

УДК 623.418.2

Г.В. Мегельбей, С.В. Кадубенко, В.В. Мегельбей

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## РОЗПОДІЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РЕСУРСУ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ РЛС ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ НАВЕДЕННІ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ НА ЦІЛІ

*Розглядається метод розподілу енергетичного ресурсу багатофункціональної РЛС зенітного ракетного комплексу при наведенні зенітних керованих ракет на цілі та проводиться оцінка його ефективності.*

**Ключові слова:** енергетичний ресурс, зенітний ракетний комплекс, багатофункціональна РЛС, режим наведення зенітних керованих ракет.

### Вступ

**Загальна постановка проблеми й аналіз літератури.** Швидке вдосконалювання засобів повітряно-космічного нападу й способів подолання системи протиповітряної оборони [1] свідчать про те, що у теперішній час безперервно підвищуються вимоги до об'єму й якості радіолокаційної інформації, яку забезпечують радіолокаційні засоби протиповітряної та протиракетної оборони (ППО, ПРО).

У сучасній військово-економічній ситуації підвищення боєздатності систем ППО і ПРО можливо досягнути не збільшенням кількості, а удосконаленням її складових [1] (основними з яких є зенітні ракетні комплекси (ЗРК)). Основним напрямком робіт для цього є створення математичного забезпечення багатофункціональних РЛС (БФ РЛС), які входять до складу ЗРК, на основі нових методів і алгоритмів керування функціонуванням таких РЛС у різних режимах роботи, в тому числі і методів оптимального керування їх енергетичним ресурсом.

Під енергетичним ресурсом БФ РЛС розуміється сумарна кількість часових дискрет, що витрачається на виконання усіх радіолокаційних функцій у циклі її роботи. У відповідності до цього, кількість часових дискрет, яка виділяється на реалізацію конкретної радіолокаційної функції, пропорційна кількості енергії, яку витрачає РЛС на реалізацію цієї функції.

Існуючі методи керування енергетичним ресурсом БФ РЛС [2] не дозволяють у повній мірі використовувати можливості сучасних радіолокаційних станцій ЗРК, в тому числі і у режимі наведення зенітних керованих ракет (ЗКР). Вони, як правило, передбачають використання рівномірних параметрів цього режиму, тобто виділення однакового енергетичного ресурсу на проведення вимірів координат і передачу команд керування декількома ракетами. До того ж послідовність проведення цих операцій у часі фіксована, що не завжди дозволяє вирішувати з належною ефективністю завдання, поставлені перед РЛС.

Таким чином, незмінний порядок функціонування РЛС в реальних умовах бойової роботи приводить до зниження її потенційної пропускної спро-

можності, що в свою чергу може призвести до пропуску цілей без обстрілу зенітним ракетним комплексом, і як наслідок, невиконанню поставленого бойового завдання ЗРК.

Наведене протиріччя пропонується вирішити за рахунок розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС ЗРК у режимі наведення зенітних керованих ракет на цілі для збільшення її пропускної спроможності.

**Метою статті** є викласти розроблений метод розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС ЗРК при наведенні зенітних керованих ракет на цілі та результати оцінки його ефективності.

### Викладення матеріалів досліджень

У загальному вигляді задача керування енергетичним ресурсом БФ РЛС із урахуванням обмежень і допущень [2 – 4] визначена як пошук оптимального керування ресурсом РЛС у режимі наведення з урахуванням особливостей етапів польоту ракет.

Робота БФ РЛС у часі організується таким чином, що цикл роботи станції тривалістю  $T_{\text{ц}}$  поділяється на  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, K_p$ ) дискретних відрізків часу (сеансів зв'язку) на протязі яких відбувається звернення до ракет, кількість та тривалість яких визначається тактичними характеристиками ЗРК. Складання розкладу роботи БФ РЛС проводиться один раз на деяку кількість сеансів зв'язку станції з ракетами. Їх сумарна кількість пропорційна енергетичному ресурсу, який витрачає БФ РЛС у циклі роботи.

Для врахування особливостей польоту ракет на різних етапах режиму наведення в залежності від потрібної точності, цикл роботи станції  $T_{\text{ц}}$  поділяється на два інтервали, що відповідають етапу виведення ракет на кінематичні траєкторії  $[k_0, K_1]$  та етапу наведення ракет  $[k_{i+1}, K_p]$ .

При постановці задачі оптимального керування енергетичним ресурсом станції у роботах [3,4] обґрунтовано вибір керованих параметрів, математичних моделей, які описують процес керування, критерій ефективності керування. При цьому визначено, що у загальному випадку процес наведення ЗКР описується моделями руху ЗКР та спостережень за параметрами руху ЗКР [3, 4]:

$$\vartheta_{ik+1} = C_{ik} u_i(k) + \Phi_{ik} \vartheta_{ik} + \Gamma_{ik} g_{imk};$$

$$i = \overline{1, N}; \quad k = \overline{k_0, K_p};$$

$$Y_{ik+1} = \phi_i(k) P_{ik} \vartheta_{ik} + \Delta Y_{ik},$$

де  $\vartheta_{ik}$  ( $\vartheta_{ik+1}$ ) – вектор оцінюємих параметрів траєкторії  $i$ -ї ЗКР на  $k$ ,  $(k+1)$ -му кроці;  $C_{ik}$  – матриця, яка визначає зв'язок між параметрами руху  $i$ -ї ЗКР та керуванням, що діє на неї;  $\Phi_{ik}$  – матриця екстраполяції параметрів траєкторії  $i$ -ї ракети, що наводиться;  $i = \overline{1, N}$  – кількість ракет, що наводяться у циклі роботи БФ РЛС ЗРК;  $\Gamma_{ik}$  – матриця, яка визначає зв'язок між системами координат ЗРК  $i$ -ї ракети;  $g_{imk}$  – вектор збурювання параметрів траєкторії який обумовлений маневром ракети,  $Y_{ik+1}$  – вектор вимірюємих координат  $i$ -ї ЗКР на  $k$ -му кроці,  $\Delta Y_{ik}$  – вектор помилок вимірювання координат  $i$ -ї ракети;  $u_i(k)$  – вектор керування ракетою, який необхідний для компенсації відхилення поточних значень параметрів  $i$ -ї ЗКР від потрібного значення та який визначається за обраним методом наведення та обмежується маневровими можливостями ракети, для якого  $u \in U$ , де  $U$  – замкнена множина припустимих значень керування ЗКР; елементи вектора  $u_i(k)$  можна представити як сукупність  $\beta_i k, \Lambda_i k$ , де  $\beta_i(k)$  – послідовність моментів проведення керування, яка визначає наявність чи відсутність у даний момент часу  $k$  керування  $i$ -ю ракетою, а  $\Lambda_i k$  визначає значення (величину) цього керування;  $\phi_i k$  – послідовність моментів вимірювання координат, яка визначає наявність чи відсутність у даний момент часу спостережень за  $i$ -ю ЗКР;  $P_{ik}$  – матриця, яка визначається параметрами траєкторії ракети, що вимірюються, і обрана однаковою для усіх  $N$  ракет на весь відрізок керування.

Відповідно до моделі (1), (2) обрані параметри керування БФ РЛС: моменти проведення вимірювання параметрів траєкторії ракети  $\phi_i k$  та видачі команд керування  $\beta_i(k)$ , а також рівень (величина) команд керування ЗКР  $\Lambda_i k$  [3, 4].

Рішення поставленої задачі полягає у наступному [3, 4]. На першому етапі вирішується задача оптимального керування енергетичним ресурсом БФ РЛС при виведенні ракет на кінематичні траєкторії. За критерій ефективності при цьому обрано критерій мінімуму часу виводу всіх ракет на кінематичні траєкторії з обмеженнями на керуємі параметри при забезпеченні заданої точності наведення (обмеження на величину допустимих промахів). Початковими умовами для цього етапу координати  $i$ -ї ЗКР ( $\varepsilon_{oiv}, \beta_{oiv}$ ), що вимірюються на етапі захвату ракети та кореляційні матриці помилок оцінок їх вимірювання.

На основі отриманого рішення на етапі виводу

вирішується задача оптимізації керування енергетичним ресурсом БФ РЛС на етапі наведення ракет. При цьому цільовою функцією керування обрано критерій мінімуму витрати енергетичного ресурсу з обмеженнями на керуємі параметри та при виконанні вимог по точності наведення ракет у точці зустрічі ракет з ціллю. Початковою інформацією на цьому етапі є координати ЗКР, що вимірюються наприкінці етапу виводу ( $\varepsilon_{iон}, \beta_{iон}$ ) та кореляційні матриці помилок оцінок їх вимірювання.

Маючи рішення задач керування енергетичним ресурсом БФ РЛС на кожному з етапів режиму наведення ЗКР та з урахуванням різних вимог по точності на етапах польоту ЗКР знаходиться рішення задачі (1), (2) відповідно до обраного показника ефективності [3, 4].

Отриманий метод вирішення задачі оптимального керування енергетичним ресурсом БФ РЛС повинен мати таку обчислювальну структуру (алгоритми керування), яка враховує технічні особливості РЛС. Відповідно до цього, для розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС при наведенні ЗКР на цілі, алгоритми керування роботою станції повинні будуватися таким чином, щоб обробка інформації проводилася відповідно до особливостей роботи БФ РЛС ЗРК як технічного засобу.

У зв'язку з цим розроблено метод розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС при наведенні ЗКР на цілі, який визначає послідовність вибору окремих алгоритмів оптимального керування ресурсом БФ РЛС при реалізації режиму наведення ЗКР.

Структурна схема методу представлена на рис. 1. На першому етапі (блок 2) синтезується алгоритм керування енергетичним ресурсом БФ РЛС на етапі виведення ракет на кінематичні траєкторії. Пошук рішення здійснюється шляхом комбінації регулярного й випадкового пошуку, що дозволяє досягти глобального екстремуму при будь-яких початкових умовах. На етапі наведення послідовно вирішуються дві задачі: пошуку послідовності вимірювання координат ракети (блок 10) і пошуку оптимальної величини команди керування польотом ракети (блок 11).

Структура алгоритму пошуку оптимальної послідовності проведення вимірів координат ракет на етапі наведення аналогічна алгоритму на етапі виведення ракет. Різниця полягає лише у критерії ефективності керування й інтервалі керування, на якому відбувається формування вектора керування спостереженнями. Проте на етапі наведення такий алгоритм є досить працездатним з точки зору реалізації його на обчислювальних засобах ЗРК. Для подолання цього необхідно використовувати простіший алгоритм, в якості якого пропонується використовувати субоптимальний алгоритм керування спостереженнями за ЗКР на основі локального критерію якості. Сутність такого алгоритму полягає у тому, що вихідна послідовність вимірів формується таким чином, щоб плануємі виміри розташовувались на початку та наприкінці етапу наведення ракет.

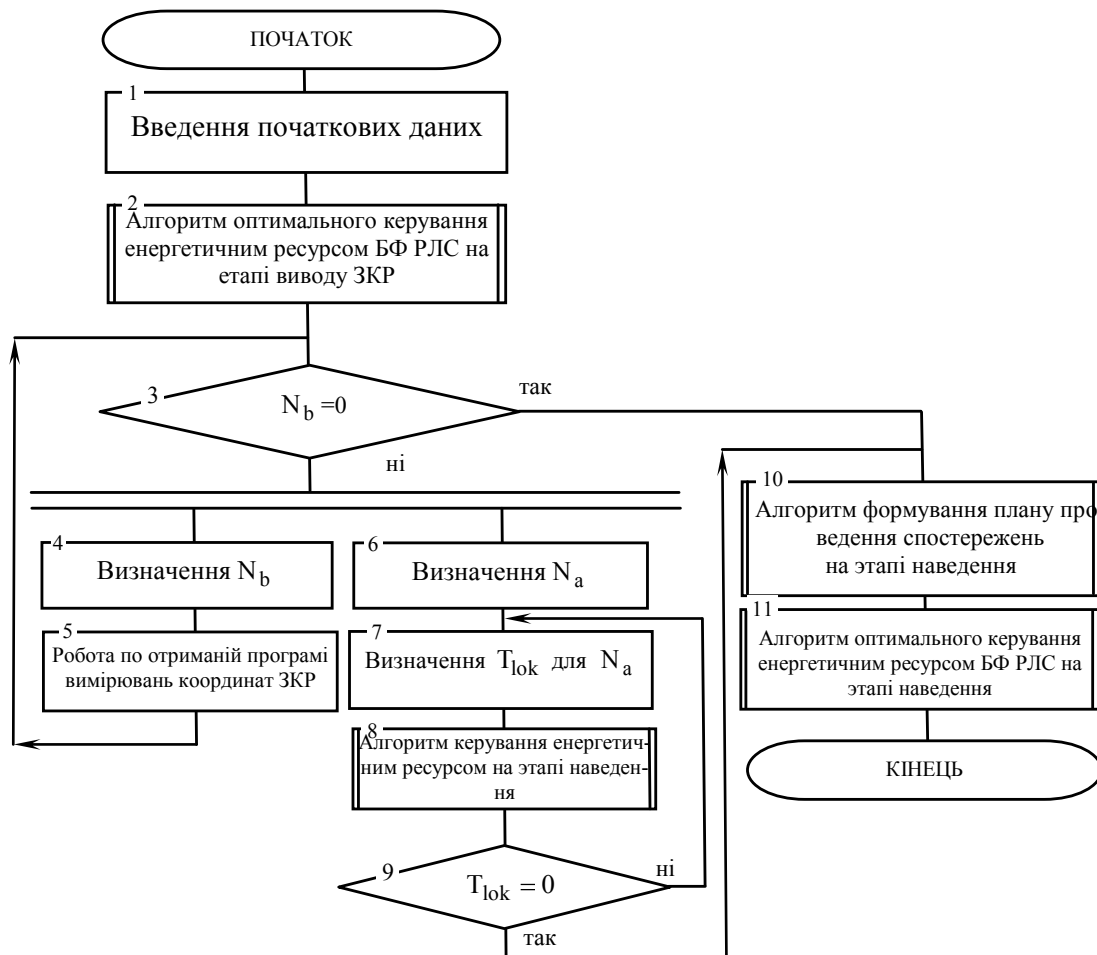


Рис. 1. Структурна схема методу розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС ЗПК при наведенні ЗКР на цілі

Підхід до вирішення цієї задачі можна описати такою схемою. У обраному циклі планування розглядаються два варіанти вибору чергового такту керування. В першому варіанті проведення вимірів передбачається на початку часового інтервалу, у другому – наприкінці. Для кожного з варіантів вирішується задача оптимального керування спостереженнями за ракетами для одного такту наведення, при цьому обчислюються значення показників якості керування на правому та лівому кінцях інтервалу  $[k_{i+1}, K_p]$ . Остаточну у послідовності проведення вимірів координат ракет залишаються виміри, що відповідають максимальним значенням критеріїв, а планування проводиться до повного використання всього ресурсу, виділеного на наведення ракет. На підставі отриманих при цьому значень кореляційних матриць помилок оцінок параметрів, розраховуються вихідні дані для оптимального керування польотом ракет.

У випадку, коли не всі ЗКР виведені на кінематичні траєкторії, то у блоках 3 – 9 вирішується задача розподілу енергетичного ресурсу станції для ракет, які перебувають на етапі наведення. Для цього визначається кількість ракет  $N_b$ , які не виведені на кінематичні траєкторії (блок 4) і кількість ракет  $N_a$ , для яких розпочався етап наведення (блок 6), а також

тривалість інтервалу  $T_{lok}$ , необхідного для етапу наведення ракет  $N_a$  (кількості сеансів зв'язку) (блок 7).

Таким чином, розроблений метод розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС при наведенні ЗКР на цілі враховує неодноразове виведення ракет на кінематичні траєкторії в циклі роботи БФ РЛС, обмеження на ресурси обчислювального комплексу БФ РЛС багатоканального ЗПК, та дозволяє одержати програму роботи БФ РЛС на різних часових інтервалах режиму наведення ЗКР на цілі.

Проведена оцінка ефективності розробленого методу розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС при наведенні ЗКР на цілі шляхом дослідження алгоритмів, які реалізують цей метод. Для цього проведено математичне моделювання функціонування БФ РЛС ЗПК. Дослідження проводилося з використанням у якості показника ефективності виграшу у пропускній спроможності БФ РЛС ЗПК по кількості об'єктів (ракет), що супроводжуються, -  $N_p$ , за рахунок використання нових рішень при розподіленні енергетичного ресурсу БФ РЛС між ракетами, що наводяться у циклі роботи.

Моделювання здійснювалося виходячи з наступних умов. У якості БФ РЛС розглядалися станції, які здатні одночасно реалізовувати супроводження цілей

та наведення ракет. При цьому припускалось, що виділення енергетичного ресурсу на реалізацію режиму супроводження цілей здійснюється за відповідними програмами обчислюваного комплексу ЗРК. Для БФ РЛС ЗРК здійснювалося наведення до 8, ..., 12 ракет по 2, ..., 6 цілям, які знаходяться у зоні огляду БФ РЛС (в зоні пуску ЗРК).

Оцінка ефективності розробленого методу розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС показала, що використання алгоритмів які реалізують метод, дозволяє підвищити пропускну спроможність БФ РЛС по кількості ракет при реалізації режиму наведення на 11 ... 23% в залежності від потрібної точності наведення ракет, характеристик потоку цілей та ракет (рис. 2).

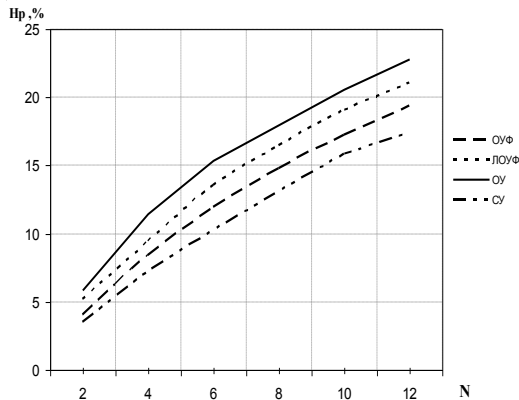


Рис. 2. Виграш у пропускну спроможності БФ РЛС ЗРК по кількості ЗРК, що наводяться, при реалізації різних комбінацій алгоритмів при заданій точності наведення

На рис. 3 показано збільшення кількості ракетних каналів при використанні розробленого методу розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС при наведенні ЗРК на цілі. Отриманий виграш енергетичного ресурсу доцільно використовувати на створення додаткових ракетних каналів, а при необхідності - на створення цільових каналів, що приведе до збільшення кількості ракетних та цільових каналів комплексу, тобто підвищення ефективності функціонування БФ РЛС та ЗРК у цілому.

### Висновки

Отримані результати досліджень доцільно використовувати при створенні сучасних БФ РЛС, які

вирішують задачі різного призначення, зокрема задач керування космічними польотами. А також при обґрунтуванні вимог до алгоритмів керування перспективних РЛС у складі багатоканальних ЗРК малої та середньої дальності.

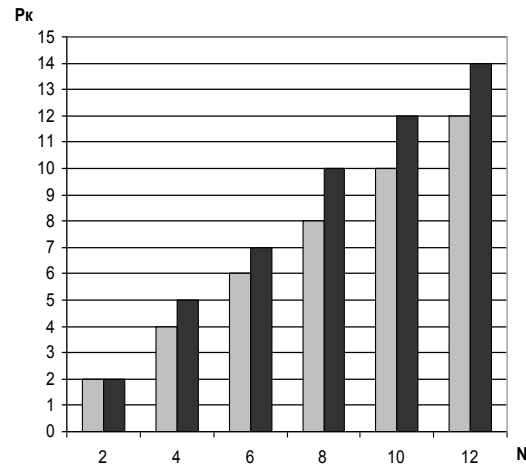


Рис. 3. Збільшення кількості ракетних каналів ЗРК при використанні методу розподілу енергетичного ресурсу БФ РЛС в режимі наведення ЗРК

### Список літератури

1. Галака О.І. Основні тенденції розвитку та ймовірні форми воєн і збройних конфліктів майбутнього / О.І. Галака, О.А. Ільшинов, Ю.М. Павлюк // Наука і оборона. – 2007. – №4. – С. 15-23.
2. Лебедев А.А. Оптимальное управление движением космических летательных аппаратов / Лебедев А.А., Красильщиков М.Н., Малышев В.В. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
3. Кадубенко С.В., Мегельбей А.В., Толстолужская Е.Г. Метод оптимального управления энергетическим ресурсом многофункциональной РЛС зенитного ракетного комплекса // Системи управління навігації та зв'язку: збірник наукових праць. – К: ЦНДІНУ, 2007. – Вип. 3.– С. 103-106.
4. Мегельбей Г.В. Оптимізація керування енергетичним ресурсом багатofункціональної РЛС зенітного ракетного комплексу в режимі наведення зенітних керованих ракет / Г.В. Мегельбей // Озброєння і військова техніка. – Х.: ХУ ПС. – 2007. – Вип.4(12). – С. 15-19.

Надійшла до редколегії 23.09.2008

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

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕСУРСА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЛС ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ НАВЕДЕНИИ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ НА ЦЕЛИ

Г.В. Мегельбей, С.В. Кадубенко, В.В. Мегельбей

В статье рассматривается метод распределения энергетического ресурса многофункциональной РЛС зенитного ракетного комплекса при наведении зенитных управляемых ракет на цели и проводится оценка его эффективности.

**Ключевые слова:** энергетический ресурс, зенитный ракетный комплекс, многофункциональная РЛС, режим наведения зенитных управляемых ракет.

### DISTRIBUTING OF POWER RESOURCE MULTIFUNCTION RLS ZENITHAL ROCKET COMPLEX AT AIMING OF THE ZENITHAL GUIDED ROCKETS ON PURPOSE

A.V. Megel'bey, S.V. Kadubenko, V.V. Megel'bey

In the article the method of distributing of power resource is examined multifunction RLS zenithal rocket complex at aiming of the zenithal guided rockets on a purpose and the estimation of his efficiency is conducted.

**Keywords:** power resource, zenithal rocket complex, multifunction RLS, mode of aiming of the zenithal guided rockets.