

УДК 621.391

А.А. Гризо, В.В. Ковкін, І.М. Невмержицький

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ІМОВІРНОСТІ УРАЖЕННЯ НАЗЕМНОЇ ОГЛЯДОВОЇ РЛС ПРОТИРАДІОЛОКАЦІЙНОЮ РАКЕТОЮ

Стаття присвячена проблемі захисту оглядової РЛС від протирадіолокаційних ракет. Наведено методику розрахунку імовірності поразки одиночної РЛС протирадіолокаційною ракетою. Методика враховує особливості бойового застосування протирадіолокаційних ракет та вражаючі фактори їх бойових частин. Отримані оцінки імовірності ураження оглядової РЛС протирадіолокаційними ракетами різних типів. Розглянуто ефективність загальноприйнятих методів захисту РЛС. Наведено практичні рекомендації щодо реалізації заходів захисту засобів радіолокації від протирадіолокаційних ракет.

**Ключові слова:** протирадіолокаційні ракети, захист РЛС, вражаючі фактори

### Вступ

**Аналіз літератури та постановка проблеми.** Досвід воєнних конфліктів останнього часу свідчить про те, що перевага у повітрі будь-якої із сторін не може бути завойована без суттєвого зниження бойових можливостей угруповання протиповітряної оборони (ППО) противника. Для цього широко застосовується вогневе ураження об'єктів ППО, в тому числі оглядових РЛС, за допомогою протирадіолокаційних ракет (ПРР) [1 – 4].

У роботах [2 – 4] наведено характеристики сучасних ПРР та оцінено дію вражаючих факторів на РЛС, але для проведення розрахунків зручніше використовувати узагальнений показник, який враховує як характеристики бойової частини так і системи наведення ПРР.

Пропонується в якості такого показника використовувати імовірність ураження цілі – РЛС при однократному пуску ПРР по ній.

**Мета статті** – вдосконалити методику розрахунку імовірності поразки оглядової РЛС одною ПРР за рахунок урахування помилок наведення ПРР при різних режимах роботи системи наведення.

### Виклад основного матеріалу

Викладемо методику розрахунку імовірності ураження на прикладі оглядової РЛС типу 19Ж6, по якій застосовується ПРР типу HARM.

Імовірність поразки цілі однією ракетою  $R_1$ , як правило, зводиться до усереднення умовної ймовірності поразки цілі  $G_\rho$ , за всіма можливими значеннями помилок наведення (величини промаху  $\rho$ ) із урахуванням їх імовірності  $f_\rho$ :

$$R_1 = \int_0^{\infty} G_\rho \cdot f_\rho \, d\rho, \quad (1)$$

Далі послідовно розглянемо співмножники, які входять в підінтегральний вираз в (1).

### 1. Умовна імовірність поразки цілі $G_\rho$

Розглянемо перший співмножник у виразу (1). Умовна імовірність поразки цілі  $G_\rho$  є узагальненою спільною характеристикою ураження даної цілі й ефективності бойової частини ракети даного типу. Для ракет з бойовою частиною осколкового типу імовірність поразки залежить також від швидкості ракети й щільності повітря в точці підриву.

У роботах [4, 5] докладніше розглянута дія факторів ураження, тому для подальшого розгляду наведемо лише кінцеві положення.

При визначенні умовної імовірності поразки цілі будемо вважати, що поразка завдається за рахунок механічної дії осколків, тому що радіус поразки осколками значно перевищує радіус поразки за рахунок дії інших факторів (ударна хвиля й т.д.) [4].

Ціль – РЛС 19Ж6 представляє собою ціль без накопичення втрат між агрегатами, тобто виходить із ладу за рахунок поразки одного з її уразливих агрегатів одним осколком. Під поразкою цілі будемо розуміти нездатність її вести розвідку повітряного простору й видавати радіолокаційну інформацію споживачам. Таким чином:

$$G_\rho = 1 - \exp\left(-\sum_{i=1}^K \bar{m}_i \rho \cdot p_{i1} \rho\right), \quad (2)$$

де  $K$  – кількість агрегатів;

$\rho$  – відстань від цілі до точки підриву бойової частини;

$\bar{m}_i \rho$  – математичне очікування числа осколків які потрапили в  $i$ -й агрегат при підриві бойової частини в точці  $\rho$ ;

$p_{i1} \rho$  – імовірність поразки  $i$ -го агрегату одним осколком залежно від відстані  $\rho$  до точки підриву бойової частини ракети від РЛС.

Розглянемо ці співмножники [6, 7].

**1.1. Математичне очікування числа осколків, що потрапили в РЛС при підриві бойової частини в**

точці  $\rho$  ( $\bar{m}_i \rho$ ), розрахуємо за формулою (індекс  $i$  для спрощення запису опущений):

$$\bar{m}_i \rho = \frac{N \cdot S}{2 \cdot \pi^{3/2} \cdot \rho^2 \cdot \sigma_{\phi, \text{відн}} \cdot \sin \phi} \cdot e^{-\frac{\phi - m_{\phi, \text{відн}}}{2 \cdot \sigma_{\phi, \text{відн}}^2}}, \quad (3)$$

де  $\rho$  – відстань від цілі до точки підриву;

$\phi_p$  – кут спрацьовування лазерного зривника;

$m_{\phi, \text{відн}}$  – математичне очікування напрямку розльоту осколків у відносному русі (щодо вектора швидкості ракети);

$\sigma_{\phi, \text{відн}}$  – середньоквадратичне відхилення напрямку розльоту осколків у відносному русі;

$N$  – загальне число осколків, що утворюються при підриві бойової частини ракети;

$S$  – площа проекції РЛС на площину, перпендикулярну середньому вектору швидкості осколків, що летять у напрямку на РЛС.

### 1.2. Імовірність поразки агрегатів цілі одним осколком $P_{i1} \rho$ .

Виділяють три основних види вражаючої дії осколків:

- пробивна або механічна дія;
- запальна дія;
- ініціююча дія.

Механічні uszkodження, нанесені осколками агрегатам РЛС, є основною причиною, що приводе до поразки цілі.

З урахуванням викладеного, будемо вважати,  $P_{i1} \rho = P_{i1m} \rho$ , де  $P_{i1m} \rho$  – імовірність поразки  $i$ -го агрегату механічною дією осколка при підриві бойової частини на відстані  $\rho$  від цілі-РЛС.

Для більш повного розуміння фізичної суті наступних розрахунків визначимо імовірність поразки  $i$ -го агрегату РЛС механічною дією осколка, що має вагу  $q$  і швидкість зустрічі  $v$ .

Для нанесення осколком вражаючого uszkodження агрегату РЛС, повинні відбутися такі дві події:

- осколок пробиває екрануючі перешкоди і здатний утворити вражаюче uszkodження хоча б в одному уразливому елементі агрегату;
- осколок попадає в уразливі елементи агрегату.

Позначимо ймовірність пробиття екрана й утворення вражаючого uszkodження хоча б в одному уразливому елементі через  $\Theta_{iM} q, v$ , а ймовірність влучення осколка в уразливі елементи агрегату через  $\Theta_y$ , отримаємо

$$P_{i1m} q, v = \Theta_{iM} q, v \cdot \Theta_y, \quad (4)$$

Беручи до уваги компоновку апаратури РЛС 19Ж6 (рис. 1), кабельного й фідерного господарства

в РЛС далі приймемо  $\Theta_y = 1$ , з урахуванням цього з (4) одержимо:

$$P_{i1m} q, v = \Theta_{iM} q, v, \quad (5)$$

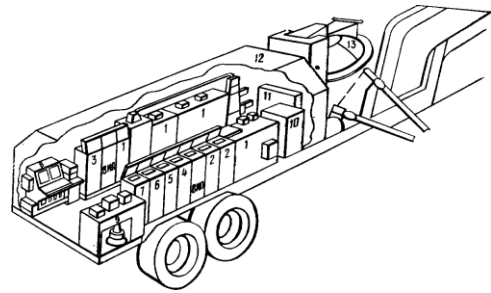


Рис. 1. Компоновка агрегатів у РЛС 19Ж6

### 1.3 Імовірність поразки агрегату за рахунок механічних uszkodжень $\Theta_{iM} q, v$ визначається за емпіричною формулою:

$$\Theta_{iM} q, v = \begin{cases} 0, & \text{при } E_h < 4,5; \\ 1 + 2,65 \cdot e^{-0,34 E_h} - 2,96 \cdot e^{-0,14 E_h}, & \text{при } E_h \geq 4,5 \end{cases}, \quad (6)$$

Імовірність  $\Theta_{iM} q, v$  залежить від частки  $E_h = \bar{E}_{уд} / h_d$ , де  $\bar{E}_{уд} = \frac{E_{уд}}{S}$  середня кінетична енергія осколка, що припадає на одиницю площі зіткнення, в свою чергу  $\bar{S} = 0,5 \cdot q^{2/3}$  – середня площа зіткнення осколка вагою  $q$  (у грамах) з перешкодою;

$E_{уд} = \frac{q \cdot v^2}{2 \cdot g}$  кінетична енергія осколка при зіткненні його з перешкодою ( $g$  – прискорення вільного падіння,  $v$  – швидкість зустрічі осколка з перешкодою в м/с).

Міцність і товщина перешкоди характеризується так званим дюралевим (іноді користуються сталевим) еквівалентом. Дюралевим еквівалентом перешкоди  $h_d$  називається товщина пластинки з дюралюмінію еквівалентній перешкоді з іншого матеріалу. З урахуванням конструкції стінок причепа, шаф, блоків і розміщення силових конструкцій для РЛС 19Ж6 приймемо  $h_d = 10,0$  мм.

Таким чином, остаточно маємо

$$E_h = 1,02 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{q^{1/3} \cdot v^2}{h_d}, \quad (7)$$

Швидкість осколка в момент зустрічі з перешкодою (на видаленні  $\rho$  від точки розриву)  $v$ , що входить до (9) можна розрахувати, скориставшись співвідношенням (відносна щільність повітря на рівні поверхні прийнята за 1, закон опору повітря квадратичний):

$$v = v_0 \cdot \exp -0,0374 \cdot q^{-1/3} \cdot \rho, \quad (8)$$

де  $v_0$  – швидкість осколка в момент розриву бойової частини;

$q$  – маса осколка.

Швидкість розльоту осколків у момент вибуху бойової частини можна визначити, скориставшись емпіричною формулою:

$$v_0 = K \cdot \left( \frac{m_{\text{обол}}}{m_{\text{ВР}}} + 0,5 \right)^{1/2}, \quad (9)$$

де  $K$  – експериментально обумовлена константа залежна від типу вибухової речовини й конструкції бойової частини (звичайно перебуває в діапазоні 2,5...2,8 км/с);

$m_{\text{обол}}$  – маса оболонки бойової частини;

$m_{\text{ВР}}$  – маса заряду вибухової речовини.

## 2. Закон розподілу помилок наведення $f \rho$

Відхилення траєкторії ракети від цілі в картинній площині ( $x, y$ ) відбувається внаслідок дії великої кількості факторів під час польоту ракети.

Такі допущення дозволяють перейти від двовимірному нормального закону розподілу помилок до кругового і далі до розподілу промахів. У результаті одержуємо розподіл Релея-Райса:

$$f \rho = \frac{\rho}{\sigma^2} \cdot \exp \left( -\frac{\rho^2 + m^2}{2 \cdot \sigma^2} \right) \cdot I_0 \left( \frac{\rho \cdot m}{\sigma^2} \right), \quad (10)$$

де  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$  – часткове значення радіального відхилення траєкторії ракети від цілі в картинній площині (промаху);

$m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$  – відстань між цілю і середньою траєкторією ракет у картинній площині (математичне очікування сумарної помилки наведення);

$\sigma^2$  – дисперсія сумарної помилки наведення, приблизно береться у вигляді середнього геометричного з дисперсій  $\sigma_x^2, \sigma_y^2$ ,  $\sigma^2 = \sigma_x \cdot \sigma_y$ , або у вигляді середнього арифметичного  $\sigma^2 = \frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}$ ;

$I_0 t$  – циліндрична функція (функція Бесселя) першого роду нульового порядку від чисто мнимого аргументу.

Таким чином, запропонована методика дозволяє розрахувати ймовірність поразки одиночної РЛС однією протирадіолокаційною ракетою. У якості вхідних даних використовуються показники, що характеризують точність системи наведення ПРП (математичне очікування й дисперсія сумарної помилки наведення), тип бойової частини (кількість і швидкість розльоту осколків), стійкість РЛС до

впливу вражаючих факторів (товщина дюралевого еквівалента, площа проекції елементів які вражаються у РЛС).

З використанням наведеної методики було отримано (рис. 2) залежність імовірності поразки РЛС однією ракетою R1 від величини середньоквадратичного відхилення (СКВ,  $\sigma$ ) ПРП.

Криві 1, 2 побудовані для осколково-фугасної бойової частини з рубчатою оболонкою, маса ВР 66 кг і 20 кг, відповідно, така бойова частина при підриві забезпечує біля 100...300 осколків масою 10...30 грам. Криві 3, 4 побудовані для ПРП із осколково-фугасною бойовою частиною з готовими осколковими елементами (біля 12500, вагою 3 – 5 грам), крива 4 відповідає масі вибухової речовини (ВР) 66 кг (HARM), крива 3 – 20 кг ВР («Армигер»).

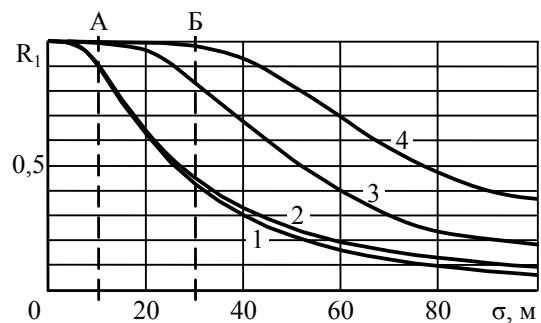


Рис. 2. Імовірність ураження цілі однією ракетою для різних типів БЧ

При розрахунках передбачалося, що сумарна помилка наведення ПРП не має систематичної складової, розподіл промахів описується законом Релея, гарантується спрацювання зривника (або дистанційного, або контактного при зустрічі з ціллю або поверхнею при промаху). Передбачається, що РЛС виводиться з ладу механічним ушкодженням агрегатів осколками.

Криві 1, 2 досить ілюстративні, при СКВ менш 40 м криві практично не відрізняються одна від одної, це пояснюється тим, що навіть при меншій масі ВР (завдяки збільшеній масі осколка, навіть при меншій швидкості розльоту) забезпечується висока пробивна здатність окремого осколка при влученні в цілі. Розходження при СКВ більш 40 м пояснюється зниженням числа осколків, що можуть влучити у цілі при розльоті та зниження пробивної здатності завдяки гальмуванню повітрям.

При використанні осколково-фугасної бойової частини з готовими елементами масою близько 3 – 5 грам, залежність імовірності поразки цілі від маси ВР (швидкості розльоту осколків), значно більше відчутна.

Однак, при великій кількості вражаючих елементів (більше 12000) і СКВ наведення ПРП до 20 м, вага ВР практично не впливає на результат, забезпечується фактично гарантована поразка цілі. З ростом

величини промаху, також, знижується пробивна дія окремого осколка внаслідок гальмування об повітря.

Розглянемо дві характерні ситуації.

А: РЛС веде розвідку повітряного простору, ні яких мір по захисту від ПРР не приймається.

За таких умов ГСН ПРР працює у режимі самонаведення, який забезпечує точність влучення до 10 метрів (область ліворуч від лінії А на рис. 2), імовірність ураження РЛС становить 0,9 – 0,99.

Б: РЛС веде розвідку повітряного простору, але при виявленні ПРР її випромінювання вимикається. За таких умов ГСН ПРР переходить до режиму наведення з використанням інерційної системи. Цей режим забезпечує точності влучення до 30 метрів, (область ліворуч від лінії Б на рис. 2), імовірність ураження РЛС для сучасної ПРР (криві 3, 4) сягає 0,9...0,8. Для застарілих ПРР з бойовою частиною рубчастого типу імовірність поразки знижується більш суттєво – до 0,4. Ці результати фактично підтверджуються даними по використанню ПРР у В'єтнамі коли вимкнення випромінювання РЛС приводило до зриву самонаведення та у ПРР використовувалася бойова частина застарілого типу.

### Висновки

1. Викладена методика розрахунку імовірності поразки оглядової РЛС одною ПРР дозволяє врахувати помилки наведення ПРР при різних режимах роботи системи наведення.

2. Отримані результати свідчать, що відсутність спеціальних заходів захисту РЛС від сучасних ПРР оснащених комбінованою системою наведення та бойовою частиною з готовими осколковими елементами приводить практично до гарантованої поразки РЛС.

3. При розташуванні РЛС підрозділу на місцевості з метою запобігання ураження декількох РЛС

однією ракетою необхідно забезпечити відстань між РЛС біля 100 – 200 м.

4. При інженерному обладнанні позиції слід доцільно розміщувати кабельне господарство в захищених (бетонних) жолобах та розміщувати апаратні причепи у укриттях заглибленого типу (капонірах). Проведення таких заходів дозволить знизити вражаючу дію ПРР.

### Список літератури

1. Ямпольский Л.С. *Обобщенный анализ применения средств воздушного нападения ОВС НАТО при проведении военной операции в Югославии «Решительная сила» и в других локальных войнах в 90-х годах: учеб. пособие / Л.С. Ямпольский.* – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 80 с.

2. *Боевое применение противорадиолокационных ракет класса "воздух-земля" Г. Горчица, Л. Локарев. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа к источнику: <http://www.interlibrary.narod.ru>.*

3. Гризо А.А. *Аналіз стану й перспектив засобів вогневого ураження РЛС РТВ / А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, В.М. Купрій, П.В. Пантус // Системи обробки інформації.* – 2009. – № 1 (75). – С. 33-38.

4. Ковкін В.В. *Оцінка дії вражаючих факторів протирадіолокаційних ракет на РЛС / В.В. Ковкін, А.А. Гризо // Системи озброєння і військова техніка.* – Х.: ХУПС, 2009. – № 1 (17). – С. 102-105.

5. Балаганский И.А. *Действие средств поражения и боеприпасов: учебник / И.А. Балаганский, Л.А. Мерзжневский.* – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 408 с.

6. Гладков Д.И. *Боевая авиационная техника / Д.И. Гладков, В.М. Балувев и др.* – М.: Воениздат, 1987. – 279 с.

7. Неупокоев Ф.К. *Стрельба зенитными ракетами / Ф.К. Неупокоев.* – М.: Воениздат. 1991. – 343 с.

Надійшла до редколегії 20.07.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. Р.Е. Пашенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ НАЗЕМНОЙ ОБЗОРНОЙ РЛС ПРОТИВОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАКЕТОЙ

А.А. Грызо, В.В. Ковкин, И.М. Невмержицкий

*Статья посвящена проблеме защиты РЛС от противорадиолокационных ракет. Приведено методику расчета вероятности поражения одиночной РЛС противорадиолокационной ракетой. Методика учитывает особенности боевого применения противорадиолокационных ракет и поражающие факторы их боевых частей. Получены оценки вероятности поражения обзорной РЛС противорадиолокационными ракетами разных типов. Рассмотрена эффективность общепринятых методов защиты РЛС. Приведены практические рекомендации по реализации мер защиты средств радиолокации от противорадиолокационных ракет.*

**Ключевые слова:** противорадиолокационные ракеты, защита РЛС, поражающие факторы.

### METHODS OF THE CALCULATION PROBABILITY OF THE DEFEAT GROUND-BASED SURVEILLANCE RADAR BY ANTI-RADIATION MISSILE

A.A. Grizo, V.V. Kovkin, I.M. Nevmergicky

*The article is devoted the problem of radar protecting from Anti-Radiation Missile. The methods of the calculation probability of the defeat surveillance radar by Anti-Radiation Missile is given. The methods takes into account the particularities using the Anti-Radiation Missile and defeat action of Anti-Radiation Missile warhead. The estimations probability of the defeat surveillance radar by different types of Anti-Radiation Missile are conducted. The efficiency of common methods of protection radar is considered. Practical refernces by implementations of measures radar protection are developed.*

**Keywords:** Anti-Radiation Missile, protecting radar, striking factors.