

УДК 621.396.96

М.П. Батурицький, Д.Ю. Свистунов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗМІЩЕННЯ НА МІСЦЕВОСТІ ОБЗОРНОЇ РЛС ЯК ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ

Стаття присвячена формалізації та розробці способу рішення задачі оптимізації просторового розміщення радіолокаційного засобу на місцевості. Радіолокаційний засіб розглядається як частина існуючої системи радіолокаційної розвідки, елементи якої просторово розподілені на місцевості. Запропонований спосіб дозволяє кількісно оцінювати якість позиції РЛС. Він враховує характер рельєфу району вибору позиції, розміщення на позиції об'єктів, технічні характеристики радіолокаційного засобу та особливості рішення задачі радіолокаційного забезпечення споживачів інформації в загальній системі радіолокаційної розвідки. Запропонований спосіб базується на автоматизованому комплексному аналізі цифрової картографічної інформації.

**Ключові слова:** засіб радіолокації, багатокритерійна оптимізація, місцевість, позиція, рельєф.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Рішення задачі оптимізації просторового розміщення на місцевості позиції засобу радіолокації пов'язане з необхідністю врахування наступних чинників:

- безліч можливих варіантів вибору є просторово-розподіленою структурою;
- відсутні математичні моделі, що зв'язують значення показників властивостей місцевості місця дислокації радіолокаційних станцій (РЛС);
- необхідно враховувати властивості, які не піддатливі кількісній оцінці;
- багатаспектність задачі вибору району позиції і, як слідство, поняття якості системи.

Враховуючи викладене, як метод вибору доцільно використовувати метод оцінки і порівняння можливих варіантів розміщення РЛС по сукупності показників їх властивостей.

Специфікою оцінки системи варіантів по сукупності показників є її відносний характер. Така оцінка може бути використана тільки для порівняння і вибору якнайкращого в деякому розумінні варіанту.

Використовувана в даний час в РТВ методика вибору позиції [1], не відповідає сучасним вимогам малого часу обґрунтування вирішення на зміну позиції. Крім того, вибір позиції, здійснюваний відповідно з діючою методикою, не є рішенням оптимізаційної задачі з погляду забезпечення необхідних параметрів зони виявлення і вимог до позиції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У загальному випадку задача вибору позиції РЛС залежить від багатьох чинників і її можна віднести до класу векторних задач оптимізації. У векторній задачі оптимізації можна виділити три послідовні етапи звуження початкової множини рішень: звуження початкової множини рішень до множини припустимих рішень; звуження множини припустимих рішень до множини ефективних рішень; вибір єдиного рішення з множини ефективних рішень [2].

У контексті рішення оптимізаційної задачі вибору позиції допустимими позиціями будуть ті, які задовольняють вимогам, що пред'являються до них. Етап пошуку припустимих рішень включає аналіз морфометричних властивостей рельєфу району вибору позиції, а також перевірку відповідності виявлених можливих позицій встановленій системі обмежень.

Вибір ефективного рішення при виборі позиції зводиться до пошуку позицій, при розміщенні на яких найповніше можуть бути реалізовані бойові можливості підрозділів і тактико-технічні характеристики (ТТХ) РЛС. Питання пошуку таких позицій найбільш важливе, оскільки саме від ступеня реалізації бойових можливостей залежить успішне виконання бойових завдань, які ставляться перед радіотехнічними військами.

**Метою статті** є формалізація задачі вибору позиції РЛС на місцевості – розробка математичного апарату для оптимізації просторового розміщення РЛС як елементу системи радіолокаційної розвідки на основі комплексного врахування властивостей місцевості.

### Виклад основного матеріалу

Варіанти розміщення РЛС пропонується оцінювати за допомогою узагальненого показника ефективності системи радіолокаційної розвідки, який формується на основі вагової функції часткових показників. У контексті вибору єдиного ефективного рішення цей показник названий показником ефективності розміщення засобів радіолокації на місцевості  $Q(x,y)$ . Частковими показниками вибрані коефіцієнти реалізації просторових бойових можливостей підрозділів при виконанні системою радіолокаційної розвідки задач інформаційного забезпечення споживачів Кривдоп-1. Кожний коефіцієнт характеризує ступінь виконання однієї задачі інформаційного забезпечення (ступінь реалізації технічних характеристик РЛС при її виконанні). У загальному вигляді коефіцієнти можуть бути представлені як відношення об'єму части-

ни повітряного простору, в якій реалізована видача споживачеві радіолокаційної інформації заданої якості, до необхідного об'єму повітряного простору, в якому необхідно отримувати інформацію про повітряні цілі заданого типу із заданою якістю.

Склад часткових показників, які входять в узагальнений показник ефективності розміщення, і значення відповідних їм вагових коефіцієнтів визначаються офіцером штабу залежно від конкретної задачі радіотехнічного підрозділу.

Задача оптимізації просторового розміщення РЛС на місцевості може бути сформульована у вигляді пошуку координат позиції, для яких досягається максимум нелінійної цільової функції, – узагальненого показника ефективності розміщення  $Q(x, y)$  при наступній системі обмежень:

– значення коефіцієнтів реалізації просторових показників бойових можливостей підрозділу не повинні бути менше припустимих значень  $K_{рпв доп i}$ ;

– РЛС не може бути розгорнуто на ділянках місцевості, для яких не виконуються вимоги до позиції;

– позиція не може бути вибрана на тих ділянках місцевості, для яких відсутня можливість розгортання РЛС (населений пункт, об'єкти гідрографії, зайнята супротивником територія і тому подібне);

– час рішення оптимізаційної задачі  $t_{рш}$  не повинен перевищувати припустимий  $T_{доп}$  для забезпечення можливості практичного використання результатів моделювання до заданого терміну або в ритмі роботи органів управління [3].

Таким чином, задачу пошуку раціональної позиції математично можна представити у такому вигляді:

$$Q(x, y) = \sum_{i=1}^m \Gamma_i K_{рпв i}(x, y) \rightarrow \max;$$

$$K_{рпв i}(x, y) \geq K_{рпв доп i};$$

$$P_i(x, y) \geq P_{доп i};$$

$$(x, y) \notin \Omega_{запр};$$

$$t_{рш} \leq T_{доп}.$$
(1)

Друге і третє з сформульованих вище обмежень в загальному випадку можна розглядати як нелінійні функції просторових координат.

Сформульована задача є по суті задачею нелінійного програмування, якій притаманні ряд особливостей, без урахування яких її рішення не зможе привести до бажаного результату, або час рішення задачі буде неприпустимо великим.

1. Обчислення цільової функції для однієї точки стояння РЛС по методиці [4] складає одиниці секунд. Розрахунки показують, що при використанні "повноперевірних" алгоритмів [5] час рішення задачі для ділянки місцевості  $100 \text{ км}^2$  (1776889 точок регулярної мережі з кроком 75 метрів) може скласти більше 20 діб. Тому, в цілях скорочення часу на проведення розрахунків кількість обчислень цільової функції бажано звести до мінімуму.

2. Оскільки для обчислення значень цільової функції використовуються висоти рельєфу району вибору позиції, цільова функція, обчислена для кожної точки району вибору позиції, є багатоекстремальною функцією, яка залежить від двох аргументів – географічних координат земної поверхні. Отже, при рішенні задачі оптимізації необхідно забезпечити знаходження глобального екстремуму цільової функції.

3. Значення цільової функції значною мірою визначаються параметрами зон виявлення РЛС, розміщених на конкретних позиціях. Параметри зон виявлення, у свою чергу, залежать від рельєфу земної поверхні, причому, в більшості випадків оптимальна з погляду площі зони виявлення РЛС позиція знаходиться в районі однієї з пануючих висот.

4. Врахування обмежень відповідно до вимог, що пред'являються до позиції, які викладені у формулярі на відповідний зразок радіолокаційного озброєння, пов'язаний з необхідністю розрахунку показників  $P_1(x, y)$ , що характеризують істотні для вибору позиції чинники (кути закриття, кути ухилу позицій і тому подібне). Показники  $P_1(x, y)$  є просторово розподіленими функціями – частковими показниками ступеню придатності позицій до розміщення на них РЛС і можуть бути отримані шляхом відповідних перетворень функції висот рельєфу.

Рішення сформульованої задачі пошуку екстремуму нелінійної цільової функції, що містить нелінійні обмеження, може ґрунтуватися на підході, пов'язаному з перетворенням задачі нелінійного програмування в еквівалентну їй послідовність задач безумовної оптимізації [6].

Прийнятний час рішення задачі пошуку екстремуму цільової функції може бути забезпечений шляхом проведення двохетапної процедури вибору позиції – попереднього та остаточного.

На попередньому етапі, який може проводитися до початку ведення бойових дій, доцільно здійснювати оцінку показників, які мають великий інтервал часової стаціонарності. Такими показниками можуть бути функції  $P_1(x, y)$ , отримані на основі перетворень функції висот рельєфу району вибору позиції.

На остаточному етапі доцільно оцінювати лише показники реалізації просторових параметрів РЛП, що враховують напрями удару і тактику застосування засобів повітряного нападу. Початкові дані для розрахунку таких показників (необхідні рубежі видачі радіолокаційної інформації, необхідні зони інформації, сектори відповідальності і тому подібне) повинні задаватися безпосередньо перед, або в ході ведення бойових дій.

Можна виділити два основні підходи до проведення етапу попереднього вибору. Перший підхід припускає проведення попереднього розрахунку і подальше зберігання параметрів зон виявлення РЛС для кожної з можливих позицій. Такому підходу властиві наступні недоліки:

– при проведенні попереднього розрахунку параметрів зони виявлення РЛС складно врахувати вплив таких зовнішніх чинників, як наявність постановників перешкод. Напрямок дії, кількість і спектральну щільність потужності постановників перешкод в конкретному повітряному ударі передбачити практично неможливо, і для кожного варіанту нальоту потрібно буде проводити перерахунок параметрів зони виявлення;

– зона виявлення є об'ємним тілом складної форми, вона не може бути повною мірою описана одним числом. Зберігання параметрів перетинів зон для всього діапазону висот і напрямів вірогідної дії супротивника для всіх можливих позицій може зажадати неприпустимо великий об'єм дискового простору ПЕВМ;

– параметри зони виявлення визначаються як характеристиками позиції, так і ТТХ РЛС, тому попередній розрахунок зон необхідно здійснювати для всього парку радіолокаційної техніки РТВ.

Другий підхід може бути пов'язано з попередньою оцінкою чинників, що визначають параметри зони виявлення, але стаціонарних в часі і таких, що є характеристиками тільки позиції. Слід відмітити, що для врахування сформульованих вище обмежень істотні для вибору позиції чинники у будь-якому випадку повинні оцінюватися. Тому саме цей підхід доцільно використовувати для проведення попереднього етапу вибору позиції. Оскільки істотних для вибору позиції чинників декілька, і всі вони характеризують якість позиції, має сенс перейти від сукупності показників до однієї інтегральної характеристики якості позиції – узагальненого показника придатності позиції до розміщення на ній РЛС.

Фізичний сенс узагальненого показника придатності – функція переваги, що визначає ступінь придатності позицій для розміщення РЛС. Значення функції доцільно розподіляти в діапазоні від нуля до одиниці. Нульове значення відповідає тим точкам місцевості, для яких вимоги до позиції не виконуються, одиниця – кращій або кращим позиціям, для яких показники придатності максимальні. Аргументами функції є географічні координати точок району вибору позиції. Використання уведеної функції переваги дозволяє здійснювати попередній вибір кращих позицій з безлічі припустимих. На рис. 1 зображено вигляд просторового розподілу узагальненого показника придатності для ділянки земної поверхні – району вибору позиції, наведеного на рис. 2.

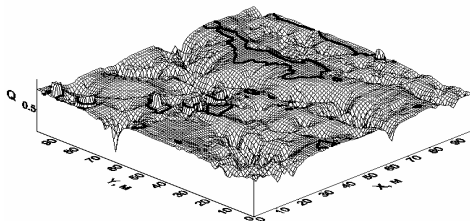


Рис. 1. Вигляд просторового розподілу узагальненого показника придатності позиції

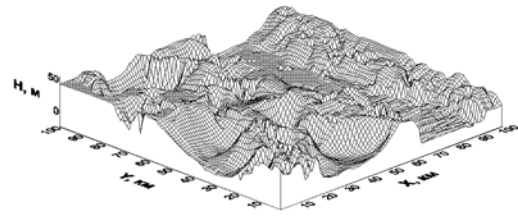


Рис. 2. Цифрова модель рельєфу району вибору позиції

Оскільки показник придатності непрямо характеризує зону виявлення РЛС, аргументи, в яких досягаються екстремуми значень показника, можна використовувати як початкові умови для проведення розрахунку цільової функції, що дозволить значно скоротити кількість ітерацій при знаходженні її екстремумів і врахувати тим самим одну з наведених особливостей задачі.

Таким чином, на попередньому етапі потрібно буде сформулювати узагальнену функцію переваги від показників  $P_1(x, y)$  і знайти її екстремуми. Оскільки рельєф заданий вузлами регулярної прямокутної мережі точок, показник придатності, так само як і функція рельєфу, не є гладкою функцією, для якої обчислення похідних не уявляється можливим. Отже, сформульована підзадача належить до класу задач безумовної максимізації негладких функцій багатьох змінних. Рішення подібних задач може бути отримано або за допомогою методів, в яких пошук здійснюється на основі зіставлення значень функції в пробних точках, або на основі методу Нелдера і Міда (багатогранника, що деформується) [6]. У роботах [6, 7] показано, що використання методів із зіставленням значень функції неефективно, тому для знаходження екстремумів функції переваги  $H(x, y)$  скористаємося методом багатогранника, що деформується:

$$H(x, y) = f(P_1(x, y)) \rightarrow \max . \quad (2)$$

Екстремуми багатоекстремальної функції переваги пропонується знаходити шляхом розрахунку інтервалу кореляції значень функції для всієї області визначення, розбиття області визначення функції на підобласті з радіусом, рівним радіусу кореляції і знаходження екстремуму функції для кожної підобласті. Така процедура дозволяє модифікувати метод випадкового пошуку, який найбільш поширений для вирішення подібних завдань пошуку всіх екстремумів функції.

Остаточний етап зводиться до знаходження глобального екстремуму цільової функції, використовуючи як початкові умови координати точок, отриманих на попередньому етапі. Задача максимізації нелінійної цільової функції з нелінійними обмеженнями  $Q(x, y)$  може бути приведена до задачі безумовної максимізації функції виграшу  $Q_U(x, y)$  шляхом застосування методів штрафних функцій [4].

Модельна схема рішення негладких задач з обмеженнями детально описана в [4] і полягає у виконанні

ітераційних процедур рішення безумовної підзадачі методом багатогранника, що деформується, та процедур збільшення або зменшення параметра штрафу.

Обмеження задачі вибору позиції визначають область визначення цільової функції. Якщо максимум цільової функції лежить усередині області її визначення, то ця точка вважається оптимальною. При попаданні точки максимуму всередину забороненої області, визначуваної обмеженнями вибору позиції, оптимальну позицію слід шукати на межі області визначення.

Таким чином, для рішення задачі оптимізації розміщення радіолокаційного засобу на місцевості буде потрібно:

- формалізувати чинники, істотні для вибору позиції;
- сформулювати узагальнений показник придатності позиції і знайти його екстремуми;
- задаючи як початкові умови екстремуми показника придатності, знайти екстремуми показника ефективності розміщення РЛС на місцевості;
- із знайдених екстремумів вибрати глобальний.

### Висновки

У статті запропонований спосіб для рішення задачі оптимізації просторового розміщення РЛС на місцевості. Викладений підхід дозволяє врахувати один з недоліків існуючої методики вибору позиції – відсутність кількісного оцінювання варіантів розміщення засобів радіолокації. Рішення вказаної задачі порівняння здійснювалося командиром. Однак, приведення варіантів розміщення у відповідний вигляд є одним з ключових моментів порівняльного аналізу, здатним зробити вплив на прийняття рішення.

Запропонований спосіб рішення задачі вибору раціональних позицій дозволяє врахувати ряд

специфічних особливостей, які полягають в необхідності комплексного оцінювання місцевості для розміщення радіолокаційних засобів, а також в можливості оцінювання радіолокаційного забезпечення, здійснюваного на користь декількох споживачів РЛІ одночасно.

Спосіб може стати основою для розробки нової автоматизованої методики, яка дозволить підвищити оперативність і обґрунтованість ухвалення рішення на вибір позиції засобів радіолокації в процесі підготовки і під час ведення бойових дій, мінімізувати час маневру і, таким чином, забезпечити вищу живучість угруповання РТВ, оптимізувати конфігурацію радіолокаційного поля у повітряно-завадовій обстановці, що динамічно змінюється.

### Список літератури

1. Указания РТВ ПВО по выбору позиции радиолокационного подразделения. – М.: Воениздат, 1982. – 80 с.
2. Демидов Б.А. Теория и методы военно-научных исследований вооружения и военной техники / Б.А. Демидов. – Х.: ВИРТА, 1990. – 558 с.
3. Городнов В.П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО: Учебное пособие / В.П. Городнов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 380 с.
4. Методика розрахунку зон виявлення РЛС і радіолокаційного поля угруповання РТВ: Затв. Нач. штабу Військ ППО України – першим заступником командувача Військ ППО України 01.10.1999. – К., 1999. – 41 с.
5. Гэри М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи: Пер. с англ. / М. Гэри, Д. Джонсон. – М.: Мир, 1982. – 416 с.
6. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1975. – 536 с.
7. Гилл Ф. Практическая оптимизация: Пер. с англ. / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 509 с.

Надійшла до редколегії 9.12.2008

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

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ ОБЗОРНОЙ РЛС КАК ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ

М.П. Батуринский, Д.Ю. Свистунов

*Статья посвящена формализации и разработке способа решения задачи оптимизации пространственного размещения радиолокационного средства на местности. Радиолокационное средство рассматривается как часть существующей системы радиолокационной разведки, элементы которой пространственно распределены на местности. Предложенный способ позволяет количественно оценивать качество позиции РЛС. Он учитывает характер рельефа района выбора позиции, размещение на позиции объектов, технические характеристики радиолокационного средства и особенности решения задач радиолокационного обеспечения потребителей информации в общей системе радиолокационной разведки. Предложенный способ базируется на автоматизированном комплексном анализе цифровой картографической информации.*

**Ключевые слова:** средство радиолокации, многокритериальная оптимизация, местность, позиция, рельеф.

## OPTIMIZATION OF THE SPATIAL PLACING ON LOCALITY BY A SURVEY RADAR AS AN ELEMENT OF THE SYSTEM OF RADIO-LOCATION SECRET SERVICE

M.P. Baturinskiy, D.Y. Svystunov

*The article is devoted formalization and development of method of decision of task of optimization of the spatial placing of radio-location mean on locality. A radio-location mean is examined as part of the existent system of radio-location secret service the elements of which are spatially up-diffused on locality. The offered method allows in number to estimate quality of position RLS. He takes into account character of relief of district of choice of position, placing on positions of objects, technical descriptions of radio-location mean and feature of decision of tasks of the radio-location providing of users of information in the general system of radio-location secret service. The offered method is based on the automated complex analysis of digital cartographic information.*

**Keywords:** mean of radio-location, multicriterion optimization, locality, position, relief.