

УДК 355/359.07

А.О. Зінченко

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНИХ СТАНЦІЙ ЗВ'ЯЗКУ ТА РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ ЗА ПОКАЗНИКОМ ВЕЛИЧИНИ МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ ВІДВЕДЕНОГО ЗБИТКУ

У статті удосконалено методику розрахунку ефективності системи протиповітряної оборони тактичної ланки за показником величини математичного сподівання відведеного збитку за умови розгортання інформаційно-телекомунікаційної решітки поля бою на основі запропонованої раніше багатопозиційної системи мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки. Встановлені аналітичні залежності свідчать про збільшення ефективності угруповання протиповітряної оборони в залежності від збільшення ймовірності виявлення засобів повітряного нападу групою радіолокаційних засобів у випадку застосування системи, що пропонується.

**Ключові слова:** протиповітряна оборона, радіолокаційна розвідка, цифрова антенна решітка, математичне сподівання.

### Вступ

Однією із характерних тенденцій розвитку засобів збройної боротьби є їх інтеграція у розвідувально-ударні та розвідувально-вогневі комплекси. Одночасно різко зростає значення інформаційного забезпечення військ [1]. Зростаючі обсяги інформації від розвідувальних систем різного призначення потребують каналів зв'язку з підвищеною пропускнуною спроможністю. В [2 – 4] була запропонована ідея створення багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації на полі бою із застосуванням у кожній позиції мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки оснащених цифровими антенними решітками та функціонуючих у режимі мультикористувальницького МІМО (множинний вхід – множинний вихід) з сигналами мультиплексування з ортогональним та неортогональним частотним розділенням каналів. В подальшому були розроблені моделі функціонування мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки та методи спільної та роздільної селекції сигналів зв'язку і радіолокації у таких системах [5, 6]. Для охоплення всіх аспектів функціонування запропонованої системи вважається за доцільне дослідити її ефективність. Через відсутність методичного апарату оцінювання ефективності інтегрованої системи зв'язку та радіолокації запропоновано розглянути окремо телекомунікаційну та радіолокаційну складові. В [7] була досліджено ефективність виконання завдань протиповітряної оборони (ППО) за математичним сподіванням збитих цілей за час нальоту засобів повітряного нападу (ЗПН) М. Але при визначенні розглянутого показника М не передбачається використання відомостей про тип, бойові спроможності, напрям зосередження зусиль повітряного противника, за-

вдання та безпосереднє призначення в ударі кожного засобу повітряного нападу, важливість об'єктів прикриття. Тому заслуговує на увагу споріднена до розглянутого показника ефективності угруповання ППО величина математичного сподівання відверненого збитку об'єктам оборони в результаті відбиття ударів засобів повітряного нападу (ЗПН) противника  $M_y$  [7]. Цей показник є досить важливим також через можливість використання його для оцінки живучості угруповання ППО, якщо в якості збитків розглядати наслідки ураження об'єктів інфраструктури системи ППО - зенітно-ракетні комплекси, радіолокаційні станції, пункти управління тощо. Таке альтернативне тлумачення математичного сподівання відверненого збитку є цілком виправданим при розгляді початкової фази військового конфлікту, коли об'єкти ППО фігурують переважно як основні об'єкти ураження.

Тому **метою статті** є дослідження ефективності системи ППО тактичних частин та підрозділів на основі багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокаційної розвідки із застосуванням у кожній позиції мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки оснащених цифровими антенними решітками та функціонуючих у режимі мультикористувальницького МІМО за показником величини математичного сподівання відверненого збитку об'єктам оборони в результаті відбиття ударів ЗПН противника.

### Викладення основного матеріалу

При формалізації поняття математичного сподівання відверненого збитку об'єктам прикриття  $M_y$  будемо орієнтуватися на ситуацію, коли визначеним угрупованням ППО поставлене завдання прикриття від ударів з повітря локальної групи з  $K$  об'єктів [7].

Доцільно вважати, що в ударі по К-му об'єкту групи, що прикривається системою ППО, може брати участь  $n$  ЗПН ( $n = 1, \dots, N$ ). У найпростішому випадку можна припустити, що ймовірність дії ЗПН по кожному з об'єктів однакова. Кожен ЗПН діє лише по одному з  $K$  об'єктів (цілком доречно, якщо в якості ЗПН розглядати крилаті ракети або БПЛА-“камікадзе”), і ймовірність ураження усіх наземних об'єктів є константою  $P_{ПО}$ . При цьому самий факт влучення засобу ураження в об'єкт прикриття буде тлумачити як знищення цього об'єкта. У такому разі за умови відсутності протидії з боку системи ППО математичне сподівання відверненого збитку може бути визначене виразом:

$$M_Y = K \times (1 - P_{ПО} \times b), \quad (1)$$

де  $b$  - ймовірність дії ЗПН по окремо взятому об'єкту прикриття, яка визначається при плануванні бойових дій, виходячи з аналітичної діяльності штабів угруповань ППО та важливості об'єктів прикриття, визначеної експертним шляхом.

Показник (1) описує кількість об'єктів прикриття, що unikнуть знищення після ударів ЗПН. Однак вираз (1) не враховує ймовірність протидії засобів ППО. Тому його доцільно модифікувати, помноживши ймовірність ураження наземних об'єктів на додатковий коефіцієнт у вигляді:

$$M_Y = K \times (1 - P_{ПО} \times (1 - Z) \times b), \quad (2)$$

де  $Z$  – ймовірність протидії угруповання ППО удару засобів повітряного нападу.

Зазначену ймовірність протидії угруповання ППО доцільно виразити через добуток ймовірності ураження самих ЗПН системою ППО з урахуванням ймовірності виявлення ЗПН мережею радіолокаційних станцій. За умови, що всі зазначені ймовірності не залежать від конкретного зразка ЗПН, отримуємо величину

$$Z = P_{BG} \times P_{ПЗПН} \times K_{кер} \times K_{БГ}, \quad (3)$$

де  $P_{BG}$  - загальна ймовірність виявлення ЗПН групою із  $G$  радіолокаційних засобів;

$P_{ПЗПН}$  - ймовірність ураження ЗПН засобами ППО;

$K_{кер}$  - коефіцієнт керованості угруповання ППО;

$K_{БГ}$  - коефіцієнт боєготовності цільового каналу.

Підставимо (3) в (2):

$$M_Y = K \times (1 - P_{ПО} \times (1 - P_{BG} \times P_{ПЗПН} \times K_{кер} \times K_{БГ}) \times b). \quad (4)$$

Отриманий вираз може бути використаний для порівняльної оцінки різних варіантів побудови так-

тичної групи зенітно-ракетних військ змішаного складу.

Формула (4) ілюструє загальний механізм врахування спроможностей радіолокаційних засобів для розрахунку відвернених системою ППО збитків об'єктам прикриття.

Наприклад, для того, щоб повністю відвернути збитки від ударів повітряного противника, необхідно забезпечити виконання умов  $P_{ПЗПН} = 1$ ,  $P_{BG} = 1$ ,  $K_{кер} = 1$ ,  $K_{БГ} = 1$ , тобто  $Z = 1$ .

Нескладно помітити, що залежності (2), (4) мають лінійний характер. Для більш детального їх аналізу було проведено розрахунки у пакеті Mathcad.

Його результати проілюстровані на рис. 1.

По вертикалі відкладено кількість збережених об'єктів локальної групи при початковій їх кількості  $K = 100$ , по горизонталі – ймовірність протидії з боку угруповання ППО.

Нижня лінія відповідає ймовірності ураження наземних об'єктів  $P_{ПО} = 0,9$ , середня -  $P_{ПО} = 0,7$ ; верхня -  $P_{ПО} = 0,5$ .

З наведених графіків видно, що чим більше ймовірність протидії ППО удару ЗПН, тим менше розкид у величині математичного сподівання відверненого збитку.

Наприклад, при  $Z = 0,7$  різниця у відверненому збитку для зазначеного коридору зміни ймовірності ураження наземних об'єктів  $P_{ПО} = 0,5 \dots 0,9$  не перевищує 10 об'єктів, тоді як при  $Z = 0,1$  ця величина наближається до 40.

Якщо у виразі (4) в якості  $K$  об'єктів розглядати ті ж таки мобільні станції зв'язку та радіолокаційної розвідки, то в якості величини, що характеризує живучість мережі мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки в умовах дії ЗПН противника можливо використати відсотковий показник:

$$W = \frac{M_Y}{K} \times 100 \%, \quad (5)$$

який описує відсоток мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки, що формально можуть зберегти свою працездатність (живучість) після повітряного удару.

У такому сенсі рис. 1 ілюструє живучість групи з  $K$  об'єктів у відсотках, характеризуючи відсоткову частку вцілілих об'єктів від початкової їхньої кількості.

Цілком очевидно, що, спираючись на такі досить спрощені показники, далі можливо більш ретельно врахувати різнопланові аспекти та деталі, що дозволять наблизити аналітичні розрахунки математичного сподівання відверненого збитку до практично досяжних значень.

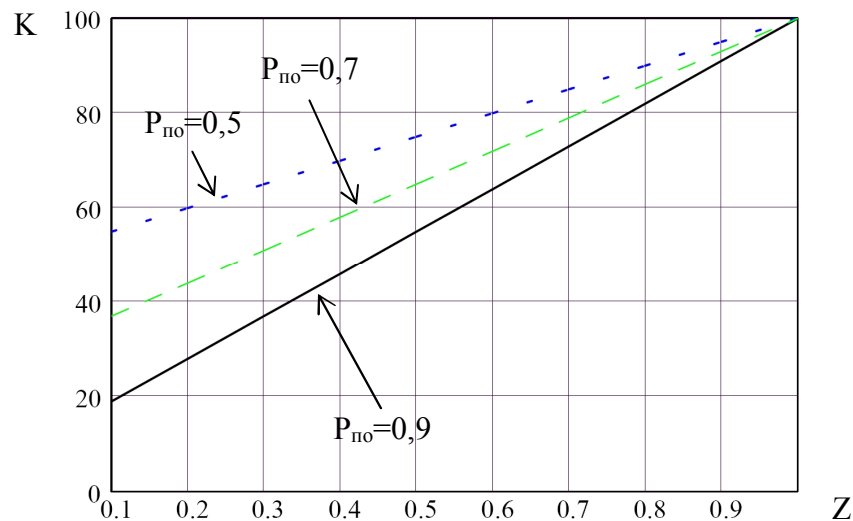


Рис. 1. Залежність математичного сподівання відверненого збитку від ймовірності протидії угруповання ППО

Першим кроком у цьому напрямку має бути врахування неідентичності умов ураження об'єктів

прикриття, що може бути здійснене шляхом переходу від (4) до виразу:

$$\begin{aligned}
 M_Y &= K - \sum_{k=1}^K \left( P_{\text{ПО},k} \times (1 - P_{\text{ВГ}} \times P_{\text{ПЗПН}} \times K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}}) \times b_k \right) = \\
 &= K - (1 - P_{\text{ВГ}} \times P_{\text{ПЗПН}} \times K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}}) \times \sum_{k=1}^K (P_{\text{ПО},k} \times b_k).
 \end{aligned} \quad (6)$$

Оскільки в ситуації, що розглядається, кожен засіб повітряного нападу діє лише по одному з  $K$  об'єктів, цілком доречно кожному  $k$ -му об'єкту поставити у відповідність  $k$ -й засіб повітряного нападу.

У випадку врахування неідентичності ймовірностей виявлення кожного ЗПН радіолокаційними засобами та різних ймовірностей ураження ЗПН засобами ППО, що утворюють змішане угруповання, вираз (6) слід переписати у вигляді:

$$\begin{aligned}
 M_Y &= K - \sum_{k=1}^K \left( P_{\text{ПО},k} \times (1 - P_{\text{ВГ},k} \times P_{\text{ПЗПН},k} \times K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}}) \times b_k \right) = \\
 &= K - \sum_{k=1}^K (P_{\text{ПО},k} \times b_k) + K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}} \times \sum_{k=1}^K (P_{\text{ПО},k} \times P_{\text{ВГ},k} \times P_{\text{ПЗПН},k} \times b_k).
 \end{aligned} \quad (7)$$

Наступним кроком узагальнення може бути врахування припущення, що ураження кожного з об'єктів прикриття здійснюється кількома засобами повітряного нападу, причому розподіл наявних ЗПН по виконанню завдань з нанесення ударів по наземних об'єктах цілком логічно вважати нерівномірним.

Інший варіант гіпотези про дії засобу повітряного нападу полягає в орієнтації на спроможність кожного ЗПН наносити удари одночасно по кількох наземних об'єктах.

Однак зазначені та інші види узагальнень виразів (6), (7) виходять за рамки даної статті, оскільки не вносять принципових змін до вже зроблених висновків щодо ефективності застосування технологій цифрових антенних решіток та МІМО у багатопозиційній системі радіолокаційних засобів.

## Висновки

У статті удосконалено методику розрахунку ефективності системи протиповітряної оборони тактичної ланки за показником величини математичного сподівання відведеного збитку за умови застосування технологій цифрових антенних решіток та МІМО у системі багатопозиційних радіолокаційних засобів.

Відмінність методики полягає у врахуванні ймовірності протидії угруповання протиповітряної оборони удару засобів повітряного нападу, що у свою чергу залежить від загальної ймовірності виявлення засобів повітряного нападу групою радіолокаційних засобів.

Удосконалена методика дозволяє врахувати відомості про тип, бойові спроможності, напрям зосе-

редження зусиль повітряного противника, завдання та безпосереднє призначення в ударі кожного засобу повітряного нападу та інші різнопланові аспекти, що дозволяє наблизити аналітичні розрахунки математичного сподівання відверненого збитку до практично досяжних значень.

**Напрямок подальших досліджень** можливо вважати розробку комплексної методики оцінки ефективності функціонування багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокаційної розвідки, яка буде враховувати показники притаманні як системі зв'язку так і системі протиповітряної оборони.

## Список літератури

1. Лаврут О.О. Перспективи розвитку автоматизованих систем управління тактичної ланки управління Сухопутних військ Збройних Сил України / О.О. Лаврут, О.К. Климович, Т.В. Лаврут // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС, 2014. – Вип. 5 (121). – С. 116-120.
2. Слюсар В. І. Багатопозиційна система мобільних станцій зв'язку та радіолокації / В. І. Слюсар, А. О. Зінченко // Матеріали 18 науково-практичної конференції “Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення”, 15 квітня 2011 року. – Житомир: Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова Національного авіаційного університету, 2011. – С. 105 – 106.
3. Слюсар В. І. Мультикористувальницький метод МІМО в інтегрованій системі зв'язку та радіолокації з багатосекційними ЦАР / В. І. Слюсар, А. О. Зінченко // Матеріали науково-практичного семінару “Принципи побудови інформаційно-телекомунікаційних вузлів оперативної та стратегічної ланок управління Збройних Сил

України”, 2 грудня 2010 року. – К.: Національний університет оборони України, 2010. – С. 80 – 82.

4. Слюсар В. І. Конвергенція систем зв'язку та радіолокаційної розвідки / В. І. Слюсар, А. О. Зінченко // Матеріали науково-технічної конференції “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”, 16-17 грудня 2010 року. – К.: Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, 2010. – С. 95 – 97.

5. Зінченко А. О. Модель багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації на основі мультикористувальницького методу МІМО. / А. О. Зінченко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №2(30). – С. 124 – 130.

6. Зінченко А. О. Метод селекції радіоімпульсів на фоні N-OFDM сигналів. / А. О. Зінченко // Збірник наукових праць Центру військово-стратегічних досліджень Національного університету оборони України. – 2013. – № 1(47). – С. 29-32.

7. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): монографія / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха та ін. – Х.: ХВУ, 2004. – 410 с.

Надійшла до редколегії 9.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ СВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВЕЛИЧИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ОТВЕДЕННОГО УЩЕРБА

А.А. Зинченко

В статье усовершенствована методика расчета эффективности системы противовоздушной обороны тактического звена по показателю величины математического ожидания отведенного ущерба при развертывания информационно-телекоммуникационной решетки поля боя на основе предложенной ранее многопозиционной системы мобильных станций связи и радиолокационной разведки. Установлены аналитические зависимости свидетельствуют об увеличении эффективности группировки противовоздушной обороны в зависимости от увеличения вероятности обнаружения средств воздушного нападения группой радиолокационных средств в случае применения системы, предлагается.

**Ключевые слова:** противовоздушная оборона, радиолокационная разведка, цифровая антенная решетка, математическое ожидание.

## THE EFFICIENCY OF THE MOBILE COMMUNICATION STATIONS AND RADAR EXPLORATION FOR SIZE INDICATOR EXPECTATION LEADS DAMAGES

A.O. Zinchenko

The paper improved the method of calculating the efficiency of air defense tactical level in terms of value of loss expectation given on condition deployment of information and telecommunication lattice battlefield based on the previously proposed system of multi mobile communication stations and radar reconnaissance. The established analytical dependence show an increase in the efficiency of air defense groups depending on the increase in the probability of detection of air attack by a group of radar equipment in case of a system that is offered.

**Keywords:** air defense, radar intelligence, digital antenna array, expectation.