

В.Й. Климченко<sup>1</sup>, М.М. Петрушенко<sup>2</sup>, О.С. Маляренко<sup>1</sup>, І.М. Трофимов<sup>1</sup>, В.С. Куц<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup>Військова академія, Одеса

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗОН ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛЕЙ ОГЛЯДОВИМИ ЗАСОБАМИ РАДІОЛОКАЦІЇ, РОЗГОРНУТИМИ НА РЕАЛЬНИХ ПОЗИЦІЯХ

Аналізуються відомі методики розрахунку зон виявлення цілей радіолокаційними станціями на основі математичної моделі (апроксимуючої функції) діаграми направленості антени РЛС в кутомісцевій площині. Розглядається комбінована методика визначення зон виявлення цілей, яка поєднує в собі переваги відомих і широко вживаних на сьогодні методик. Сутність запропонованої методики полягає в поєднанні аналітичних розрахунків з результатами обльотів РЛС в період її випробувань. Врахування інтерференції прямої і відбитої від підстильної поверхні радіохвиль здійснюється тільки для тих позицій або окремих секторів, в яких розмір ділянки, істотної для віддзеркалень радіохвиль, не перевищує дальність до найближчих перешкод, що створюють затінювання (кути закриття).

**Ключові слова:** оглядова радіолокаційна станція, зона виявлення цілей, діаграма направленості антени, рельєф місцевості.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для кожної РЛС у відповідній частині формуляру наводяться основні параметри зони виявлення цілей певного типу, як правило типового винищувача тактичної авіації. Такими параметрами є дальності виявлення цілей на різних висотах, висотна межа безпровального супроводження цілей та радіус “мертвої воронки”. Числові значення наведених параметрів оцінюються в процесі державних випробувань РЛС в полігонних умовах на позиціях, наближених до ідеальних. При розгортанні РЛС на реальних позиціях параметри зони виявлення цілей через вплив рельєфу, елементів бойового порядку підрозділу та об'єктів інфраструктури можуть сильно розходитись із формулярними значеннями, особливо на малих та середніх висотах. Основним тактичним заходом уточнення зон виявлення цілей, передбаченим існуючими нормативними і керівними документами з підготовки та застосування радіотехнічних підрозділів і частин, є проведення обльотів після розгортання РЛС на позиції [1]. Але такий захід є надто витратним, тривалим і небезпечним, особливо при обльотах на малих і гранично малих висотах. Використання останнім часом безпілотних апаратів для виконання різного роду бойових завдань, в тому числі й проведення обльотів радіолокаційних засобів [2–3], частково спрощує означену процедуру, але за будь-якого варіанту використання літальних засобів обльоти дають лише точкові оцінки на окремих висотах і напрямках польоту.

У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку альтернативних методик оцінювання такої основної тактичної характеристики РЛС, як зона виявлення цілей, без проведення обльотів або при суттєвому зменшенні їхньої кількості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зона виявлення цілей оглядовим засобом радіолокації характеризується набором її горизонтальних перетинів на заданих висотах. Розрахунок та відображення горизонтальних перетинів зони виявлення цілей здійснюється на основі математичної моделі (апроксимуючої функції) діаграми направленості антени (ДНА) РЛС в кутомісцевій площині для кожного режиму огляду простору. Математична модель ДНА розробляється за даними підприємства-розробника, які надаються в табличному або графічному вигляді.

Існують дві основні методики оцінки зони виявлення цілей на заданих висотах: знаходження дальності виявлення цілі тільки з урахуванням кутів закриття, що розраховуються з використанням цифрових карт місцевості [4–6], і знаходження означеної дальності з урахуванням впливу підстильної поверхні на формування результуючої ДНА [7–10].

Перша методика вимагає менше часу на рішення і менший об'єм пам'яті для зберігання початкових даних і результатів рішення. Використовується означена методика переважно для РЛС сантиметрового діапазону хвиль. Друга методика є точнішою, особливо для засобів радіолокації, що працюють в метровому і дециметровому діапазонах радіохвиль, але збільшує об'єм обчислювальних операцій.

**Метою статті** є розробка комбінованої методики визначення зон виявлення цілей, яка поєднує в собі переваги і першої, і другої відомих методик. Сутність запропонованої методики полягає в тому, що урахування інтерференції прямої і відбитої від підстильної поверхні радіохвиль доцільне тільки для тих позицій або окремих секторів, в яких розмір ділянки, істотної для віддзеркалень радіохвиль, менше дальності до найближчих перешкод, що створюють затінювання (кути закриття).

## Виклад основного матеріалу

**1. Загальна характеристика методики.** Методика розрахунку зон виявлення цілей оглядовими засобами радіолокації, розгорнутими на реальних позиціях, містить два відносно самостійні розділи (етапи): етап підготовки початкових даних і етап власне розрахунку зон. Відповідно до цього можна розглядати дві часткові методики.

Змістом часткової методики підготовки початкових даних є визначення параметрів і характеристик, необхідних для безпосереднього розрахунку зони виявлення (ЗВ) цілей. Часткова методика підготовки початкових даних включає:

– розрахунок діаграм направленості антен (ДНА) РЛС у вертикальній площині, який виконується одноразово за даними підприємства-розробника, що надаються в табличному або графічному вигляді;

– разовий розрахунок масиву значень ДНА РЛС з урахуванням впливу підстильної поверхні конкретних позицій для обраної множини азимутних напрямів (вибір кількості таких напрямів наводиться нижче), який виконується при кожній зміні позиції (реальному або планованому).

Розрахунки проводяться для кожного режиму огляду РЛС, в яких ДНА відрізняються. Якщо діаграми направленості антен при їх роботі на випромінювання і на прийом відрізняються, то розрахунок ДНА проводиться роздільно.

Попередній розрахунок масиву ДНА зменшує час безпосереднього розрахунку ЗВ для різних класів повітряних об'єктів (ПО) на різних висотах в кожному режимі огляду.

Змістом часткової методики розрахунку зон виявлення ПО є побудова перетинів зони виявлення ПО заданого класу на заданій висоті польоту ПО.

Відрізняють зони виявлення ПО, що виконують політ з обгінанням рельєфу (на малих висотах), і зони виявлення ПО, що виконують політ на постійній висоті. Методики розрахунку ЗВ за вказаними профілями польоту та вигляд перетинів ЗВ відрізняються.

Для оглядових РЛС, які працюють в режимі

кругового огляду, ЗВ розраховується для всіх азимутних напрямів.

При розрахунках ЗВ приймаються наступні обмеження і допущення:

– розрахунки проводяться для умов нормальної рефракції радіохвиль;

– вплив радіальної швидкості ПО і характеристик системи селекції рухомих цілей на дальність виявлення ПО не враховується;

– дальність виявлення еталонного ПО на заданій висоті в різних режимах огляду визначена і представлена підприємством-розробником РЛС.

## 2. Часткова методика підготовки початкових даних.

Зміст та розмірність вхідної інформації приведені в табл. 1.

Таблиця 1  
Зміст та розмірність вхідної інформації

Найменування	Розмірність
1 Опис розміщення РЛС	
1.1 Номер РЛС	Безрозмірне
1.2 Координати РЛС (шир.; довг.)	град, мін, с
2 Характеристики РЛС	
2.1 Тип РЛС	текст
2.2 Висота підйому електричного центра антени над землею поверхн.	м
2.3 Параметри зони виявлення	
2.3.1 Умовний номер (позначення) режиму огляду $N_{ms}$	Безрозмірне
2.3.2 Дальн. виявл. $D_{et}$ еталонної цілі класу $S_{et}$ на висоті $H_{et}$ для $N_{ms}$	км
2.3.3 ЕПР еталонної цілі $\sigma_{et}$	м <sup>2</sup>
2.3.4 Клас цілі $S_t$	Безрозмірне
2.3.5 ЕПР $\sigma_t$ цілі типу $S_t$	м <sup>2</sup>
2.3.6 Висота цілі $H_t$	м
2.4 Опис нормованої ДНА РЛС у вертикальній площині	
2.4.1 Умовний номер (позначення) режиму огляду $N_{ms}$	Безрозмірне
2.4.2 Нормована ДНА на випромінювання в режимі $N_{ms}$	Безрозмірне
2.4.2.1 Кут місця	град
2.4.2.2 Значення ДНА	Безрозмірне
2.4.3 Нормована ДНА на прийом	
2.4.3.1 Кут місця	град
2.4.3.2 Значення ДНА	Безрозмірне
2.5 Середня робоча частота	ГГц
3 Цифрова карта	Масив даних

Характеристики РЛС надає підприємство-розробник (формуляр на РЛС).

Дальність виявлення еталонної цілі класу  $S_{et}$  повинна бути задана на такій висоті  $H_{et}$ , щоб впливом Землі можна було нехтувати (кут місця цілі повинен бути більше  $2^\circ$ ).

Попередня підготовка початкових даних виконується одноразово і включає формування математичної моделі (апроксимуючої функції) ДНА РЛС в кутомісцевій площині  $F(\varepsilon)$  для режиму огляду номер  $N_{ms}$  за даними ДНА від підприємства-розробника. Формування математичної моделі (апроксимуючої функції) ДНА виконується окремо на випромінювання і прийом, якщо в РЛС відрізняються ДНА на випромінювання і прийом. Результуюча ДНА в цьому випадку визначається як:

$$F(\varepsilon) = \sqrt{F_{uz}(\varepsilon) \cdot F_{np}(\varepsilon)}, \quad (1)$$

де  $F_{uz}(\varepsilon)$ ,  $F_{np}(\varepsilon)$  – нормовані ДНА на випромінювання і на прийом відповідно.

Формування математичної моделі ДНА  $F(\varepsilon)$  здійснюється для всіх режимів огляду, в яких ДНА відрізняються.

При кожній зміні позиції РЛС (при виборі позицій на етапі планування) виконуються наступні операції.

1. Задається точка місцеположення РЛС з координатами: широта  $\varphi_{RL}$  і довгота  $\lambda_{RL}$ .

2. Для азимута  $\beta_i$  з використанням цифрової карти будується профіль рельєфу місцевості, знаходяться кути закриття  $\varepsilon_{zi}$  і відстані до перешкод, що їх створюють  $D_{zi}$ .

3. Розраховується радіус області підстильної поверхні [11], що впливає на формування ДНА:

$$R_{pp} = \frac{23,3h_a^2}{\lambda}. \quad (2)$$

4. Розраховується кут місця [12] еталонної цілі:

$$\varepsilon_{et} = a \sin \left( H_{et} - H_{rls} - h_a - \frac{D_{et}^2}{2R_{se}} \right), \quad (3)$$

де  $H_{et}$  – висота польоту еталонної цілі над рівнем моря;

$H_{rls}$  – висота точки стояння РЛС над рівнем моря;

$h_a$  – висота електричного центра антени над підстильною поверхнею;

$R_{se} = 8470$  км – еквівалентний радіус Землі за умови нормальної рефракції.

5. Визначення максимальної дальності виявлення еталонної цілі здійснюється у відповідності з виразом:

$$D_m = \frac{D_{et}}{F(\varepsilon_{et})}. \quad (4)$$

6. Розраховується кут місця першого інтерференційного максимуму [11]

$$\varepsilon_{if} = \frac{\lambda}{4h_a}. \quad (5)$$

Отримані на підготовчому етапі дані використовуються в подальшому в часткових методиках розрахунку зон при польоті ПО на постійній висоті і з обгинанням рельєфу.

**3. Часткова методика розрахунку зон при польоті ПО на постійній висоті.** Розрахунки проводяться в наведеній нижче послідовності.

Оператором задається висота  $H_t$  польоту цілі типу  $S_t$  у режимі  $N_{ms}$ . Після цього вирішується система рівнянь [10]:

$$D_t(\varepsilon) = D_m \sqrt[4]{\frac{\sigma_t}{\sigma_{et}}} \cdot F(\varepsilon); \quad (6)$$

$$D(\varepsilon) = -R_{ze} \cdot \sin(\varepsilon) + \sqrt{(R_{ze} \cdot \sin(\varepsilon))^2 + \sqrt{H_t - H_{rls} - h_a}}, \quad (7)$$

де рівняння (6) є математичною моделлю вертикального перетину зони виявлення по цілі класу  $S_t$ , а рівняння (7) описує закон зміни похилої дальності залежно від кута місця цілі при її польоті на висоті  $H_t$ . Вирішення системи рівнянь (6-7) дає точку перетину межі зони виявлення з ізовисотною лінією польоту цілі класу  $S_t$  на висоті  $H_t$  (рис.1). Координати точки перетину визначають похилу дальність  $D_t$  до цілі класу  $S_t$  і її кутомісцеве положення  $\varepsilon_t$ .

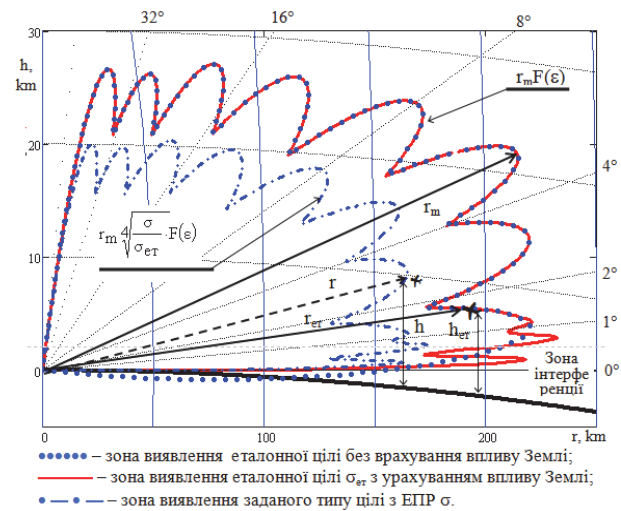


Рис. 1. Типовий вигляд вертикального перетину зони виявлення цілей трикоординатною оглядовою РЛС сантиметрового діапазону хвиль

Це загальні операції для вибраного класу цілі  $S_t$  і висоті її польоту  $H_t$ .

Подальші операції виконуються для кожного

азимутного напрямку з кроком, рівним половині ширини ДНА в азимутній площині.

Спочатку перевіряється умова:

$$\varepsilon_f > \varepsilon_{if} + \varepsilon_z, \quad (8)$$

де  $\varepsilon_z$  – кут закриття на вибраному азимутному напрямі.

Якщо умова (8) виконується, то набуває значення  $D_t$  залишається незмінним.

Якщо умова (8) не виконується, то це означає, що ціль знаходиться в області інтерференції і необхідне коректування набутого значення дальності  $D_t$ . Коректування проводиться в такій послідовності.

1. Розраховується дальність прямої видимості на висоті  $H_t$  з урахуванням кута закриття на даному азимутному напрямі:

$$D_{pr} = \sqrt{(R_{ze} + H_t)^2 + (R_{ze} + H_a)^2 - 2(R_{ze} + H_t) \times (R_{ze} + H_a) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_z - a \sin\left(\frac{R_{ze} + H_a}{R_{ze} + H_t} \sin \varepsilon_z\right)\right)}, \quad (9)$$

де  $H_a = H_{rls} + h_a$  – висота електричного центру антени над поверхнею моря.

2. Якщо

$$D_t \leq D_{pr}, \quad (10)$$

то перевіряється умова:

$$D_z \leq R_{pp}, \quad (11)$$

і, якщо вона виконується, то набуває значення  $D_t$  залишається незмінним. Інакше розраховується коефіцієнт використання радіогоризонту [10]:

$$K_{irg} = \frac{D_m^4 \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_{et}}}}{\sqrt{\frac{R_{ze} \cdot \lambda \cdot D_m^4 \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_{et}}}}{2\sqrt{2} \cdot h_a} + \left(D_m^4 \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_{et}}}\right)^2}} \quad (12)$$

і здійснюється корекція дальності виявлення з урахуванням коефіцієнта використання радіогоризонту

$$D'_t = D_t \cdot K_{irg}. \quad (13)$$

3. Якщо  $D_t > D_{pr}$ , то:

$$D'_t = D_{pr} \cdot K_{irg}. \quad (14)$$

Сукупність розрахованих за співвідношеннями (6), або (13), або (14) значень дальності виявлення цілі на усіх азимутних напрямках утворює зону виявлення цілі, що здійснює політ на висоті  $H_t$ .

**4. Часткова методика розрахунку зон при польоті ПО з обгинанням рельєфу місцевості.** Для розрахунків використовуються дані про профілі рельєфу місцевості на кожному азимутному напрямі.

Дискретність по азимуту повинна складати не більше, ніж половина ширини ДНА в азимутній площині. На кожному азимутному напрямку повинні бути визначені кут закриття і дальність до перешкоди, що створює кут закриття. Якщо на вибраному азимутному напрямку рельєф є “багатооб’їйним” (рис. 2), то визначаються домінуючий кут закриття  $\varepsilon_{zd}$  і дальність  $D_{zd}$  до перешкоди, що його створює, і локальні кути закриття  $\varepsilon_{zi}$  і дальності  $D_{zi}$  до відповідних перешкод.

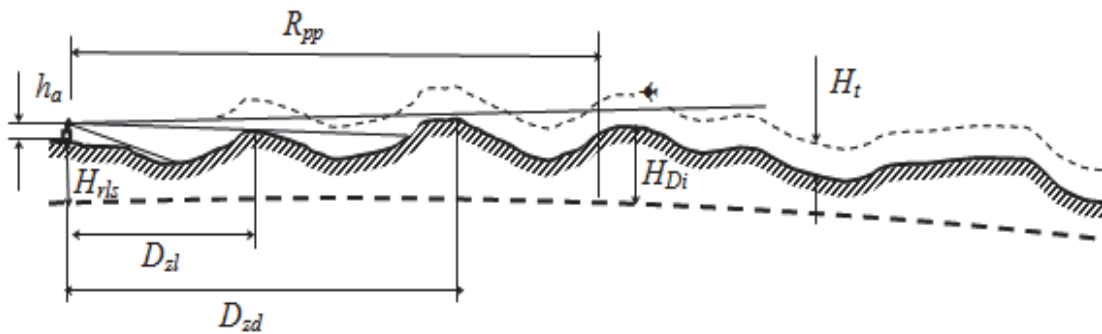


Рис. 2. До визначення зон виявлення повітряних об’єктів, що здійснюють політ з обгинанням рельєфу місцевості

Розрахунок зводиться до перевірки умови радіовидимості з точки розташування електричного центра антени РЛС кожної точки траєкторії радіального польоту ПО з обгинанням рельєфу і здійснюється в такій послідовності:

1. Розрахунок починається з максимально можливої дальності виявлення ПО, що летить над рельєфом на висоті  $H_t$  на даному азимутному напрямі:

$$D_{max} = D_m^4 \sqrt{\frac{\sigma_t}{\sigma_{et}}} \cdot F(\varepsilon_{zd}). \quad (15)$$

Дискретність розрахунків по дальності повинна бути не більше 1 км, але і не менше роздільної здатності РЛС по дальності.

2. Для вибраної дальності  $D_i$  розраховується кут місця точки траєкторії польоту щодо електричного центра антени РЛС:

$$\varepsilon_{D_i} = \arctg \left[ \frac{2R_{ze}(H_{Di} + H_t - H_{rls} - h_a) - D_i^2}{2D_i \cdot R_{ze}} \right], \quad (16)$$

де  $H_{Di}$  – висота рельєфу щодо рівня моря під крапкою траєкторії польоту ПО.

3. Перевіряється умова, чи не перевищує вибрана дальність максимальну дальність виявлення цілей типу  $S_t$ :

$$D_i \leq D_m \sqrt[4]{\frac{\sigma_t}{\sigma_{et}}}. \quad (17)$$

Якщо умова (17) не виконується, то точці траєкторії надається ознака “невидимої”.

4. При виконанні умови (17) перевіряється умова:

$$D_i \geq D_{zd}. \quad (18)$$

5. При виконанні умови (18) перевіряється умова знаходження аналізованої точки в області, в якій виявляються ефекти інтерференції:

$$D_i > R_{pp}. \quad (19)$$

6. Якщо умова (19) виконується, то перевіряється умова попадання точки в область радіовидимості:

$$\varepsilon_{D_i} \geq \varepsilon_{zd} + \frac{\lambda}{40h_a}, \quad (20)$$

де величина  $\frac{\lambda}{40h_a}$  є поправкою на інтерференцію.

Якщо умова (20) виконується, точці надається ознака “видимої”, інакше точка – “невидима”.

7. При невиконанні вимоги (19) умова радіовидимості перевіряється як умова прямої видимості, тобто, якщо  $\varepsilon_{D_i} \geq \varepsilon_{zd}$ , точка “видима”, інакше – “невидима”.

8. Якщо умова (18) не виконується, то точка знаходиться ближче домінуючої перешкоди, то всі розрахунки за пунктами 4–7 повторюються для чергової перешкоди, що створює локальний кут закриття  $\varepsilon_{zl}$ .

Сукупність “видимих” точок утворює зону виявлення цілі, яка здійснює політ на висоті  $H_t$  з обгинуванням рельєфу місцевості.

## Висновки

1. Поєднання теоретичних розрахунків з точковими практичними оцінками зони виявлення, отриманими в процесі випробувань через проведення обльотів, дає можливість оцінити реальні параметри зон виявлення цілей радіолокаційними станціями, розгорнутими на конкретних позиціях.

2. Врахування впливу підстильної поверхні на інтерференцію прямої і відбитої радіохвиль є доцільним тільки для тих позицій або окремих секторів, в яких розмір ділянки, істотної для віддзеркалень радіохвиль, менший від дальності до найближчих перешкод, що створюють кути закриття.

3. Розроблена методика розрахунку зон виявлення цілей радіолокаційними станціями з урахуванням особливостей реальних позицій може бути включена до складу спеціального програмного забезпечення перспективних РЛС.

## Список літератури

1. Тактика радіотехнічних військ / Б.В. Бакуменко, В.І. Боровий, В.В. Ковкін та ін. – Х.: ХУПС, 2007. – 228 с.
2. Животовський Р.М. Аналіз способів застосування безпілотних авіаційних комплексів / Р.М. Животовський, Ю.О. Горобець // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 4(48). – С. 16-21.
3. Результати аналізу основних класів безпілотних літальних апаратів для оцінювання можливості їх спільного застосування з армійською авіацією / А.М. Алімпієв, М.І. Ватан, В.В. Тюрін, В.І. Мясягін // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 1(45). – С. 6-9.
4. Торопчин А.Я. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник та ін. – К.: МО України, Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
5. Справочник офицера воздушно-космической обороны / Под общей редакцией С.К. Бурмистрова. – Тверь: ВА ВКО, 2006. – 564 с.
6. Петерсон А. Сопровождение целей под малыми углами места с помощью РЛС: пер. с англ. / А. Петерсон. – Х.: ВИРТА ПВО, 1985. – 135 с.
7. Бахвалов Б.Н. Справочные материалы по оценке влияния реальных позиций на зоны видимости РЛС / Б.Н. Бахвалов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1977. – 166 с.
8. Бахвалов Б.Н. Методика расчета и построения с помощью ЭВМ зон обнаружения РЛС на позициях со сложным рельефом местности / Б.Н. Бахвалов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1989. – 37 с.
9. Белавін О.В. Експериментально-аналітичний спосіб визначення верхньої межі зони виявлення повітряних об'єктів радіолокаційними станціями в процесі їхнього випробування / О.В. Белавін // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 4(48). – С. 83-87.
10. Климченко В.Й. Особливості розрахунку коефіцієнта використання радіогоризонту в оглядових РЛС метрового діапазону хвиль / В.Й. Климченко, О.В. Белавін, Г.Г. Камалтинов // Озброєння та військова техніка. – 2016. – № 4(12). – С. 63-68.
11. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн / Ф.Б. Черный. – М.: Соврадио, 1972. – 464 с.
12. Barton D.K. Radar System Analysis and Modeling / D.K. Barton. – London, Artech House, 2005. – 547 p.

## References

1. Bakumenko, B.V., Borovij, V.I. and Kovkin, V.V. (2007), "Taktika radiotekhnichnih vijsk: Navchalnij posibnik" [Tactic of radar troops: Train aid], Kharkov University of Air Forces, Kharkiv, 228 p.
2. Zhyvotovskiy, R.M. and Horobets, Yu.O. (2016), "Analiz sposobiv zastosuvannya bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv" [Analysis of application unmanned aircraft systems], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 4(48), pp. 16-21.
3. Alimpiiev, A.M., Vatan, M.I., Tiurin, V.V. and Masiyahin, V.I. (2016), "Rezultaty analizu osnovnykh klasiv bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia otsiniuvannya mozhlivosti yikh spilnoho zastosuvannya z armiiskoiu aviatsiieiu" [The result of analysis of great classes unmanned aircraft for evaluation the opportunity of joint employment with army aviation], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(45), pp. 6-9.
4. Toropchyn, A.I. (2003), "Dovidnyk z protypovitrianoi oborony" [Air Defense Handbook], Kharkov National Air Forces University, Kharkiv, 368 p.
5. Burmistrov, S.K. (2006), "Spravochnik oficera vozdushno-kosmicheskoy oborony" [Handbook of Aerospace Defense Officer], VA VKO, Tver, 564 p.
6. Peterson, A.M. (1985), "Soprovozhdenie celej pod malymi uglami mesta s pomoshyu RLS" [Targets tracking at low angles with radar], VIRTА PVO, Kharkiv, 135 p.
7. Bahvalov, B.N. (1977), "Spravochnye materialy po ocenke vliyaniya realnyh pozicij na zony vidimosti RLS" [References to assess the impact of real positions on the radar visibility zones], VIRTА PVO, Kharkiv, 166 p.
8. Bahvalov, B.N. (1989), "Metodika rascheta i postroeniya s pomoshyu EVM zon obnaruzheniya RLS na poziciyah so slozhnym relefom mestnosti: Metodicheskaya razrabotka" [Method of calculation and construction by computer of radar detection zones on positions with a difficult terrain relief: Methodical development], VIRTА PVO, Kharkiv, 37 p.
9. Bielavin, O.V. (2016), "Eksperymentalno-analitychnyi sposib vyznachennia verkhnoi mezhi zony vyjavlennia povitrianykh ob'ektiv radiolokatsiinykh stantsiiamy v protsesi yikhnoho vyprobuvannia" [Experimental and analytical method for determining the upper limit of the detection area of air objects by radars in the process of testing], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 4(48), pp. 83-87.
10. Klimchenko, V.J. (2016), "Osoblivosti rozrahunku koefitsiyenta vikoristannya radiogorizontu v oglyadovih RLS metrovogo diapazonu hvil" [Features of calculation of coefficient of the use of radiohorizon in the surveillance meter wave range radar], *Weapons and Military Equipment*, No. 4(12), pp. 63-68.
11. Chernyj, F.B. (1972), "Rasprostranenie radiovoln" [Propagation of radio waves], Sovradio, Moscow, 464 p.
12. Barton, D.K. (2005), *Radar System Analysis and Modeling*, Artech House, London, 547 p.

Надійшла до редколегії 06.05.2019

Схвалена до друку 18.06.2019

**Відомості про авторів:****Климченко Василь Йонович**

кандидат технічних наук доцент  
 провідний науковий співробітник  
 Харківського національного університету  
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

**Петрушенко Миколай Миколайович**

доктор технічних наук професор  
 кафедри Військової академії (Одеса),  
 Одеса, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-2490-9572>

**Маляренко Олександр Сергійович**

кандидат технічних наук старший науковий співробітник  
 старший науковий співробітник  
 Харківського національного університету  
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3268-3803>

**Трофимов Іван Миколайович**

кандидат технічних наук старший науковий співробітник  
 Харківського національного університету  
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
 Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-7080-909X>

**Information about the authors:****Vasyl Klimchenko**

Candidate of Technical Sciences  
 Associate Professor Lead Researcher  
 of Ivan Kozhedub Kharkiv  
 National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

**Nikolay Petrushenko**

Doctor of Technical Sciences  
 Professor of the Department of Odessa Military Academy,  
 Odessa, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2490-9572>

**Oleksandr Maliarenko**

Candidate of Technical Sciences Senior Research  
 Senior Research Associate  
 of Ivan Kozhedub Kharkiv  
 National Air Force University  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3268-3803>

**Ivan Trofymov**

Candidate of Sciences Senior Research  
 of Ivan Kozhedub Kharkiv  
 National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-7080-909X>

**Куц Володимир Сергійович**

кандидат технічних наук доцент  
науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9466-8113>

**Volodimir Kuts**

Candidate of Technical Sciences  
Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9466-8113>

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗОН ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ ОБЗОРНЫМИ СРЕДСТВАМИ РАДИОЛОКАЦИИ,  
РАЗВЕРНУТЫМИ НА РЕАЛЬНЫХ ПОЗИЦИЯХ**

В.И. Климченко, Н.Н. Петрушенко, А.С. Маляренко, И.Н. Трофимов, В.С. Куц

*Анализируются известные методики расчета зон обнаружения целей радиолокационными станциями на основе математической модели (аппроксимирующей функции) диаграммы направленности антенны РЛС в угломестной плоскости. Рассматривается комбинированная методика определения зон обнаружения целей, которая совмещает в себе преимущества известных и широко используемых в настоящее время методик. Сущность предложенной методики заключается в сочетании аналитических расчетов с результатами облетов РЛС в период ее испытаний. Учет интерференции прямой и отраженной от подстилающей поверхности радиоволн осуществляется только для тех позиций или отдельных секторов, в которых размер участка, существенного для отражений радиоволн, не превышает дальность до ближайших препятствий, которые создают затемнение (углы закрытия).*

**Ключевые слова:** обзорная радиолокационная станция, зона обнаружения целей, диаграмма направленности антенны, рельеф местности.

**METHOD OF CALCULATION OF DETECTION ZONES OF SURVEILLANCE RADARS,  
WHICH ARE EMPLOYED ON REAL POSITIONS**

V. Klimchenko, M. Petrusenko, O. Maliarenko, I. Trofymov, V. Kuts

*The known methods of radar detection zones calculation on the basis of mathematical model (to the approximating function) of radar elevation direction pattern are analyzed. The known methods of detection zones evaluation determine only potential possibilities of radar and are of the little use for practice from impossibility of account of plenty of casual factors which in one or another measure influence on the results of calculations. More acceptable variant is combination of analytically calculation methods of determination of detection zones with those experimental verifications which were conducted in the process of radar tests. A combined methodology for determining target detection zones is considered, which combines the advantages of currently known and widely used methods. The essence of the proposed method consists in combining analytical calculations with the results of radar check flights during the test period. The interference of the direct and reflected radio waves from the underlying surface is taken into account only for those positions or individual sectors in which the size of the segment that is important for radio wave reflections non exceeds the range to the nearest obstacles that create shading (closing angles). Partial methods of calculation zones during flight of air targets at constant and low altitudes with curvature of terrain are given. The basic part of method in calculating zones during flight of air targets at constant altitude is the solution of a system of two equations, one of which describes the vertical section of the detection zone and the other one – the flight of the target at a constant altitude with refraction. The terrain data in each azimuth direction is used for calculating detecting areas of air targets in flying at low altitudes with curvature of terrain. The azimuth discreteness should be no more than half the width of the bottom in the azimuth plane.*

**Keywords:** surveillance radar, target detection zone, direction pattern, terrain relief.