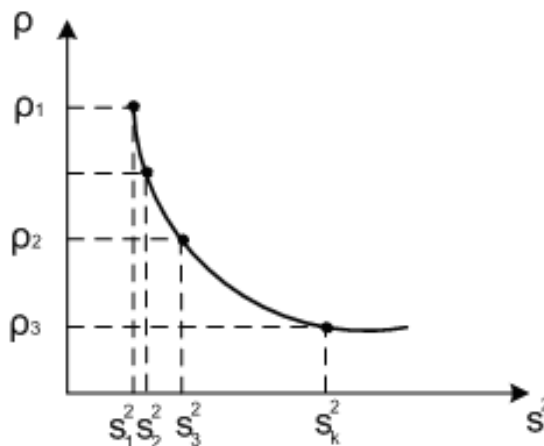


Рис. 2. Залежність  $\rho=f(S^2)$

Оскільки  $S_k^2 > S_1^2$ , то  $\rho_k < \rho_1$ , але

$$S_k^2 \rho_k \approx S_1^2 \rho_1^2 \quad (4)$$

У загальному випадку:

$$(S_k^2)^b \rho_k \approx (S_1^2)^b \rho_1 \quad (5)$$

де  $b$  – константа, яка потребує визначення. На основі формули (5) можна суттєво зменшити кількість складових, що належать різним сигналам, які підлягають утриманню при оцінці якості ЕМО. Для цього доцільно значення  $S_1^2$  формально розраховувати за формулами в загальній смузі частот  $\Delta\omega$  і квантувати з обраною відстанню. Така процедура ілюструється на рис. 3.

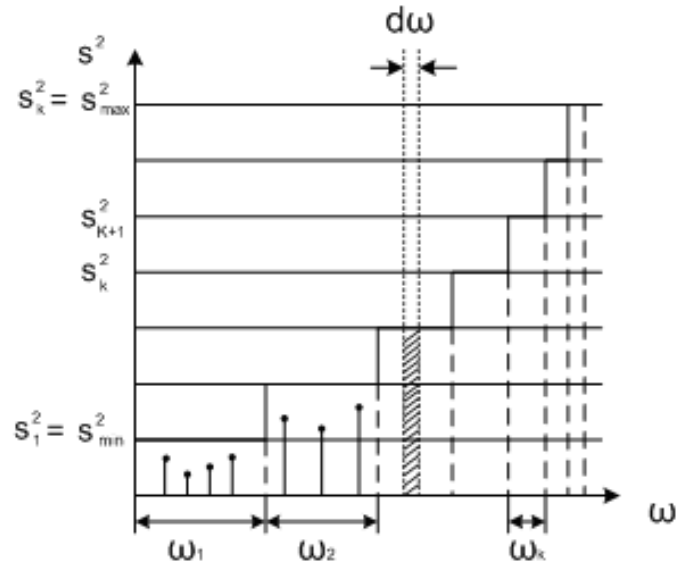


Рис. 3. Ранжування та квантування складових  $S^2$ , які належать різним сигналам:  $K$  – номер найвищого рівню градації спектральної щільності завади на вході рецептора.

У смузі  $\Delta\omega_k$  може бути декілька випромінювань зі смугою  $d(\Delta\omega)$ . Ширина  $k$ -ї парціальної смуги частот:

$$\Delta\omega_k = \rho_k d(\Delta\omega) \quad (6)$$

Енергія, що зосереджена у смузі  $\Delta\omega_k$ :

$$J = \frac{1}{\pi} S_k^2 \Delta\omega_k \quad (7)$$

Має місце співвідношення :

$$\frac{S_k^2}{S_{k-1}^2} = \frac{S_{k+1}^2}{S_k^2} = M > 1 \quad (8)$$

де  $M=1,2,\dots,10,\dots$  обирається дослідником якості ЕМО. При цьому кількість рівнів квантування  $S^2$  обчислюється як:

$$K = \frac{\lg \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2}}{\lg M} + 1 \quad (9)$$

З співвідношення (5) та (8) отримуємо:

$$\left(\frac{S_k^2}{S_{k-1}^2}\right)^b = \frac{\rho_{k-1}}{\rho_k} = N = const \quad (10)$$

або

$$M^b = N$$

тому

$$b = \frac{\lg N}{\lg M} . \quad (11)$$

Оскільки (7):

$$J_1 = \frac{1}{\pi} S_1^2 \rho_1 d(\Delta\omega) = \frac{1}{\pi} S_1^2 \Delta\omega_1$$

$$J_2 = \frac{1}{\pi} S_2^2 \rho_2 d(\Delta\omega) = \frac{1}{\pi} M S_1^2 \frac{\rho_1}{N} d(\Delta\omega) = J_1 \frac{M}{N} = J_1 \frac{M}{M^b} = J_1 M^{(1-b)} , \quad (12)$$

то

$$J_k = J_1 M^{(k-1)(1-b)} \quad (13)$$

тому загальна енергія завад  $J$  у точці спостереження визначається як:

$$J = \sum_{k=1}^K J_k = J_1 \sum_{k=1}^K M^{(k-1)(1-b)} \quad (14)$$

$K \ll n$ , де  $n = B+C$  – кількість джерел радіозавад, які формують ЕМО у точці спостереження ( $i=1, \bar{n}$ ). У цьому випадку в співвідношенні (14) можна утримати лише два-три члена ряду. Ці складові визначають якість ЕМО, що досліджується. З (14) випливає, що у першому наближенні, коли розглядаються енергії лише несучих частот, то висновки, що випливають з (14) доцільно поширити і на співвідношення (2). Але для більш коректного аналізу якості ЕМО необхідно враховувати частотну вибірковість вхідних ланцюгів радіоприймача ГНСС, оскільки несучі радіозавад практично неоднакові і по різному послаблюються у преселекторі приймача ГНСС.

Співвідношення (14) підтверджує інтуїтивні висновки про те, що домінуючою в формуванні ЕМО є енергія найбільш інтенсивних завад незважаючи на те, що їх кількість значно менша кількості більш слабих радіозавад, що потрапляють у смугу пропускання радіоприймача ГНСС.

### Висновки

На основі аналізу електромагнітної обстановки в зоні дії декількох незалежних РЕЗ отримані вирази за допомогою яких можна провести інженерний розрахунок рівня енергії перешкоди приймача ГНСС в точці його розташування. Недоліком цих формул є те, що не враховується об'ємне розташування випромінюючих рецепторів відносно один до одного. Частково усунути цей недолік можна зміною множника ослаблення хвилі при її поширенні.

Запропоновані формули можна застосувати на багатовимірному просторі випромінювань незалежних РЕЗ.

### Література

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / под ред. Т. К. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
2. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флюктуационных помех. М.: Сов. радио, 1972.
3. Швець В. А Підходи щодо дослідження електромагнітної сумісності глобальних навігаційних супутникових систем в зоні аеропорту [Текст] / В. А. Швець, О. В. Швець // Вісник інженерної академії України . – 2015. № 4. С.61 – 64.
4. Тихонов В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.
5. Иванов В. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / В. А. Иванов, Л. Я. Ильинский, М. И. Фузик. – К. : Техника, 1983. – 120 с.