

ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ДАЛЕКОМІРНОГО КАНАЛУ СИСТЕМ БЛИЖНЬОЇ НАВІГАЦІЇ

Свид І.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. радіотехнологій інформаційно-комунікаційних систем,
тел. (057) 702-14-44, E-mail: d_rics@nure.ua

The studies in this article allow to estimate the capacity of existing near-navigation radio systems and indicate the low efficiency of the latter in the presence of interrogation signal streams and intentional correlated and uncorrelated interference.

Радіосистеми ближньої навігації (РСБН) [1] знаходять застосування в системі контролю повітряного простору. Пропускна здатність (ПЗ) далекомірного радіомаяка (ДРМ) є основним чинником, що знижує експлуатаційні можливості таких систем. В [1] наведено вираз, на підставі якого можна орієнтовно визначити ПЗ каналу дальності. Однак при такому підході не враховується ряд чинників, що впливає на пропускну здатність. Оцінимо ПЗ каналу дальності РСБН.

ДРМ побудований за принципом відкритої одноканальної системи масового обслуговування з відмовами, що викликає складність його функціонування. Дійсно, при такій реалізації ДРМ на його вхід може надходити як потік сигналів запиту дальності (СЗД), утворених СЗД повітряних об'єктів, що знаходяться в зоні дії даного радіомаяка (РМ), так і потоками навмисних і ненавмисних корельованих і некорельорованих завад [2].

Досліджуємо вплив сумарного потоку СЗД, утвореного внутрісистемними потоками СЗД, потоками навмисних корельованих завад (НКЗ), а також потоками навмисних некорельованих завад (ННЗ), на ПЗ РМ.

При надходженні на вхід ДРМ сумарного потоку СЗД і навмисних некорельованих завад будуть спостерігатися наступні ситуації, що призводять до виключення ДРМ на передавання сигналів відповіді дальності (СВД):

- подавлення СЗД даного запитувача дальності (ЗД) через утворення з ННЗ випереджальних помилкових СЗД (помилкова тривога першого роду), що викликають випромінювання СВД;

- подавлення СЗД даного ЗД через випереджальні СЗД сусідніх ЗД;
- подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом «Опорний 36»;
- подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом «Опорний 35»;
- подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом «Запит індикації»;
- подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом «Ретрансляція»;
- виключення СЗД даного ЗД через паралізацію ЗД сигналом «Відповідь індикації»;
- високочастотне подавлення окремих імпульсів СЗД даного ЗД при збігу за часом імпульсів потоку СЗД і несприятливих фазових співвідношеннях;
- подавлення СЗД в результаті інерціальності схем вхідних формувачів дешифратора і обмеження завантаження РМ.

Зробимо визначення ймовірності цих подій в припущенні, що потоки СЗД і ННЗ діє на запитальні коди даного ЗД незалежно один від одного і що число джерел, які формують загальний потік сигналів запиту, достатній для характеристики потоку як пуасонівського.

Нехай на вхід ДРМ надходить ННЗ інтенсивністю λ_0 , потік СЗД, що викликає випромінювання відповідних кодів, інтенсивністю λ_1 . При цьому припустимо, що тривалість імпульсів потоку СЗД і ННЗ однакова і дорівнює тривалості імпульсів корисного сигналу τ_0 .

Спільна дія ННЗ і потік СЗД призводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів ННЗ і СЗД при несприятливих фазових співвідношеннях, в результаті чого зменшується інтенсивність потоку СЗД.

Імовірність того, що, хоча б один імпульс ННЗ співпадає за часом з імпульсом потоку СЗД і подавить його може бути визначена з наступного співвідношення:

$$P_n = \gamma[1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)],$$

де γ - ймовірність інтерференційного подавлення імпульсу сигналу при його збігу в часі з імпульсом завади. Потік СЗД, з урахуванням високочастотного подавлення, що викликає випромінювання СВД, може бути визначений як

$$\lambda_1^1 = \lambda_1(1 - P_n)^n,$$

Імовірність того, що хоча б один СЗД потрапить в випереджаючий інтервал і подавить СЗД даного ЗД за рахунок часу паралізації ДРМ t_1 при випромінюванні СВД, визначається відповідно:

от ННЗ:

$$P_1^1 = 1 - \exp(-\lambda_n t_1),$$

от СЗД:

$$P_1^2 = 1 - \exp(-\lambda_1^1 t_1),$$

де λ_n - середнє число помилкових СЗД, що утворилися з ННЗ і викликають випромінювання СВД.

Середнє число помилкових n -імпульсних кодів, що призводять до випромінювання СВД можна визначити, як [2]

$$\lambda_n = n \tau_0^n \lambda_0^{n-1} (1 - \tau_c / \tau_0),$$

де τ_c - задана величина селекції імпульсів по тривалості.

Сумарна ймовірність подавлення СЗД даного ЗД за рахунок часу паралізації РМ при випромінюванні СВД складає:

$$P_1 = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - P_i^i).$$

Імовірність подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом «Опорний 36» може бути визначена як

$$P_2 = 1 - \exp(-\lambda_2 t_2),$$

де λ_2 - інтенсивність потоку сигналів «Опорний 36», t_2 - час паралізації при випромінюванні цього сигналу.

Імовірність подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом «Опорний 35» може бути визначена як

$$P_3 = 1 - \exp(-\lambda_3 t_3),$$

де λ_3 - інтенсивність потоку сигналів «Опорний 35», t_3 - час паралізації при випромінюванні цього сигналу.

Імовірність подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом «Запит індикації» може бути визначена як

$$P_4 = 1 - \exp(-\lambda_4 t_4),$$

де λ_4 - інтенсивність потоку сигналів «Запит індикації», t_4 - час паралізації при випромінюванні цього сигналу.

Імовірність подавлення СЗД даного ЗД через паралізацію ДРМ сигналом

«Ретрансляція» може бути визначена як

$$P_5 = 1 - \exp(-\lambda_5 t_4),$$

де λ_5 - сумарна інтенсивність потоку сигналів «Ретрансляція» і навмисних корельованих завад по каналу індикації.

Імовірність виключення СЗД даного ЗД через паралізацію ЗД сигналом «Відповідь індикації» може бути визначена як

$$P_6 = 1 - \exp(-\lambda_6 t_5),$$

де λ_6 - інтенсивність потоку сигналів «Відповідь індикації», t_5 - час паралізації при випромінюванні цього сигналу.

Імовірність того, що хоча б один імпульс з потоку СЗД накладеться на імпульс запиту дальності даного ЗД і подавить його, становить $m_{10} = \gamma[1 - \exp(-\lambda_c \tau_0)]$, де сумарна інтенсивність потоків СЗД визначається як $\lambda_c = \lambda_1 + \lambda_2$. З урахуванням n імпульсів сигналу запиту ймовірність подавлення запитальний коду складе

$$P_7 = 1 - (1 - P_{10})^n.$$

Імовірність подавлення СЗД даного ЗД через появу випереджаючих помилкових СЗД, що утворюються в результаті взаємодії першого імпульсу СЗД з випереджаючими імпульсами потоку СЗД (ймовірність помилкової тривоги другого роду) і викликають випромінювання СВД, можна визначити з наступного співвідношення:

$$P_8 = (1 - P_{01})^n,$$

де $P_{01} = \exp(-\lambda_c \tau_0)$.

Імовірність подавлення СЗД внаслідок інерціальності вхідних формувачів РМ може бути визначена наступним чином: $P_9 = 1 - (1 - P_f)^n$, де m_f - ймовірність подавлення одиночного імпульсу коду через інерціальності формувача.

Імовірність того, що хоча б один імпульс завади потрапить в небезпечний випереджаючий інтервал і подавить імпульс корисного сигналу, дорівнює

$$m_f = 1 - \exp(-\lambda_c \tau_f).$$

Якщо середнє число запитальних кодів перевищує допустиму величину завантаження відповідача дальності λ_m , то ймовірність відповіді при роботі схеми обмеження завантаження РМ дорівнює $P_o = \lambda_m / \lambda_{отв}$.

Імовірність випромінювання відповіді на СЗД даного ЗД становитиме

$$\text{при } \lambda_{отв} < \lambda_m \quad P_o = \prod_{i=1}^9 (1 - P_i),$$

$$\text{при } \lambda_{отв} > \lambda_m \quad P_o = P_{co} \prod_{i=1}^9 (1 - P_i).$$

Розрахунки за наведеними виразами наведені на рис.1 (I - $\lambda_o = \lambda_p = 0$, II - $\lambda_o = 20000, \lambda_p = 2000$ и III - $\lambda_o = 40000, \lambda_p = 4000$). Як впливає з наведених залежностей, при збільшенні потоку СЗД і навмисних корельованих завад різко знижується ймовірність відповіді РМ, що вказує на низьку ефективність існуючих РСБН.

Для переходу вимірювача дальності на борту літального апарату в режим стеження необхідне виконання певного критерію виявлення відповідних сигналів, тобто на певне число запитальних сигналів дальності необхідно отримати певну кількість сигналів

відповіді дальності.

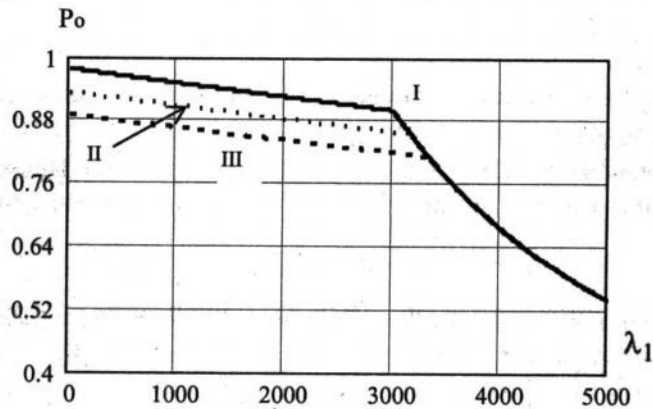


Рис. 1. Оцінка СЗД відповідача ДРМ

Ймовірність переходу вимірювача дальності в режим стеження можна визначити з наступного виразу

$$P_c = \sum_{i=k}^m C_m^i P_o^i (1 - P_o)^{m-i},$$

де m – кількість СЗД, k – критерій переходу в режим стеження. Розрахунки P_c представлені на рис. 2. Наведені розрахунки дозволяють оцінити ймовірність входу бортового вимірювача дальності в режим стеження.

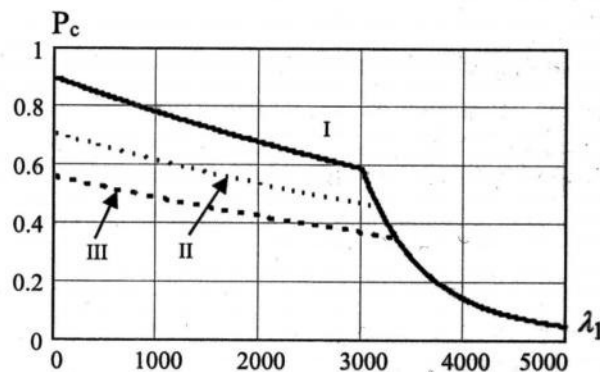


Рис. 2. Оцінка СЗД РСБН

Таким чином, наведене дослідження дозволяє оцінити пропускну здатність існуючих РСБН і вказує на низьку ефективність роботи останніх при наявності потоків СЗД і навмисних корельованих і некорельованих завад.

Література

1. Давыдов П.С. Радиолокационные системы летательных аппаратов / П.С. Давыдов, В.П. Жаворонков, Г.В. Кашеев – М.: Транспорт, 1977. – 345 с.
2. Обод І.І. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих – Харків: ХНУРЕ, 2014. – 310 с.
3. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.