

УДК 623.618 (623.765.3)

С.Є. Селезньов, О.В. Довбня, О.В. Сісков, С.І. Сімонов

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## **МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДРІЗКА ПОШУКУ ЗЕНІТНИМ РАКЕТНИМ КОМПЛЕКСОМ ПОСТАНОВНИКА АКТИВНИХ ЗАВАД НА ПЕЛЕНГУ**

*Запропоновано метод визначення параметрів відрізка пошуку постановника активних завад на пеленгу зенітним ракетним комплексом при автоматизованому розподілі пеленгів за пеленговою інформацією.*

***Ключові слова:** автоматизована система управління, зенітні ракетні комплекси, протиповітряна оборона, тактико-технічні характеристики.*

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах ведення протиповітряного бою противником широко застосовуються активні завади, що приводить до

суттєвого зменшення ефективності застосування зенітних ракетних комплексів (ЗРК). Тому ураження постановників активних завад (ПАЗ) є пріоритетною задачею.

При веденні бойових дій в умовах застосування активних завад потрібно обирати ЗРК, які за своїми можливостями та положенням здатні викривати та знищувати ПАЗ з найбільшою ймовірністю та з мінімальними втратами вогневих можливостей угруповання.

При автоматизованому розподілу пеленгів в системах управління зенітними ракетними комплексами необхідно розраховувати відрізки пошуку для кожного з ЗРК. Найкращим вважається ЗРК, для якого довжина відрізка пошуку ПАЗ є максимальною, при певних часових обмеженнях на його пошук.

Тому оптимізація параметрів відрізка пошуку постановника активних завад на пеленгу за рахунок врахування гіпотез про параметри руху та тип цілі дозволить збільшити вірогідність отриманих рішень щодо розподілу пеленгів між ЗРК.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Головними особливостями запропонованого методу в порівнянні з відомими [1 – 6] є введення та врахування гіпотези про напрямок та швидкість руху постановника завад, визначення точок початку та закінчення пошуку на пеленгу методом дискретної оптимізації з урахуванням просторових та часових можливостей комплексу.

**Метою статті** є запропонування методу розрахунку оптимальних параметрів відрізка пошуку ПАЗ на пеленгу при автоматизованому розподілі пеленгів в системах управління зенітними ракетними комплексами за пеленговою інформацією.

### Основний матеріал

#### 1. Опис вхідних даних та умов рішення задачі.

Вхідними даними при рішенні задачі розподілу пеленгів на ЗРК є:

а) пеленгова інформація, що надходить від джерела пеленгів:

– координати точки стояння джерела пеленгів ( $X_{ист}$ ,  $Y_{ист}$ ,  $H_{ист}$ );

– тип радіолокаційної станції (РЛС) що видає пеленгову інформацію;

– поточні координати пеленга й швидкості їхньої зміни ( $\beta_{пел}$ ,  $\varepsilon_{пел}$ ,  $V_{\beta}$ );

б) інформація про ЗРК:

– координати точки знаходження ЗРК ( $X_{ЗРК}$ ,  $Y_{ЗРК}$ ,  $H_{ЗРК}$ );

– тип ЗРК.

Розрахунки по пеленгу здійснюються на площині, дотичній до поверхні Землі в точці стояння джерела пеленгової інформації. При обчисленнях відрізка пошуку використовується прямокутна система координат ( $X$  – Північ,  $Z$  – Схід,  $H$  – по радіусу Землі нагору).

Дальня границя відрізка пошуку ПАЗ на лінії пеленга обмежується максимальною дальністю «розкриття» ПАЗ ( $D_{роз\ max}$ ), що для радіолокаторів підсвітлювання та наведення (РПН) або радіолока-

торів підсвітлювання цілі (РПЦ) визначається їх енергетичним потенціалом (рис. 1).

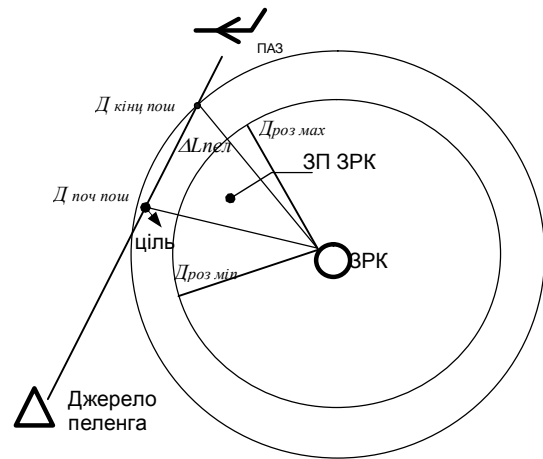


Рис. 1. Відрізок пошуку ПАЗ. Положення ближньої й дальньої точок пошуку

Дальність до ближньої границі пошуку ПАЗ на пеленгу визначається однією із трьох величин:

мінімальною дальністю ( $D_{роз\ min}$ ) виявлення ПАЗ цілі, що забезпечує обстріл;

максимальною дальністю «розкриття» ПАЗ ( $D_{роз\ max}$ ), якщо вона зменшує відрізок пошуку в порівнянні з мінімальною необхідною дальністю виявлення ПАЗ ( $D_{роз\ min}$ );

дальністю «розкриття» випромінюючих ПАЗ джерелом інформації ( $D_{роз\ джер}$ ), якщо вона зменшує відрізок пошуку в порівнянні з першими двома умовами.

2. Розрахунок положення дальньої границі відрізка пошуку ПАЗ. Основною умовою існування відрізка пошуку ПАЗ для даного ЗРК є (рис. 2):

$$D_{роз\ max} > CD, \quad CD = \sqrt{P_{пел}^2 + OB^2 \operatorname{tg}^2 \varepsilon_{пел}},$$

$$P_{пел} = (Z_{ЗРК} - X_{ЗРК} \operatorname{tg} \beta_{пел}) \cos \beta_{пел},$$

$$OB = P_{пел} \operatorname{tg} \beta_{пел} + \sqrt{Z_{ЗРК}^2 + (X_{ЗРК} \operatorname{tg} \beta_{пел})^2}.$$

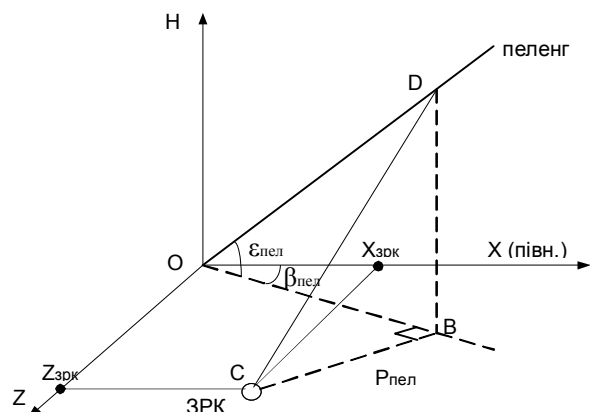


Рис. 2. Визначення параметра пеленга

Положення дальньої границі відрізка пошуку ПАЗ визначається максимальною дальністю «розкрит-

тя» ПАЗ ( $D_{роз\ max}$ ), за умови можливості її обстрілу на висоті практичної стелі польоту, тобто шляхом перевірки виконання умови  $H_{пел} \leq H_{практ\ пот}$ .

З огляду на характеристики літальних апаратів, можна вважати, що  $H_{практ\ пот}$  не перевищує 20000 м.

Якщо  $H_{пел} \leq H_{практ\ пот}$ , то положення точки кінця відрізка пошуку ПАЗ, відповідає положенню точки D на лінії пеленга, інакше при  $H_{пел} > H_{практ\ пот}$ , розраховується положення дальньої границі ділянки пошуку ПАЗ виходячи з можливості обстрілу ПАЗ на висоті практичної стелі його польоту.

Розрахунок дальньої границі відрізка пошуку ПАЗ при не перевищенні практичної стелі польоту літаків (рис. 3) зводиться до визначення положення точки E на лінії пеленга:

$$OE = H_{пел} / \cos \epsilon_{пел}, \quad H_{пел} = EB \cdot \cos(90^\circ - \delta),$$

$$EB = \sqrt{D_{роз\ max}^2 - R_{пел}^2}, \quad \delta = 90^\circ - (\alpha + \epsilon_{пел}),$$

$$\alpha = \arcsin(OB \sin \epsilon_{і\ ає} / EB).$$

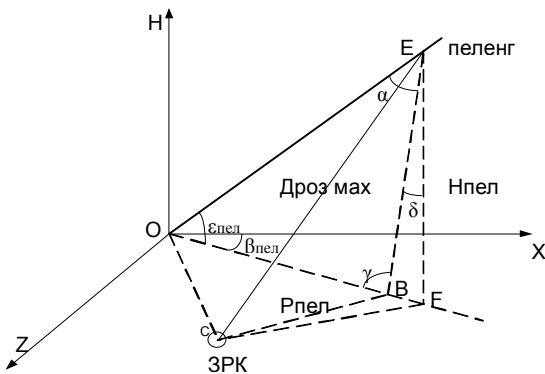


Рис. 3. Розрахунок положення дальньої границі відрізка пошуку ПАЗ при не перевищенні практичної стелі польоту літаків

При перевищенні практичної стелі польоту літаків (рис. 4) розрахунок дальньої границі ділянки пошуку ПАЗ зводиться до визначення положення точки G на лінії пеленга:

$$OG = \frac{GI}{\sin \epsilon_{пел}} = \frac{H_{практ\ пот}}{\sin \epsilon_{пел}}.$$

3. Розрахунок положення ближньої границі відрізка пошуку ПАЗ. На першому етапі розраховується положення ближньої границі відрізка пошуку ПАЗ, для мінімальної дальності  $D_{роз\ min}$  виявлення ПАЗ, при якій забезпечується обстріл цілі.

Для забезпечення максимальної ймовірності виявлення ПАЗ його пошук на лінії пеленга необхідно почати із точки, висота якої відповідає висоті нижньої границі зони ураження ЗРК. Положення точки ближньої границі відрізка пошуку ПАЗ при цьому розраховується наступним чином (рис. 5):

$$OJ = \frac{JK}{\sin \epsilon_{пел}} = \frac{H_{нг\ зу}}{\sin \epsilon_{пел}}.$$

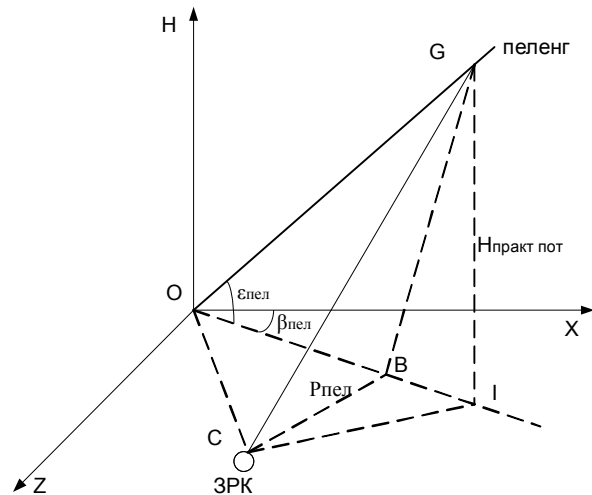


Рис. 4. Розрахунок положення дальньої границі відрізка пошуку ПАЗ при перевищенні практичної стелі польоту літаків

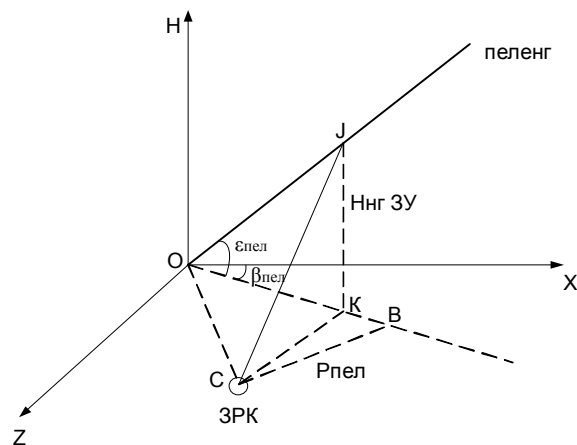


Рис. 5. Розрахунок положення ближньої границі відрізка пошуку ПАЗ

За умови відбору пеленгів що мають додатне значення швидкості обертання в напрямку ЗРК, будемо розглядати найкращий випадок, – ПАЗ рухається під прямим кутом до лінії пеленга, на постійній висоті й з постійною швидкістю польоту.

Визначається можливість обстрілу цілі по параметрах зони ураження ЗРК і часовому балансу (рис. 6):

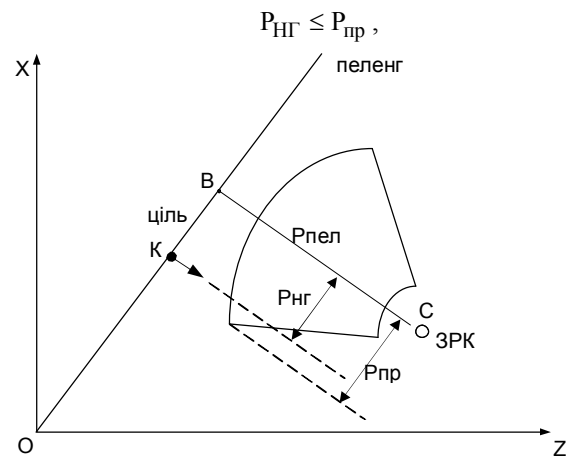


Рис. 6. Перевірка можливості обстрілу цілі по параметрах зони ураження ЗРК

де  $R_{пр}$  – граничний параметр зони ураження ЗРК на висоті нижньої границі;  $R_{НГ}$  – параметр ПАЗ, що рухається під прямим кутом до лінії пеленга на висоті нижньої границі зони ураження.

Виходячи з рис. 5 параметр ПАЗ розраховується:

$$R_{НГ} = KB = OB - OJ \cdot \cos \varepsilon_{пел}.$$

Якщо  $R_{НГ} > R_{пр}$ , то знаходиться точка перетинання лінії пеленга з вертикальним перерізом зони ураження ЗРК, при цьому вертикальний переріз зони ураження будується методом лінійно-кусочної апроксимації за даними тактико-технічних властивостей ЗРК (рис. 7).

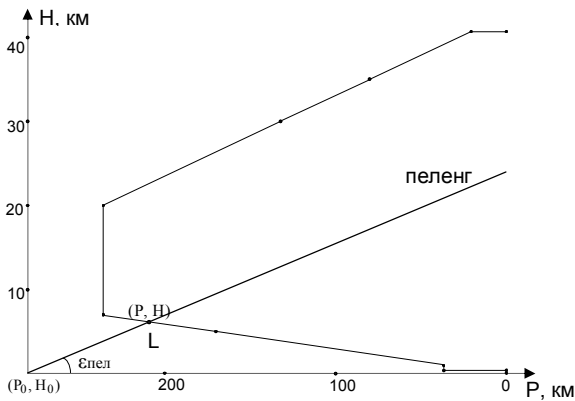


Рис. 7. Визначення точки перетинання лінії пеленга із зоною ураження ЗРК

Якщо точки перетинання з лініями апроксимації зони ураження не знайдено, то відрізка пошуку ПАЗ для даного ЗРК не існує. Такий ЗРК в подальшому не розглядається для обстрілу цього пеленга.

Якщо точка перетинання існує (точка з координатами  $(P, H)$ ), що знаходиться шляхом рішення системи рівнянь – точка  $L$  на лінії пеленга задовольняє умовам обстрілу цілі по параметрах зони ураження ЗРК. Визначається можливість обстрілу цілі ЗРК по часовому балансу.

Для перевірки можливості обстрілу цілі по часовому балансу проводиться розрахунок підльотного часу цілі до ближньої границі зони ураження ЗРК ( $D_{бг зу}$ ) [1]. Відстань  $MN = D_{бг зу}$  визначається за даними тактико-технічних властивостей ЗРК для заданої висоти польоту цілі –  $H_{ц}$  (висота точки початку пошуку) (рис. 8).

Значення  $V_{ц}$  визначається льотно-технічними характеристиками ПАЗ. З огляду на те, швидкість польоту пілотованих літаків, при збереженні їхньої маневреності в польоті на малих висотах, лежить у межах 0,9M, а спеціалізовані безпілотні літальні апарати (БЛА) діють на висотах 15000 м і більше, можна вважати, що для гранично малих, малих і середніх висот ( $H_{ц} < 4000$  м)  $V_{ц} = 900$  км/год.

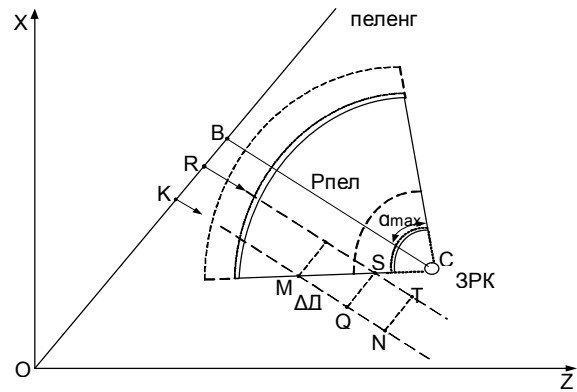


Рис. 8. Визначення положення точки початку ділянки пошуку ПАЗ

Тоді:  $KM = BC - MN = R_{пел} - D_{бг зу}$ ,

$$T_{подл БГ} = KM / V_{ц}.$$

Для більших і стратосферних висот ( $H_{ц} \geq 4000$  м)  $V_{ц} = 2350$  км/год. Якщо  $T_{подл БГ} \geq T_{ц мин}$ , то обстріл цілі по часовому балансу є можливим. Якщо  $T_{подл БГ} < T_{ц мин}$ , то:

1) визначається необхідний часовий запас для забезпечення обстрілу цілі;

$$\Delta T = T_{ц мин} - T_{подл БГ},$$

2) розраховується час циклу стрільби для нульового параметра польоту цілі –  $T_{мин}$  [1, 5]. Якщо  $T_{ц мин} + \Delta T > T_{мин}$ , то ділянки пошуку ПАЗ для даного ЗРК не існує. Якщо  $T_{ц мин} + \Delta T \leq T_{мин}$ , то:

3) розраховується необхідне збільшення глибини зони ураження:

$$\Delta D = \Delta T \cdot V_{ц},$$

4) визначається положення точки початку ділянки пошуку на лінії пеленга при виявленні цілі, у якій, забезпечується необхідний часовий баланс;

Визначається величина зсуву точки початку пошуку на лінії пеленга:  $KR = QS = \Delta \ddot{A} / \text{tg } q_{max}$ , де  $q_{max}$  – максимальний курсовий кут зони ураження ЗРК. Розраховується висота цілі в точці початку пошуку:  $H_{ц} = OR \cdot \text{tg } \varepsilon_{пел}$ . Для даної висоти цілі по таблицях визначається видалення до ближньої границі зони ураження ЗРК.

Якщо (рис. 8):

$$ST = QN = KN - KQ = KN - (KM + \Delta D) \geq D_{бг зу},$$

то точка на лінії пеленга (точка  $U$ ), що проектується в точці  $R$  є початок ділянки пошуку ПАЗ:

$$OU = H_0 / \sin \varepsilon_{пел}.$$

В іншому випадку ділянки пошуку ПАЗ для даного ЗРК не існує.

На другому етапі розраховується положення ближньої границі відрізка пошуку ПАЗ для максимальної дальності «розкриття» ПАЗ  $D_{роз max}$ , якщо вона зменшує відрізок пошуку в порівнянні з міні-

мальною необхідною дальністю виявлення ПАЗ  $D_{роз\ min}$ . Розрахунок здійснюється аналогічно як для  $D_{роз\ max}$ . Якщо точка зменшує відрізок пошуку вона приймається за початок ділянки пошуку ПАЗ.

На третьому етапі розраховується положення ближньої границі відрізка пошуку ПАЗ обумовлене дальністю «розкриття» випромінюючих ПАЗ джерелом інформації  $D_{роз\ джер}$  (якщо вона зменшує відрізок пошуку в порівнянні з першими двома умовами). Розраховується віддалення до дальньої границі зони виявлення РЛС – джерела пеленга на лінії пеленга. Для визначення точки перетинання вертикальний переріз зони виявлення РЛС ставиться в точку початку координат (рис. 9).

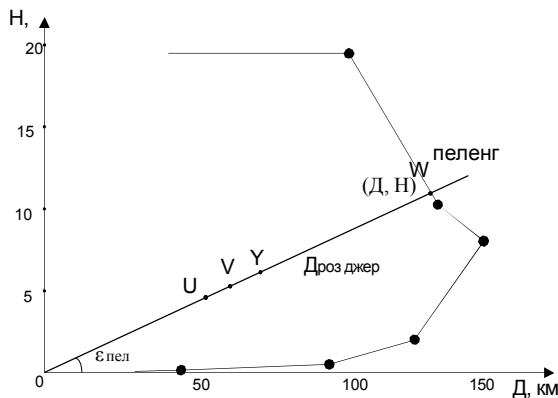


Рис. 9. Визначення точки перетинання лінії пеленга із зоною виявлення РЛС

Для побудови апроксимованої зони виявлення РЛС використовуються вихідні дані тактико-технічних характеристик РЛС (рис. 10).

Якщо точка перетинання існує (точка з координатами  $(H, D)$ ), що знаходиться шляхом рішення системи рівнянь – точка  $W$  на лінії пеленга відповідає положенню дальньої границі зони виявлення РЛС.

Розраховується похила дальність до дальньої границі зони виявлення РЛС на лінії пеленга:

$$OW = \sqrt{H^2 + D^2}.$$

Визначається дальність «розкриття» випромінюючих ПАЗ джерелом інформації –  $D_{роз\ джер}$ :

$$D_{роз\ джер} = OW = \frac{OW}{K_{сж}},$$

де,  $K_{сж}$  – коефіцієнт стиску зони виявлення РЛС, розрахований по еквівалентному джерелу активної перешкоди.

Якщо точка зменшує відрізок пошуку вона приймається за початок ділянки пошуку ПАЗ.

## Висновки

Таким чином, за рахунок врахування можливостей ЗРК, можливостей РЛС щодо викриття постановника завад при розрахунку параметрів відрізка пошуку на лінії пеленгу дає оптимальні значення довжини та часу пошуку ПАЗ. Розглядання тільки тих відрізків, де ЗРК зможе обстріляти ціль дозволить оптимізувати план при автоматизованому розподілу пеленгів та поставці задачі ЗРК.

## Список літератури

1. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитними ракетами. 3-е изд. перераб. и доп. / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1991. – 343 с.
2. Зенитные ракетные комплексы ПВО Сухопутных войск. Ч. 1 // Техника и вооружение: вчера, сегодня, завтра. – 2003. – № 6. – С. 12-14.
3. Ганин С.М. Зенитная ракетная система С300. Приложение к военно-техническому сборнику / С.М. Ганин, А.В. Карпенко. – Санкт-Петербург: Невский Бастин, 2001. – 72 с.
4. Василин Н.Я. Зенитные ракетные комплексы. Справочное издание / Н.Я. Василин, А.Л. Гуринович. – Минск: Издательство "Белорусский Дом печати", 2001. – 464 с.
5. Мальгин А.С. Управление огнем зенитных ракетных комплексов. 2-е изд., прераб. и доп. / А.С. Мальгин. – М.: Воениздат, 1987. – 221 с.
6. Сайт ПВО [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до джерела: <http://pvo.guns.ru>.

Надійшла до редколегії 22.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТРЕЗКА ПОИСКА ЗЕНИТНЫМ РАКЕТНЫМ КОМПЛЕКСОМ ПОСТАНОВЩИКА АКТИВНЫХ ПОМЕХ НА ПЕЛЕНГЕ

С.Е. Селезнев, А.В. Довбня, А.В. Сисков, С.И. Симонов

Предложен метод определения параметров отрезка поиска постановщика активных помех на пеленге зенитным ракетным комплексом при автоматизированном распределении пеленгов по пеленговой информации.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, зенитные ракетные комплексы, противовоздушная оборона, тактико-технические характеристики.

## A METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF SEGMENT OF SEARCH OF JAMMER ON THE LINE OF BEARING FOR AIR DEFENSE MISSILE SYSTEM

S.E. Seleznev, A.V. Dovbnya, A.V. Siskov, S.I. Simonov

A method for determining the parameters of segment of search of jammer on the line of bearing for air defense missile system by automated distribution of information of bearing.

**Keywords:** the automated control system, SAM systems, anti-aircraft defense, tactical-technical characteristics.