

УДК 621.391

А.А. Гризо, С.М. Ковалевський, І.М. Невмержицький, С.В. Бровченко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ УРАЖЕННЯ НАЗЕМНОЇ ОГЛЯДОВОЇ РЛС ПРОТИРАДІОЛОКАЦІЙНИМИ РАКЕТАМИ, З УРАХУВАННЯМ НАКОПИЧЕННЯ ВТРАТ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ

Стаття присвячена проблемі захисту оглядових РЛС від протирадіолокаційних ракет. Наведено методику розрахунку ймовірності поразки одиночної РЛС, що захищена системою випромінювачів-пасток, серією протирадіолокаційних ракет. Запропонована методика, враховує накопичення втрат, а саме те, що умови самонаведення кожної наступної ПРР будуть змінюватися. Якщо за попереднім пуском РЛС не буде знищено, то, ймовірно, буде знищено випромінювач-пастку. Ймовірність поразки РЛС для наступної ракети зростає. Отримано оцінки ймовірності ураження оглядової РЛС при різній кількості послідовних пусків, ймовірності знищення випромінювачів-пасток та їх кількості. Запропоновано варіант елементної бази яку можливо використати для побудови підсилювачів випромінювачів-пасток, розглянута можливість використання, у якості хибних цілей, перевідбивачів зондуючого сигналу. Наведено практичні рекомендації щодо реалізації заходів захисту засобів радіолокації від протирадіолокаційних ракет.

**Ключові слова:** протирадіолокаційні ракети, захист РЛС, випромінювачі-пастки.

### Вступ

**Аналіз літератури та постановка проблеми.** Військове командування ВПС США, проаналізувавши підсумки останніх військових кампаній, вирішило перейти від концепції тимчасового придушення системи ППО противника до концепції повного вогневого знищення системи ППО за допомогою високоточної зброї. У якості такої зброї, стосовно наземних оглядових РЛС (РЛС що входять до угруповання РТВ), в першу чергу розглядаються протирадіолокаційні ракети (ПРР) [1...4].

Слід зазначити, що в останній час спостерігається тенденція розширення діапазону цілей вже існуючих засобів та пристосування до рішення задач вогневого ураження РЛС носіїв які раніше не розглядалися як ударні (хибні цілі MALD-J, розвідувальні БПЛА, ТКР) [1]. Збагачуються тактичні прийоми використання ПРР, наприклад, противник з метою гарантованої поразки РЛС може використати серію з декількох ПРР, запускаючи їх з одного, або декількох напрямів [1, 2]

У роботах [2 – 4] наведено характеристики сучасних ПРР та оцінено дію уражаючих факторів на РЛС, у [4] запропоновано методику визначення узагальненого показника ефективності ПРР, який, крім характеристик бойової частини та системи наведення ПРР, враховує наявність випромінювачів - пасток. В якості такого показника використовується ймовірність ураження цілі – РЛС при однократному пуску ПРР по ній.

До недоліку запропонованого підходу слід віднести неврахування накопичення втрат. Дійсно, при захисті РЛС шляхом використання декількох випромінювачів – пасток умови самонаведення кожної наступної ПРР будуть змінюватися. Якщо ПРР не

знищить РЛС, то можливо вона знищить випромінювач – пастку, тому ймовірність поразки РЛС для кожної наступної ПРР зростає.

**Мета статті** – вдосконалити методику розрахунку ймовірності поразки оглядової РЛС за рахунок врахування накопичення втрат при використанні декількох ПРР.

### Виклад основного матеріалу

Ймовірність ураження цілі одною 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 ймовірності  $f(\rho)$  [4, 5]:

$$R_1 = \int_0^{\infty} G(\rho) \cdot f(\rho) d\rho. \quad (1)$$

Умовна ймовірність поразки цілі  $G(\rho)$  є узагальненою спільною характеристикою ураження даної цілі та ефективності бойової частини ракети даного типу. Співмножник  $f(\rho)$  описує закон розподілу помилок наведення.

Враховуючи те, що відхилення траєкторії ракети від цілі в картинній площині (x, y) обумовлено дією великої кількості факторів, традиційно переходять до розподілу промахів (розподіл Релея-Райса):

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

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 ціллю 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 уявного аргументу.

З використанням запропонованої методики у [4, 6] оцінено ефективність захисту РЛС шляхом зміщення точки самонаведення ПРП за рахунок використання системи випромінювачів-пасток.

Модифікуємо запропоновану методику з урахуванням накопичення втрат.

Будемо вважати, що для захисту однієї РЛС використовується  $k$ -випромінювачів пасток.

Ймовірність ураження одного з вказаних об'єктів однією протирадіолокаційною ракетою  $R_1$  визначається формулою (1).

Будемо вважати, що об'єкт – РЛС 19Ж6 або випромінювач-пастка, представляє собою об'єкт без накопичення втрат між агрегатами, тобто виходить із ладу за рахунок поразки хоча б одного з її уразливих агрегатів одним осколком. Під поразкою будемо розуміти нездатність вести розвідку повітряного простору й видавати радіолокаційну інформацію споживачам або випромінювати НВЧ сигнал у простір.

Введемо позначення:

$P_i (P_x)$  – вірогідність того, що ПРП наводиться на істинний (хибний) об'єкт при наявності  $k$  – хибних об'єктів.  $R_i (R_x)$  – вірогідність поразки істинного (хибного) об'єкту, за умови, що ПРП наводилася на нього.  $W (Q)$  – повна вірогідність поразки істинного (хибного) об'єкту.

Будемо вважати, що кожна ракета наводиться на один з об'єктів (істинний або хибний) та в будь-якому випадку відбувається підлив боєприпасу (у разі не спрацювання основного, при зіткненні з землею спрацює контактний).

Будемо вважати, що РЛС не припиняє випромінювання при виявленні пуску ПРП (дискретність видачі інформації залишається незмінною), хибний об'єкт, як об'єкт наведення, за параметрами не відрізняються від істинного (вважаємо, що наведення відбуваються за сигналами, що випромінюються бічними пелюстками основної антени РЛС). Об'єкти розташовано таким чином, що виключається одночасна поразка двох та більше.

Таким чином, ймовірність події ( $P_n$ ), що полягає у наведенні ПРП на один з  $k$  хибних або на один істинний об'єкт однакова та дорівнює:

$$P_n(k) = P_i = P_x = 1/(k+1). \quad (3)$$

Ймовірність поразки істинного (хибного)

об'єкту за умови, що ПРП наводилася на нього, розраховується як (1) за методикою викладеною у [4].

Розглянемо випадок одного істинного та одного хибного об'єкту.

Ймовірність ураження істинного об'єкту першою ПРП, з урахуванням (3)  $W_1^{k=1} = P_i(k) \cdot R_i$ , хибного –  $Q_1^{k=1} = (1 - P_i(k)) \cdot R_x$

Ймовірність ураження другою ПРП залежить від результату використання першої ПРП та зводиться до повної системи з чотирьох подій:

$H_1$  – ракета наводилася на істинний об'єкт, але не уразила його.

$H_2$  – ракета наводилася на істинний об'єкт та уразила його.

$H_3$  – ракета наводилася на хибний об'єкт, але не уразила його.

$H_4$  – ракета наводилася на хибний об'єкт та уразила його.

Відповідно ймовірності цих подій:

$$P(H_1) = P_i(k) \cdot (1 - R_i);$$

$$P(H_2) = P_i(k) \cdot R_i;$$

$$P(H_3) = (1 - P_i(k)) \cdot (1 - R_x);$$

$$P(H_4) = (1 - P_i(k)) \cdot R_x.$$

Ймовірність ураження другою ПРП визначається за формулою повної ймовірності з урахуванням результату дії першої ракети. В загальному випадку [7] ймовірність ураження істинного об'єкту  $i$ -ою ПРП за умов прикриття його  $k$  випромінювачами-пастками:

$$W_i^k = \begin{cases} P_i(k) \cdot R_i, i = 1; \\ W_{i-1}^k \cdot (P_i(k) + \\ + k \cdot (1 - P_i(k))) \cdot (1 - R_i) + \\ + W_{i-1}^{k-1} \cdot (1 - P_i(k)) \cdot R_x, i \geq 2. \end{cases} \quad (4)$$

На рис. 1 наведено залежність ймовірності ураження РЛС -  $W(k)$  від кількості випромінювачів-пасток ( $k$ ) для випадку послідовного застосування різної кількості ПРП. У якості РЛС обрана РЛС 19Ж6, а у якості ПРП – НАРМ.

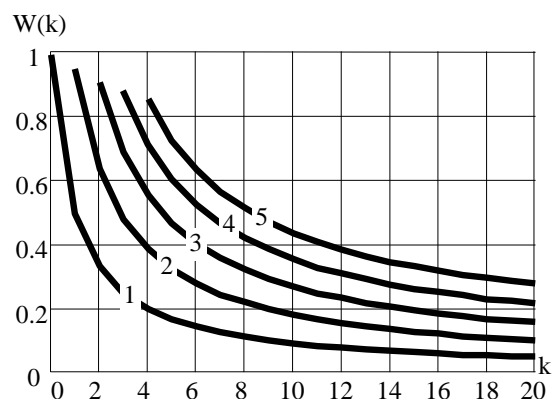


Рис. 1. Залежність ймовірності ураження РЛС -  $W(k)$ , від кількості випромінювачів-пасток, при послідовному пуску 1, 2, 3, 4, 5 ПРП відповідно

По осі абсцис відкладено кількість випромінювачів пасток, що використовуються для захисту РЛС, по осі ординат – ймовірність ураження РЛС послідовною серією пусків із декількох ПРР. Крива 1 відповідає застосуванню однієї ПРР, криві 2, 3, 4, 5 відповідають кількості ПРР, що застосовуються послідовно у часі.

Розглянуті ситуації відповідають більшості випадків застосування ПРР, так за досвідом локальних конфліктів, по одній РЛС, зазвичай, проводиться до 2 – 3 пусків ПРР. З метою зменшення витрат на знищення РЛС, кожний наступний пуск проводиться за результатами попереднього, максимальна кількість ПРР на борту літака не перевищує п'яти.

З аналізу графіку слідує, що використання 2 – 6 хибних випромінювачів дає вагомий ефект у більшості випадків, ймовірність ураження РЛС знижується практично у двічі, до 0.3...0.6. Подальше збільшення кількості випромінювачів пасток приводить до зменшення ймовірності ураження, але суттєвого зниження не викликає. Криві побудовано для варіанту коли додаткові міри з захисту випромінювачів-пасток не приймаються, ймовірність ураження ( $R_x=0,9$ ).

Очевидно, що ймовірність ураження РЛС можливо ще зменшити, застосовуючи більш захищені від вогневого впливу випромінювачі-пастки, це збільшує ймовірність того, що при влученні у нього ПРР, він залишиться справним, тобто для наступної ПРР ситуація не буде спрощуватися, кількість хибних цілей залишиться незмінною.

На рис. 2 зображено залежність ймовірності знищення РЛС, що захищається чотирма випромінювачами-пастками від ймовірності поразки хибного об'єкту за умови, що ПРР наводилася на нього. Криві побудовано за умови послідовного пуску 1, 2, 3, 4, 5 ПРР, відповідно. Умовна ймовірність поразки хибного об'єкту  $R_x$  залежить від площі об'єкту, величини його дюралевого еквіваленту та розраховується за методикою викладеною у [4].

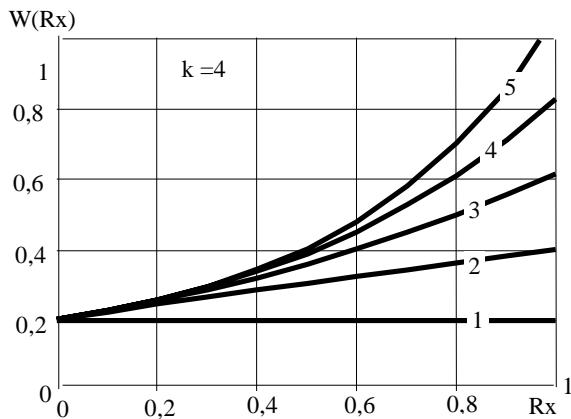


Рис. 2. Залежність ймовірності ураження РЛС –  $W(R_x)$ , від ймовірності поразки хибного об'єкту за умови, що ПРР наводилася на нього –  $R_x$ , при  $k=4$

У якості типових значень обрано  $R_x=0,9$  (площа об'єкту 0,5 м. кв. та дюралевий еквівалент дорівнює 12 мм) – міри захисту не приймаються,  $R_x=0,7$  (площа об'єкту 0,5 м. кв. та дюралевий еквівалент дорівнює 32 мм) – використовується протиосколкові екрани,  $R_x=0,6$  (площа об'єкту 0,1 м. кв. та дюралевий еквівалент дорівнює 32 мм) – використовується протиосколкові екрани та зменшена площа поверхні, що уражається.

З аналізу кривих бачимо, що при зменшенні ймовірності ураження випромінювача-пастки, ймовірність ураження РЛС зменшується. Залежність тим більша чим більша серія ПРР використовується, це пов'язано з тим, що зростає доля випадків коли підрив ПРР при наведенні на нього, не приводить до його виходу з ладу. Для наступної ПРР ситуація не спрощується, кількість випромінювачів-пасток залишається незмінною.

При збільшенні кількості випромінювачів-пасток (рис. 3), характер залежності зберігається, криві зміщуються вниз, розбіжності між серіями з різною кількістю пусків ПРР не такі великі, ефект «нівелюється» за рахунок великої кількості випромінювачів, при виході з ладу одного, кількість справних залишається достатньою для надійного прикриття РЛС.

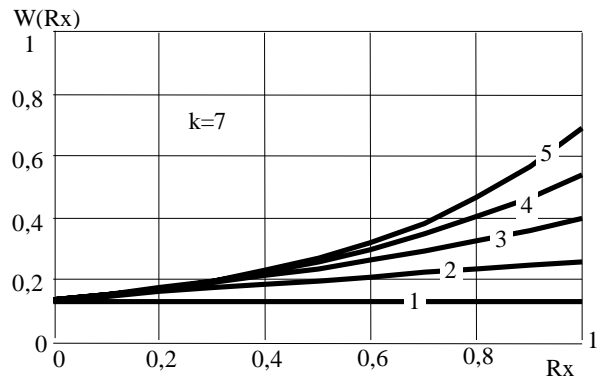


Рис. 3. Залежність ймовірності ураження РЛС –  $W(R_x)$ , від ймовірності поразки хибного об'єкту за умови, що ПРР наводилася на нього –  $R_x$ , при  $k=7$

Порівнюючи криві на рис. 2 та 3 можна зробити висновок, що до більш суттєвого ефекту приводить збільшення кількості випромінювачів-пасток, ніж підвищення їх захищеності (при обмеженні на кількість можливих пусків протирадіолокаційних ракет).

Доцільно забезпечити ймовірність ураження випромінювача-пастки на рівні 0,6...0,7, що відповідає, наприклад, площі його поверхні в межах 0,1...0,4 м. кв., при дюралевому еквіваленті 16...32 мм.

Такі показники відносно легко забезпечити укріпленням передавача та джерела живлення (наприклад, розташування в окопі), на поверхні залишається лише малогабаритна антена.

У [3], стосовно РЛС 19Ж6, показано, що потужності випромінювача-пастки на рівні 60...1000 Вт (у залежності від типу антени) достатньо для захисту РЛС, за умови, що наведення ПРР відбувається за випромінюванням бічних пелюсток.

У якості джерела сигналу можливо використати зонduючий сигнал РЛС який відводиться зі штатного спрямованого відгалужувача на виході підсилювача потужності.

Для інших РЛС можливо використовувати решітки Ван-Атта з підсиленням сигналу, який перевипромінюється. У якості підсилювачів сигналів для випромінювачів-пасток доцільно використовувати підсилювальні палети які забезпечують потрібну потужність (до 1.5...2 кВт) у S та L діапазонах.

Підсилювальні палети — це однокаскадні підсилювачі потужності. Головне їх достоїнство полягає в наявності вхідних і вихідних ланцюгів, що забезпечують добре узгодження із трактом в заданій смузі частот, що дозволяє використовувати їх як «цеглини» набираючи необхідну потужність. Конструктивно підсилювальні палети складаються з металеві основи – фланця та діелектричної підкладки. Підкладкою служить друкована плата, на якій методом поверхневого монтажу встановлені малопотужні компоненти, а транзистори змонтовані безпосередньо на тепловідводі – фланці. Фланець служить одночасно механічною основою, тепловідвідним елементом і спільною «земляною» шиною.

На рис. 4 наведено конструктивне виконання палет підприємства ФГУП «НИИЭТ» (м. Воронеж).

Одним з провідних виробників широко представлених на ринку є фірма Integra Technologies Inc. Продукція цієї фірми відповідає вимогам галузевих стандартів для використання у воєнних розробках, пропонуються закінчені рішення розроблені під вимоги конкретного замовника, відштовхуючись від конкретного застосування з урахуванням вимог по функціональності, умов експлуатації і габаритам.

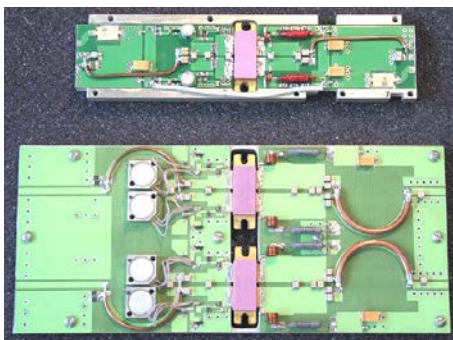


Рис. 4. Серійні зразки палет УМ3843-60, УМ4344-300

На рис. 5 наведено зовнішній вигляд підси-

лювального модуля який працює у діапазоні частот від 125 Мгц. до 3.5 Ггц. Та має вихідну імпульсну потужність до декількох кВт.

Слід зазначити, що у якості хибних цілей для ПРР можливо використовувати явище перевипромінювання при відбитті НВЧ енергії від підстеляючої поверхні, окремих місцевих предметів та штучно створених відбивачів.



Рис. 5. Варіант конструктивного виконання підсилювального модуля

Зонduючий сигнал, що випромінюється у напрямку головного та бічних пелюстків, «підсвічує» відбивачі, які починають сприйматися головкою самонаведення ПРР як хибні цілі.

Відбивачі можуть бути виготовлені обслугою або, можливо, використання серійних зразків, наприклад, «ОМУ», «Сфера-ПР», «Піраміда»

Про ефективність цього методу захисту непрямо свідчить те, що для ураження РЛС у Лівійському військовому конфлікті було використано ударний вертоліт, який здійснив пуск некерованих ракетних снарядів, прицілювання проводилось оператором візуально. На нашу думку це пов'язано з тим, що РЛС була встановлена на даху будівлі оточеної іншими будівлями, стіни яких утворювали свого роду, відбиваючі поверхні які сприймаються ПРР як цілі. Це унеможливило ефективну селекцію істинного об'єкту на такому фоні, як наслідок суттєво зростає ймовірності наведення на хибну ціль.

## Висновки

1. Викладена методика дозволяє оцінити ймовірності поразки оглядової РЛС, що захищується випромінювачами-пастками, послідовною серією пусків ПРР. Враховується ймовірність наведення ПРР на РЛС та випромінювач пастку, і ймовірність їх ураження за умов наведення на них ПРР.

2. Отримані результати свідчать, що для забезпечення ефективного захисту РЛС необхідно забезпечити рівень ймовірності ураження випромінювача-пастки не більше 0,6...0,7, що відповідає, наприклад, площі поверхні в межах 0,1...0,4 м. кв. при величині дюралевого еквіваленту 16...32 мм. Такі показники відносно легко забезпечити укриттям передавача та джерела живлення (наприклад, розташування в окопі), на поверхні залишається

лише малогабаритна антена.

3. Збільшення кількості випромінювачів-пасток приводить до зростання ефективності захисту, раціональним є використання 5...10 випромінювачів (їх кількість повинна обиратися виходячи з бойового завдання підрозділу та оцінки можливостей противника). Доцільним є варіант укомплектування кожної РЛС 3...5 випромінювачами-пастками, з можливістю їх збільшення за потребою (наприклад перерозподілу їх між РЛС підрозділу).

4. У якості додаткової міри захисту можливо використовувати пасивні відбивачі-пастки: кутові, біконічні, площинні відбивачі, антени Ван-Атта та ін. Такі пристрою можуть бути виготовлені силами обслуги при обладнанні позиції. Доцільно у складі РЛС мати 5...6 готових відбивачів (у складеному стані) та використовувати їх для доповнення системи активних випромінювачів-пасток.

### Список літератури

1. Основы боевого применения противорадиолокационных ракет. 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://navynews.ru/?p=442>.

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

3. Методика розрахунку імовірності ураження наземної оглядової РЛС протирадіолокаційною ракетою / А.А. Гризо, І.М. Невмержицький, В.В. Ковкін, П.В. Пантус // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2009. – № 3 (19). – С. 14-17.

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: учебн. / И.А. Балаганский, Л.А. Мерзневский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2004. – 408 с.

6. Гризо А.А. Активный захист оглядових радіолокаційних станцій від протирадіолокаційних ракет / А.А. Гризо, В.В. Ковкін // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 6 (80). – С. 26-29.

7. Волжин А.Н., Сизов Ю.Г. Борьба с самонаводящимися ракетами / А.Н. Волжин, Ю.Г. Сизов. – М.: Воениздат, 1983. – 144 с.

Надійшла до редколегії 3.01.2012

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

### ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ НАЗЕМНОЙ ОБЗОРНОЙ РЛС ПРОТИРАДИОЛОКАЦИОННЫМИ РАКЕТАМИ С УЧЕТОМ НАКОПЛЕНИЯ ПОТЕРЬ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

А.А. Гризо, С.Н. Ковалевский, И.М. Невмержицкий, С.В. Бровченко

Статья посвящена проблеме защиты обзорных РЛС от противорадиолокационных ракет. Приведена методика расчета вероятности поражения одиночной РЛС, защищаемой системой излучателей-ловушек, серией противорадиолокационных ракет. Предложена методика учитывающая накопление потерь, а именно, тот факт, что условия самонаведения каждой последующей ракеты будут изменяться, если при предыдущем пуске РЛС не будет уничтожена, то вероятно, будет уничтожен излучатель – ловушка, вероятность поражения РЛС для следующей ракеты возрастет. Получены оценки вероятности поражения обзорной РЛС для разного количества последовательных пусков, вероятности уничтожения излучателей-ловушек и их количества. Предложен вариант элементной базы которую возможно использовать для построения усилителей излучателей-ловушек, рассмотрена возможность использования в качестве ложных целей отражателей зондирующего сигнала. Приведены практические рекомендации относительно реализации мероприятий защиты средств радиолокации от противорадиолокационных ракет.

**Ключевые слова:** противорадиолокационные ракеты, защита РЛС, излучатели-ловушки.

### ESTIMATION OF PROBABILITY OF DEFEAT GROUND SURVEY RADAR ANTIRADIATION ROCKETS, IN VIEW OF ACCUMULATION OF LOSSES MEANS OF PROTECTIN

A.A. Grizo, S.N. Kovalevsky, I.M. Nevmerzhitsky, S.V. Brovchenko

Article is devoted to a problem of protection survey radar from antiradiation missiles. The design procedure of probability of defeat single radar, protected system radiators - traps, by series antiradiation rockets is resulted. The technique taking into account accumulation of losses is offered, namely, that fact, that conditions of homing of each subsequent rockets will change, if at previous start-up radar will not be destroyed, it is probable, the radiator - a trap will be destroyed, the probability of defeat radar for the following rocket will increase. Estimations of probability of defeat survey radar for different quantities of consecutive start-up, probabilities of destruction of radiators - traps and their quantities are received. The variant of element base which probably is offered to use for construction of amplifiers of radiators - traps, the opportunity of use is considered as the false purposes of reflectors of a probing signal. Practical recommendations concerning realization of actions of protection of means of a radar-location from antiradiation rockets are resulted.

**Keywords:** antiradiation rockets, protection radar, radiators – traps.