

УДК 621.391

О.Г. Жук

Військовий інститут телекомунікації та інформатизації, Київ

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РАДІОЧАСТОТНИМ РЕСУРСОМ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД

У статті запропоновано методику адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, що заснована на виборі вагових коефіцієнтів, які враховують ступінь використання робочих частот в умовах активного радіоелектронного подавлення.

**Ключові слова:** робочі частоти, сигнально-кодова конструкція, швидкість передачі інформації, ймовірність бітової помилки, радіоелектронне подавлення.

### Вступ

Постійне удосконалення засобів радіоелектронної розвідки та радіоелектронного подавлення (РЕП) призвело за останні роки до збільшення ймовірності подавлення засобів радіозв'язку.

Аналіз тактико-технічних характеристик комплексів (РЕП) технічно розвинених країн [1 – 4] показує, що найбільш поширеними є навмисні шумові завади в частині смуги, полігармонічні та імітаційні.

При цьому стратегії постановки навмисних бувають динамічні або статичні [1 – 4].

Існуючий науково-методичний апарат управління радіочастотним ресурсом не достатньо повно враховує стратегії комплексів радіоелектронного подавлення [1 – 9].

Тому *метою статті* є розробка методики адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад з метою підвищення завадозахищеності їх функціонування.

### Постановка завдання

З метою формалізації процесу управління системою радіозв'язку в умовах впливу засобів радіоелектронного подавлення розглянемо взаємодію системи радіозв'язку, як сукупності радіоліній різного призначення, що організовані за допомогою засобів радіозв'язку та комплексу радіоелектронного подавлення угруповання РЕП у вигляді процесу протиборства двох антагоністичних систем з протилежними цілями: системи управління радіозв'язком та системи управління комплексу радіоелектронного подавлення (КРП).

При цьому процес управління системою радіозв'язку в умовах складної радіоелектронної обстановки представимо послідовністю трьох підпроцесів [5]:

- збору інформації про стан об'єкту управління;
- прийняття рішення на управління на основі наявної інформації з урахуванням обраного критерію оптимізації;
- доведення прийнятого рішення до об'єкту управління.

Будемо вважати, що в процесі прийняття рішення системам управління ворогуючих сторін відомо реальний стан свого об'єкту управління, об'єкту управління противника, а також апріорні дані, на основі яких формалізуються стратегії управління ворогуючих сторін.

На рис. 1 представлена узагальнена модель процесу формування рішення на управління радіолініями та КРП при їх протидії.

На основі інформації, про реальний стан сторін протиборства  $Z_S(Z_R)$  та апріорної інформації про радіолінію та КРП  $I_S(I_R)$  шляхом операції оцінювання системою управління радіолініями, системою управління КРП здійснюється оцінка теперішнього стану радіоліній  $\hat{Z}_R^{(S)}$ ,  $\hat{Z}_R^{(R)}$  та комплексу РЕП  $\hat{Z}_R^{(R)}$ ,  $\hat{Z}_R^{(S)}$ .

Отримані оцінки  $\hat{Z}_R^{(S)}$ ,  $\hat{Z}_R^{(R)}$ ,  $\hat{Z}_R^{(R)}$ ,  $\hat{Z}_R^{(S)}$  спільно з апріорною інформацією щодо множини стратегій сторін протиборства використовуються для формування стратегій управління  $U_S^{(S)}$  та  $U_R^{(R)}$ , які отримуються на основі рішення оптимізаційних задач, що забезпечують досягнення екстремуму обраного функціоналу  $\Phi_U^{(S)}$ .

Враховуючи те, що у сучасних засобах радіозв'язку використовуються дискретні сигнали, то в якості критерію ефективності функціонування засобів радіозв'язку оберемо ймовірність бітової помилки  $P_{\text{пом}}$ .

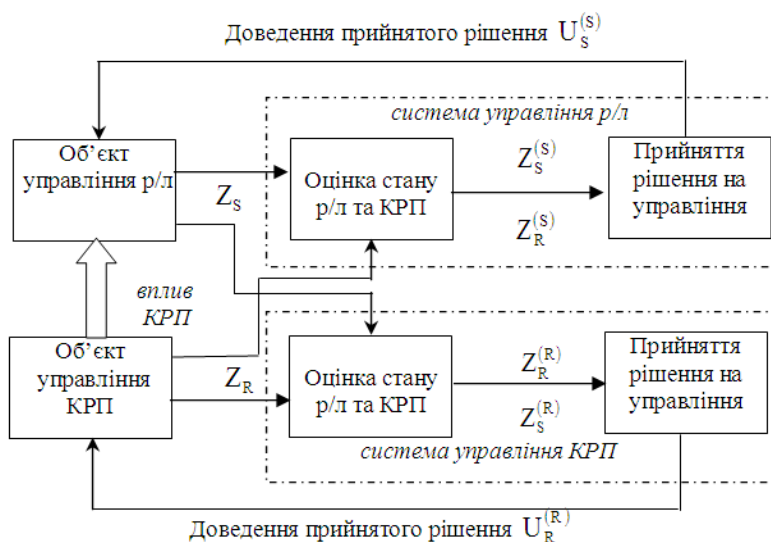


Рис. 1. Узагальнена модель процесу формування рішення на управління радіолініями та КРП при їх протидії

Враховуючі протилежність функціонування радіоліній та КРП, в якості критеріального функціонала при управлінні радіолініями будемо використовувати

$$\Phi_U^{(S)} = \Phi_U^{(R)} = \Phi = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_{\text{рп}}$$

Фізично це означає, що якщо формуємі стратегії управління радіоліній  $U_S^{(S)}$  направлені на максимізацію функціонала  $\Phi$ , то керуючий вплив КРП направлений на його мінімізацію

$$U_S^{(S)}: \Phi_U^{(S)} \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$U_R^{(R)}: \Phi_U^{(R)} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Стратегії управління  $U_S^{(S)}$  залежать від виду навмисних завад, тактико-технічних характеристик комплексу РЕП, виду каналів радіозв'язку, РЕП та визначаються вектором коефіцієнта (вагою) використання частот  $A = \|\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_m\|$ . Таким чином, для реалізації процесу управління радіочастотним ресурсом визначимо вектор коефіцієнтів (вагу) використання частот  $A^*$  при якому функціонал

$$\Phi = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_{\text{рп}}$$

приймає екстремальне значення.

Методика адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, алгоритм реалізації якої наведений на рис. 2, складається з таких етапів.

1. Введення початкових даних (дія 1 на схемі алгоритму). Вводяться параметри засобів радіозв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ , а також значення мінімально необхідної швидкості передачі  $v_{i \text{ доп}}$  та ймовірності бітової помилки  $P_6$ .

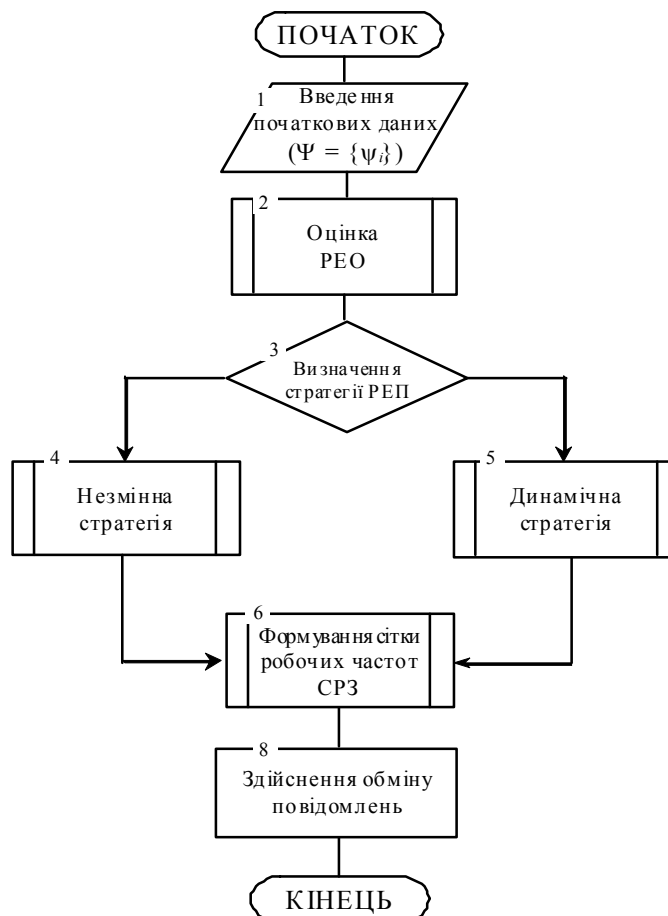


Рис. 2. Алгоритм реалізації методики адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад

### 2. Оцінка радіоелектронної обстановки (РЕО).

За допомогою методів оцінки, наведених в роботах [1-4], оцінюється вид навмисної завади, зони суцільного радіоелектронного подавлення та параметри комплексів постановки завод.

### 3. Визначення стратегії комплексів РЕП.

На даному етапі визначається стратегія комплексів радіоелектронного подавлення. Стратегії комплексів радіоелектронного подавлення, що використовуються у розробленій методиці є динамічна та незмінна на час передачі повідомлення у системі радіозв'язку (СРЗ).

Розглянемо детальніше принципи управління радіочастотним ресурсом у кожній зі стратегій управління радіочастотним ресурсом військових систем радіозв'язку.

При цьому розглянемо функціонування СРЗ в умовах впливу різноманітних завод: випадкові завади, одночасного впливу випадкових та шумових завод, полігармонічних, імітаційних навмисних завод.

Особливістю задачі адаптивного управління радіочастотним ресурсом умовах радіоподавлення є необхідність врахування впливу КРП. При цьому цілі СРЗ при передачі інформації та КРП є протилежними. Це викликає необхідність застосування для управління процесом адаптивного управління радіочастотним ресурсом СРЗ в умовах радіоподавлення підходу, що розглядається з позиції взаємодії один з одним двох антагоністичних систем (СРЗ та КРП), які мають протилежні цілі.

Нехай випромінювання здійснюється по  $m$  робочим частотам. При цьому  $U_i$  стратегія СРЗ зводиться у використанні для передачі інформації  $i$ -ї частоти,  $i = 1, 2, \dots, m$ . Сукупність можливих стратегій управління СРЗ представляє собою множину  $\{U_i\}$  потужністю  $|\{U_i\}| = m$ , а стратегія КРП  $V_j$ , що зводиться до постановки завади на  $j$ -тій частотах, а множина  $\{V_j\}$  потужністю  $|\{V_j\}| = m$ . Будемо вважати, що при впливі на СРЗ КРП використовує шумову, гармонічну або імітаційну навмисну заваду на частотах роботи СРЗ.

При цьому швидкість програмної перестройки навмисної завади та СРЗ, а також випадковий час випромінювання навмисної завади і сигналів в радіолінії співпадають.

СРЗ та комплексу РЕП відомі множина стратегій управління протилежної сторони, проте відсутня інформація про використовуємі на даний момент часу стратегії управління.

Крім цього задані:

- вид навмисної завади;
- тактико-технічні характеристики комплексу РЕП та апаратури радіозв'язку;

- координати кінцевих точок пунктів прийому та постановки навмисної завади;

- час проведення сеансів радіозв'язку.

Визначимо стратегію адаптивного управління радіочастотним ресурсом для СРЗ в умовах радіоподавлення у вигляді вектора коефіцієнтів використання частот

$$A = \|\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_m\|,$$

де значення  $\alpha_i$ , що характеризує ймовірність використання радіолініями стратегії  $U_i, i = 1, 2, \dots, m$ , а стратегію впливу КРП, що полягає в постановці навмисних завод у вигляді сигналу КРП, сутність якої полягає у постановці навмисних завод у вигляді імітаційної завади, з вектором  $B = \|\beta_1, \beta_2 \dots \beta_m\|$ , де значення  $\beta_j$  характеризує ймовірність використання КРП стратегії  $V_j, j = 1, 2, \dots, m$ .

Значення ймовірностей забезпечення радіозв'язку для СРЗ на  $m$  робочих частотах в умовах впливу навмисних випадкових завод представимо матрицею

$$P_{\text{срз}} = \left\| P_{\text{срз } 1} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \dots P_{\text{срз } m} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \right\|,$$

в умовах навмисних завод – матрицею

$$P_{\text{крп}} = \left\| P_{\text{крп } 1} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \dots P_{\text{крп } m} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \right\|.$$

Розрахунок ймовірності радіозв'язку на робочих частотах в умовах впливу навмисних завод наведений в [10, 11].

В якості функціоналу при формуванні оптимальних стратегій управління процесом вибору робочих частот оберемо ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої при  $i$ -тій стратегії управління радіолініями  $U_i$  та  $j$ -ї стратегії впливу КРП  $V_j$

$$\Phi(U_i, V_j) = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j). \quad (3)$$

При формуванні оптимальних стратегій управління процесом вибору робочих частот будемо вважати, що стратегія управління  $U_i \in \{U_i\}$  направлена на максимізацію функціоналу  $\Phi(U_i, V_j)$ , а стратегія  $V_j \in \{V_j\}$  на його мінімізацію.

В такій постановці завдання управління процесом вибору робочих частот є задачею теорії ігор [13]. При цьому оптимальною стратегією управління процесом вибору робочих частот, що формується в умовах невизначеності яка використовується в зазначений момент стратегії впливу КРП є стратегія:

$$U_{i \text{ опт}} = \text{Arg} \max_{U_i} \min_{V_j} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j). \quad (4)$$

Ймовірність  $P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i; V_j)$  представимо таким чином:

$$P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i; V_j) = P_{ij} = \begin{cases} P_{\text{сп } i} = \text{при } i \neq j; \\ P_{\text{пп } i} = \text{при } i = j. \end{cases} \quad (5)$$

Тоді ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої в радіолінії при умовах активного впливу КРП визначимо матрицею

$$P_{ij} = \|P_{ij}\|_{m \times m}. \quad (6)$$

Для формування оптимальної стратегії управління процесом вибору робочих частот для засобів радіозв'язку при функціонуванні в конфліктній ситуації з КРП представимо процес взаємодії засобів радіозв'язку та КРП антагоністичною матричною грою

$$\Gamma = \langle \{U_i\}, \{V_j\}, (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) \rangle. \quad (7)$$

Згідно основної теореми теорії ігор [12] кінцева гра має хоча б одне рішення, можливо в області змішаних стратегій. Оптимальна стратегія управління процесом вибору робочих частот має таку властивість, що при будь-якій стратегії КРП противника забезпечує гарантований виграш не менше, ніж ціна гри  $v$ . Таким чином

$$\begin{cases} \alpha_{1 \text{ опт}} P_{1 \text{ крп}} + \alpha_{2 \text{ опт}} P_{2 \text{ срз}} + \dots + \alpha_{m \text{ опт}} P_{m \text{ срз}} \geq v; \\ \alpha_{1 \text{ опт}} P_{1 \text{ срз}} + \alpha_{2 \text{ опт}} P_{2 \text{ крп}} + \dots + \alpha_{m \text{ опт}} P_{m \text{ срз}} \geq v; \\ \dots \\ \alpha_{1 \text{ опт}} P_{1 \text{ срз}} + \alpha_{2 \text{ опт}} P_{2 \text{ срз}} + \dots + \alpha_{m \text{ опт}} P_{m \text{ крп}} \geq v. \end{cases} \quad (8)$$

Розділимо нерівність (8) на позитивну величину  $v$  та позначимо:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \alpha_{1 \text{ опт}}/v; \\ \xi_2 &= \alpha_{2 \text{ опт}}/v; \\ \xi_m &= \alpha_{m \text{ опт}}/v. \end{aligned}$$

Тоді умови запишуться у вигляді:

$$\begin{cases} \xi_1 P_{1 \text{ крп}} + \xi_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \xi_m P_{m \text{ срз}} \geq 1; \\ \xi_1 P_{1 \text{ срз}} + \xi_2 P_{2 \text{ крп}} + \dots + \xi_m P_{m \text{ срз}} \geq 1; \\ \dots \\ \xi_1 P_{1 \text{ срз}} + \xi_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \xi_m P_{m \text{ крп}} \geq 1. \end{cases} \quad (9)$$

Крім цього  $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m = 1/v$ .

Задачу управління процесом вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку є отримання максимально можливого гарантованого виграшу ( $v$ ). Таким чином, рішення задачі теорії ігор призводить до рішення задачі лінійного програмування: мінімізація функціонала при обмеженнях наведених в (9).

$$F(\xi) = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m \rightarrow \min_{\xi}. \quad (10)$$

На підставі наведених вище виразів, вирішимо задачу теорії ігор для супротивника: максимізуючи функціонал:

$$F(\gamma) = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_m \rightarrow \max \quad (11)$$

при обмеженнях:

$$\begin{cases} \gamma_1 P_{1 \text{ крп}} + \gamma_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \gamma_m P_{1 \text{ срз}} \leq 1; \\ \gamma_1 P_{1 \text{ срз}} + \gamma_2 P_{2 \text{ крп}} + \dots + \gamma_m P_{2 \text{ срз}} \leq 1; \\ \dots \\ \gamma_1 P_{1 \text{ срз}} + \gamma_2 P_{2 \text{ срз}} + \dots + \gamma_m P_{m \text{ крп}} \leq 1, \end{cases} \quad (12)$$

де  $\gamma_1 = \beta_{1 \text{ опт}}/v$ ,  $\gamma_2 = \beta_{2 \text{ опт}}/v$ ,  $\gamma_m = \beta_{m \text{ опт}}/v$ .

Рішення гри  $\langle \Gamma \rangle$  визначає гарантоване значення ймовірності радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для засобів радіозв'язку:

$$P^*(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) = \text{Val} \Gamma,$$

а також вектор коефіцієнтів

$$A^* = \|a_{1 \text{ опт}}, a_{2 \text{ опт}}, \dots, a_{m \text{ опт}}\|$$

та вектор коефіцієнтів

$$B^* = \|\beta_{1 \text{ опт}}, \beta_{2 \text{ опт}}, \dots, \beta_{m \text{ опт}}\|,$$

що задає оптимальну стратегію управління процесом вибору робочої частоти та навмисної завади.

Якщо стратегія управління КРП противника не оптимальна, то значення ймовірності радіозв'язку, для засобів радіозв'язку перевищує гарантоване значення  $\text{Val} \Gamma$  при оптимальній стратегії управління процесом управління радіочастотним ресурсом. При довільній стратегії управління процесом управління радіочастотним ресурсом та КРП противника ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для СРЗ визначимо виразом:

$$P = (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \cdot \beta_j \cdot P_{ij}. \quad (13)$$

Значення коефіцієнту (ваги) використання частот визначаємо часом реакції КРП противника. При малих значеннях часу реакції на робочих частотах КРП противника може використовувати більш ефективну заваду.

Тому, при прийнятті рішення на управління процесом управління радіочастотним ресурсом СРЗ методом теорії ігор необхідно обмежити отримані значення коефіцієнтів (ваг) використання частот  $a_i \leq a_{\text{max}}$  при виконанні умов нормування

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1.$$

На першому блоці алгоритму (рис. 3) здійснюється введення початкових даних.

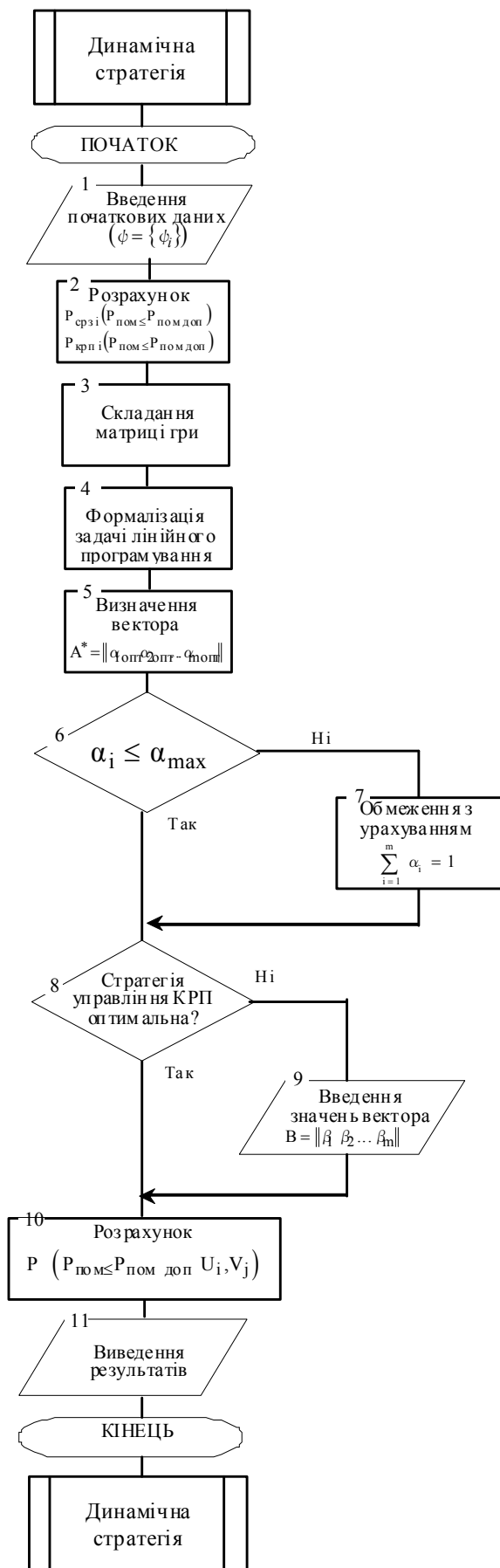


Рис. 3. Алгоритм прийняття рішення на управління радіочастотним ресурсом СРЗ при динамічній стратегії постановки завад

На другому блоці алгоритму здійснюється розрахунок ймовірності радіозв'язку на робочих частотах в умовах впливу випадкових та навмисних завад.

Формалізація матричної гри здійснюється у третьому блоці.

Рішення гри визначають блоки 4 та 5. При цьому для рішення використовується метод лінійного програмування.

В блоках 6-7 здійснюється обмеження значення коефіцієнтів використання частот.

В блоці 10 здійснюється розрахунок ймовірності радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для засобів радіозв'язку з урахуванням стратегії управління постановника завад та засобів радіозв'язку.

В блоці 11 виводяться значення сформованого вектору, що визначає оптимальну стратегію управління для СРЗ та значення ймовірності радіозв'язку не гірше заданої для засобу радіозв'язку з урахуванням стратегії постановника завад.

Припустимо, що програмна перестройка здійснюється по  $m=10$  робочим частотам на трасі радіозв'язку. КРП противника здійснює постановку шумової загороджувальної завади в динамічному режимі на всіх частотах.

Визначимо оптимальні стратегії управління для засобів радіозв'язку та комплексу РЕП, а також ймовірність забезпечення радіозв'язку при оптимальних стратегіях управління для засобів радіозв'язку та комплексу РЕП.

Ймовірність забезпечення радіозв'язку на робочих частотах що розраховані за допомогою [10] складають:

в умовах впливу випадкових завад:  
0.82 0.94 0.82 0.97 0.94 0.78 0.96 0.87 0.92 0.98 на кожній частоті відповідно.

в умовах додаткового впливу навмисної завади:  
0.7 0.85 0.65 0.9 0.84 0.5 0.82 0.67 0.78 0.82 на кожній частоті відповідно.

Складемо матрицю гри.

Рішення гри буде

$$Val \Gamma = P^* (P_{пом} \leq P_{пом доп} / U_i, V_j) = 0.936$$

при

$$A^* = ||0 \ 0.228 \ 0 \ 0.293 \ 0.205 \ 0 \ 0.146 \ 0 \ 0 \ 0.128 ||;$$

$B^* =$

$$||0 \ 0.041 \ 0 \ 0.481 \ 0.037 \ 0 \ 0.169 \ 0 \ 0 \ 0.273 ||.$$

При рівномірному законі програмної перебудови навмисної завади та оптимальному управлінні радіочастотним ресурсом значення ймовірності радіозв'язку для засобу радіозв'язку складає

$$P^* (P_{пом} \leq P_{пом доп} / U_i, V_j) = 0.87.$$

Таким чином, коефіцієнти (вага) використання частот засобами радіозв'язку та комплексом РЕП при оптимальних стратегіях управління комплексу РЕП та засобів радіозв'язку в загальному випадку не співпадають.

Аналіз тактико-технічних характеристик комплексів РЕБ розвинутих країн [1-6] показує, що найбільш поширеними є навмисні шумові завади в частині смуги, полігармонічні та імітаційні завади. При цьому стратегії постановки навмисних завад на протязі одиниці часу не змінюються.

Під час проведення розрахунку стратегія постановки навмисної завади не змінюється. Крім того, будемо вважати відомими номера робочих частот, на які впливає навмисна завада.

Визначимо стратегію управління радіочастотним ресурсом, при якій забезпечується максимальна достовірність передачі інформації. Для цього сформуємо значення вектора коефіцієнтів (ваги) використання частот

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|,$$

який визначає оптимальну стратегію адаптивного управління радіочастотним ресурсом. По зазначеним вихідним даним визначимо значення ймовірності радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої на кожній робочій частоті

$$P_i^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_i, i = 1, 2, \dots, m$$

з урахування впливу навмисних завад. Виходячи з вимог до розвідзахищеності функціонування системи радіозв'язку введемо обмеження на значення коефіцієнту (ваги) використання частот:

$$\begin{aligned} \alpha_i &\leq \alpha_{\text{max}} \\ \alpha_i &\geq \alpha_{\text{min}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Крім цього виконується інша умова нормування

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1. \quad (14)$$

В цілях визначення оптимальної стратегії адаптивного управління радіочастотним ресурсом з визначимо вектор коефіцієнтів використання частот

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|,$$

який визначає максимальне значення функціоналу  $\Phi$  при виконанні наступних обмежень:

$$\begin{aligned} A^* &= \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\| : \Phi = \\ &= P_{\text{крп}}^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \rightarrow \max_{\alpha}. \end{aligned} \quad (15)$$

В зазначеній постановці задача формування оптимальних значень вектора

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|$$

є задачею лінійного програмування. Для її вирішення використаємо симплекс-метод. В той же час при

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_m = \alpha_{\text{рівн}} = 1/m$$

досягається більше значення розвідзахищеності. В цьому випадку стратегія управління радіочастотним ресурсом повинні забезпечувати значення

$$|\alpha_i - \alpha_{\text{рівн}}|$$

на кожній частоті роботи засобів радіозв'язку при виконанні вимог з достовірності передачі інформації.

В цілях визначення стратегії адаптивного управління радіочастотним ресурсом в цьому випадку сформуємо вектор

$$A^* = \|\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}\|,$$

що забезпечує мінімальне значення функціоналу:

$$\begin{aligned} \Phi &= |\alpha_1 - \alpha_{\text{рівн}}| + \\ &+ |\alpha_1 - \alpha_{\text{рівн}}| + \dots + |\alpha_m - \alpha_{\text{рівн}}| \rightarrow \min_{\alpha} \end{aligned} \quad (16)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} P_{\text{крп}} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) &= \alpha_1 \cdot P_1^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) + \\ &+ \alpha_2 \cdot P_2^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) + \dots + \alpha_m \times \\ &\times P_m^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \geq P_{\text{крп}} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}). \end{aligned} \quad (19)$$

$$\alpha_{\text{min}} \leq \alpha_i \leq \alpha_{\text{max}}, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1.$$

В такій постановці задача мінімізації функціонала (16) при обмеженнях (17) є задачею лінійного програмування.

Для рішення задачі сформуємо вектор коефіцієнтів (ваги) використання частот

$$A^* = |\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}|,$$

при якому функціонал

$$\Phi = P_{\text{крп}} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})$$

приймає максимальне значення:

$$\begin{aligned} A^* &= |\alpha_{1 \text{ опт}}, \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}| : \Phi = \\ &= P_{\text{крп}}^* (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}) \rightarrow \max_{\alpha} \end{aligned} \quad (20)$$

при обмеженнях:

$$\begin{aligned} |\alpha_1 - \alpha_{\text{рівн}}| &\leq \chi; \quad |\alpha_2 - \alpha_{\text{рівн}}| \leq \chi; \quad |\alpha_m - \alpha_{\text{рівн}}| \leq \chi; \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i &= 1; \quad \chi = |\Delta\alpha|_{\text{max}}. \end{aligned}$$

На рис. 4 наведений алгоритм управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад з незмінною стратегією постановки завад.

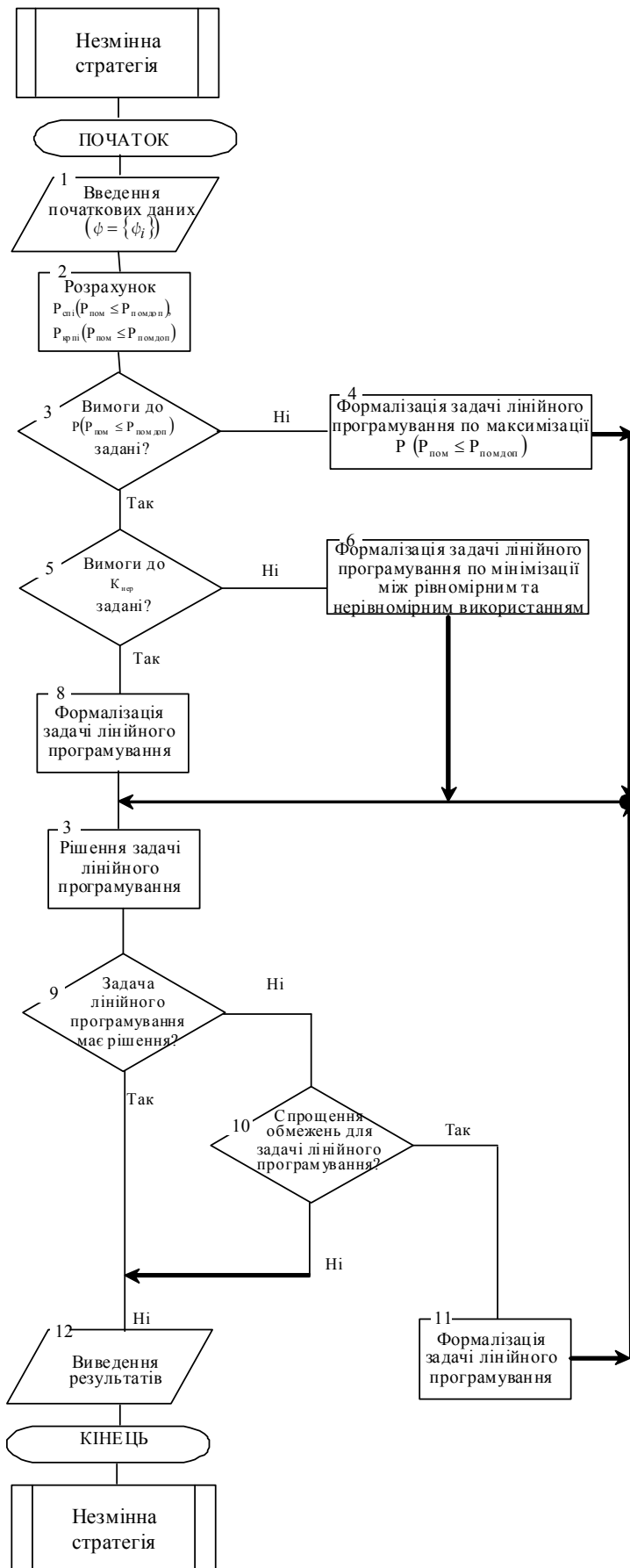


Рис. 4 Алгоритм управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад з незмінною стратегією постановки завад

В першому блоці алгоритму здійснюється введення початкових даних.

У другому блоці алгоритму здійснюється розрахунок ймовірності радіозв'язку на робочих частотах в умовах впливу навмисних та природних завад.

В блоках 3-7 в залежності від вимог, що висувуються до управління радіочастотним ресурсом СРЗ, виконується задача формалізації задачі лінійного програмування.

В блоці 8 алгоритму виконується рішення задачі лінійного програмування. Якщо задача лінійного програмування не має рішення, то при формалізації задачі задані невиконуємі вимоги.

В блоках 9-11 використовуються спрощення обмежень.

В блоці 11 виводяться значення сформованого вектору

$$A^* = |\alpha_{1 \text{ опт}} \alpha_{2 \text{ опт}} \dots \alpha_{m \text{ опт}}|,$$

що визначає оптимальну стратегію управління радіочастотним ресурсом системи військового радіозв'язку та значення з урахуванням стратегії впливу навмисних завад.

#### 4. Формування сітки робочих частот засобів радіозв'язку.

Провівши аналіз та розрахувавши стратегії комплексів радіоелектронного подавлення, визначивши райони суцільного радіоелектронного подавлення, визначивши тип та потужність навмисної завади формуються сітки робочих частот для засобів військового радіозв'язку, які входять до системи радіозв'язку, для передачі повідомлень.

### Висновки

1. В роботі запропоновано методику адаптивного управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, що призначена для підвищення завадозахищеності систем військового радіозв'язку та електромагнітної сумісності засобів військового радіозв'язку.

Новизна розробленого методики від відомих полягає у тому, що розроблена методика реалізує управління радіочастотним ресурсом з урахуванням стратегії комплексів радіоелектронного подавлення, виду та тривалості

нависних завад обраного критерію оптимізації а також вибору вагових коефіцієнтів, що враховують ступінь подавлення частот.

2. Використання методів теорії ігор дозволяє сформуванню оптимального управління радіочастотним ресурсом системи військового радіозв'язку при різних стратегіях постановки завад комплексами радіоелектронного подавлення.

Використання розробленої методики дозволяє підвищити завадозахищеність системи військового радіозв'язку в умовах активного радіоелектронного подавлення на 15-25 % у порівнянні з існуючим науково-методичним апаратом.

**Напрямок подальших досліджень** є розробка методологічних основ адаптивного управління системами військового радіозв'язку в умовах активного радіоелектронного подавлення.

## Список літератури

1. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / [Агафонов А.А., Артюх С.Н., Афанасьев В.И. и др.]; под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.
2. Кондратьев А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 37–41.
3. Черниш О.М. Основи формування нової ідеології ведення радіоелектронної боротьби у війнах і збройних конфліктах майбутнього / О.М. Черниш, С.О. Тищук, С.М. Шолохов // Наука і оборона. – 2006. – № 4. – С. 48–51.
4. Стрелецкий А. Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны „Вулфпак” / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10, – С. 27–28.
5. Срагович В.Г. Теория адаптивных систем / В.Г. Срагович. - М.: Наука, 1976. –320с.

6. Минович А.И. Методология оперативного управления мобильными радиосетями / А.И. Минович, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53–58.

7. Шишацький А.В. Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, Р.М. Животовський // Науково-технічний журнал “Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України”. – Харків: ХУПС, 2016. – № 2(23). – С. 135-137.

8. Шишацький А.В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу нависних завад / А.В. Шишацький, В.В. Ольшанський, Р.М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2. – С. 62-66.

9. Шишацький А.В. Методика вибору резервних робочих частот в системах радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А.В. Шишацький, О.В. Кувшинов // Дванадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імен Івана Кожедуба “Новітні технології - для захисту повітряного простору”, тези доповідей, 13-14 квітня 2016 року. -Х.:ХУПС ім. І. Кожедуба, 2016. – С. 214.

10. Прохоров В.К. Расчет показателей эффективности радиосвязи / В.К. Прохоров, А.Н. Шаров. – Л.: ВАС, 1982. – 132 с.

11. Коржик В.И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений. Справочник / В.И. Коржик, Л.М. Финк, К.Н. Щелкунов. – М.: Радио и связь, 1981. – 232 с.

12. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и теория игр / Е.А. Берзин. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.

13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель М: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1962. – 564 с.

Надійшла до редколегії 2.09.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕННЯ РАДИОЧАСТОТНИМ РЕСУРСОМ СИСТЕМ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

А.Г. Жук

В статье предложено методику адаптивного управления радиочастотным ресурсом систем военной радиосвязи в условиях воздействия преднамеренных помех, которая основана на выборе весовых коэффициентов, которые учитывают степень использования рабочих частот в условиях активного радиоэлектронного подавления.

**Ключевые слова:** рабочие частоты, сигнально-кодовая конструкция, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление.

## METHOD OF ADAPTIVE CONTROL OF THE RADIO FREQUENCY RESOURCE SYSTEM OF MILITARY RADIO LINK IN CONDITIONS THE IMPACT OF INTENTIONAL INTERFERENCE

A.G. Zhuk

In article offered method of adaptive control of the radio frequency resource system of military radio link in conditions the impact of intentional interference, which based on the selection of weighting coefficients taking into account the extent of use of operating frequencies in conditions of active jamming.

**Keywords:** operating frequencies, signal-code construction, speed of information transmission, probability of bit error, radio electronic suppression.