

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАСТОСУВАННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

[DOI 10.33099/2786-7714-2025-2-9-33-40](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2025-2-9-33-40)

[УДК.355.424.4](#)

¹Степанов Григорій Сергійович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-9190-2821>

¹Опенько Павло Вікторович (кандидат технічних наук, старший дослідник)

<https://orcid.org/0000-0001-7777-5101>

²Доска Олександр Михайлович (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-9874-8716>

²Різніченко Ерік Андрійович

<https://orcid.org/0009-0002-5659-8411>

¹Національний університет оборони України, Київ, Україна

²Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЗАГРОЗИ ОБ'ЄКТАМ ПРИКРИТТЯ ВІД ДІЙ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА

Аналіз бойових дій в російсько-українській війні свідчить, що у сучасних умовах забезпечення надійного захисту повітряного простору набуває особливої актуальності. Зростання інтенсивності бойових дій, поширення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та використання алгоритмів штучного інтелекту у веденні воєнних операцій вимагає від систем протиповітряної оборони (ППО) нових підходів до виявлення, аналізу та нейтралізації загроз. У цьому контексті критично важливим є впровадження алгоритмів, здатних оперативно оцінювати рівень загрози та раціонально розподіляти доступні вогневі ресурси з урахуванням невизначеності вхідних даних.

Одним із таких рішень є алгоритм оцінювання рівня загрози об'єктам прикриття, який реалізований в сучасних зенітних ракетних комплексах (ЗРК) таких як IRIS-T SLM та NASAMS. Зазначений алгоритм продемонстрував свою ефективність в умовах бойових дій. Проте ефективність його значною мірою залежить від здатності працювати в умовах невизначеності, часової, інформаційної та ресурсної обмеженості. Метою статті є наукове обґрунтування основних положень методики оцінювання рівня загрози об'єктам прикриття від дій повітряного противника, направленої на підвищення ефективності прийняття рішень цілерозподілу.

З огляду на складність бойового середовища та наявність численних невизначених чинників, у роботі розглянуто методичний підхід, в основу якого покладено використання Баєсової мережі. Такий підхід дає змогу враховувати взаємозв'язки між змінними, обчислювати ймовірності та оновлювати їх у реальному часі на основі нових даних, що дозволяє швидко приймати достовірне рішення, не потребує значних витрат машинної пам'яті та враховує як динамічний характер загроз, так і обмеження бойових ресурсів, що є особливо актуальним в умовах сучасної війни.

Ключові слова: оцінювання загроз, повітряний противник, засоби ураження, зенітний ракетний комплекс, об'єкт прикриття.

Вступ

В сучасних реаліях ведення війни, які характеризуються високою динамікою змін, зростаючою складністю управлінських процесів та обсягом доступної інформації, ефективне прийняття рішень набуває критичного значення. Традиційні методи аналізу та оцінювання ситуацій дедалі частіше поступаються місцем інтелектуальним системам, здатним обробляти великі масиви даних, виявляти закономірності та формувати обґрунтовані рекомендації.

Яскравим прикладом такої системи є “Threat evaluation and weapon allocation” (TEWA), що представляє собою комп'ютеризовану систему, яка генерує данні, необхідні при прийманні рішень, у

процесах оцінювання загрози та цілерозподілу [1, 2].

Оцінювання загрози є фундаментом для формування стратегій реагування, розподілу наявних ресурсів та вибору оптимальних варіантів цілерозподілу. Воно дозволяє командирам відповідного рівня уникнути імпульсивних або неефективних рішень у критичних ситуаціях, тим самим мінімізувати втрати від дії повітряного противника.

Тому удосконалення методичного апарату оцінювання загроз об'єктам прикриття від дій повітряного противника є важливим науковим завданням.

Матеріали та методи

Питанням оцінювання загроз та розподілу вогневих засобів присвячено багато наукових праць. Особливої уваги потребують джерела, що висвітлюють алгоритмічні підходи до ранжування загроз, використання технічних засобів моніторингу та інтеграцію даних розвідки в процес прийняття рішень. Проведений авторами аналіз дозволив виявити наявні наукові та прикладні підходи, оцінити їх ефективність і релевантність, а також окреслити напрями подальшого вдосконалення методики оцінювання загроз.

Зокрема в [1] запропонований підхід до оцінки ефективності систем TEWA, який полягає у використанні результатів моделювання сценаріїв протиповітряної оборони та показника ефективності – відношення вартості об'єктів прикриття, що залишилися після удару, до вартості всіх об'єктів прикриття.

В [2] проведено порівняльний аналіз можливостей оператора щодо оцінювання загрози в ручному та напівавтоматичному режимі з використанням TEWA у системі автоматизованого управління AN/TSQ-73. Встановлено, що ефективність застосування TEWA зростає із збільшенням складності повітряного нальоту.

В роботі [3] пропонується підхід до оцінки загроз та розподілу зброї шляхом використання "3-D SMA" моделі. Ця модель базується на параметричному автоматичному оцінюванні загрози з подальшим використанням отриманої оцінки для планування та розподілу зброї, враховуючи, що ціль з більшим індексом загрози має вищий пріоритет для перехоплення. В основі оцінювання загрози лежить часове положення цілі в просторі відносно заданої межі.

Робота [4] присвячена оцінці загрози в режимі реального часу від аеродинамічних цілей з фіксованим крилом. В [4] запропоновано три рівня математичних моделей різного ступеня складності, що працюють одночасно, причому більш складні моделі впроваджуються поступово, коли вони починають давати реалістичні результати. Моделі першого рівня є простими та дають наближений бінарний результат. Моделі другого рівня є детерміновані та використовують такі показники загрози, як час польоту до об'єкту прикриття або курсовий параметр. Моделі третього рівня є ймовірнісні та враховують дані про положення об'єкта прикриття, кінематику літака, дані про озброєння літака, а також тактику його застосування. Результатом моделювання є оцінка ймовірності того, що літак атакує або знищить об'єкт прикриття.

Разом з тим, на сьогоднішній день відсутні уніфіковані підходи, які дозволяла б комплексно оцінювати рівень загрози для об'єктів прикриття з боку повітряного противника з урахуванням типу засобів повітряного нападу, їх характеристик, параметрів наміру та параметрів захищеності об'єктів прикриття. Існуючі підходи [1-4] здебільшого ґрунтуються на часовому положенні цілі, не враховують багатовимірність загроз та не

забезпечують достатньої точності для обґрунтованого прийняття рішення з цілерозподілу.

У зв'язку з цим виникає потреба у розробці формалізованої методики оцінювання загрози, яка базуватиметься на системному аналізі технічних, тактичних та просторово-часових параметрів, що впливають на ефективність прикриття. Така методика має стати інструментом підтримки прийняття рішень, сприяти оптимізації розподілу ресурсів та підвищенню стійкості об'єктів до дії повітряного противника.

Метою статті є наукове обґрунтування основних положень методики оцінювання рівня загрози об'єктам прикриття від дій повітряного противника, направленої на підвищення ефективності прийняття рішень цілерозподілу.

Результати

Постановка задачі оцінювання рівня загрози об'єктам прикриття від дії повітряної противника має на меті формалізувати процес аналізу ризиків та визначити заходи для мінімізації загрози.

Проведений аналіз підходів, реалізованих в сучасних ЗРК, свідчить, що задача оцінювання загрози вирішується для кожного об'єкту прикриття окремо [5, 6]. Доцільність такого підходу обґрунтовано в [7], тому розглянемо випадок, коли i -та повітряна ціль діє по j -му об'єкту прикриття.

Вхідними даними для вирішення задачі оцінки загрози об'єкту прикриття є:

- а) дані про об'єкт прикриття:
 - географічні дані об'єкту прикриття (координати, особливості рельєфу місцевості);
 - технічні характеристики об'єкту прикриття (розміри, конструкція, рівень захисту);
- б) дані про повітряну ціль:
 - тип цілі (літак, крилата ракета, БпЛА);
 - параметри польоту цілі (швидкість, висота, напрямок);
 - дані про озброєння повітряної цілі (маса, тип, характеристики точності засобів вогневого ураження);
- в) можливості ЗРК щодо знищення повітряної цілі (параметри зони ураження, ймовірнісні характеристики по знищенню повітряних цілей).

Очікуваний результат – категорія загрози (якісна характеристика, що характеризується відсотковим значенням рівня загрози).

В якості числової характеристики рівня загрози j -му об'єкту прикриття від дії i -ї цілі, k -го типу приймемо ймовірність $P_{(i,k,j)}(Q)$ (Q) виражену у відсотковому значенні. За своїм фізичним змістом $P_{(i,k,j)}(Q)$ характеризує можливість ураження j -го об'єкту прикриття i -м засобом повітряного нападу (ЗПН), k -го типу.

Для побудови математичної моделі оцінювання рівня загрози скористаємося головним припущенням теорії побудови мереж Байєса, яке полягає в тому, що події, які розглядаються є вичерпними і не перетинаються [8]. При виконанні цих умов ймовірність події Q можна обчислити за допомогою умовних ймовірностей:

$$P_{i,k,j}(Q) = P_{i,k,j}(H) \times P_{i,k,j}(Q/H) \quad (1)$$

де $P_{i,k,j}(H)$ – ймовірність того, що i -й ЗПН k -го типу подолає ППО j -го об'єкта прикриття з метою його ураження;

$P_{i,k,j}(Q/H)$ – коефіцієнт бойової готовності зенітного ракетного підрозділу j -го типу;

У випадку знищення повітряної цілі уламки, які утворюються, можуть нанести пошкодження об'єкту прикриття, тому виникає необхідність збиття повітряних цілей на деякій відстані, що гарантовано забезпечує цілісність об'єкта прикриття. Розміри такого району апроксимуються колом заданого радіуса, значення якого визначається типом засобу ураження противника.

Виконання бойового завдання авіацією противника залежить від ефективності засобів ППО. Одним з основних показників ефективності n -го ЗРК є ймовірність знищення i -го ЗПН k -го типу $R_{i,k,n}$.

У випадку якщо ціль діє в зоні відповідальності N ЗРК ймовірність її знищення може бути розрахована за співвідношенням:

$$R_{i,k,N,j} = 1 - \prod_{n=1}^{N_j} (1 - R_{i,k,n}). \quad (2)$$

де N – кількість ЗРК, призначених для прикриття j -го об'єкта прикриття.

Намір провести атаку j -го об'єкта прикриття може бути оцінено за показником курсового параметру i -го ЗПН, розраховано відносно об'єкта прикриття.

Скористаємося гіпотезою про експоненціальний розподіл випадкової величини $p_{i,k,j}$, отримуємо:

$$W(p_{i,k,j}) = \exp\left(-\frac{p_{i,k,j}}{p_{i,k,j}^*}\right) \quad (3)$$

де $p_{i,k,j}$ – значення курсового параметру i -го ЗПН k -го типу відносно j -го об'єкта прикриття;

$p_{i,k,j}^*$ – задане значення курсового параметру i -го ЗПН k -го типу відносно j -го об'єкта прикриття.

Задане значення $p_{i,k,j}^*$ встановлюється для кожного типу ЗПН з урахуванням його маневрених можливостей та граничних навантажень.

Тоді $P_{i,k,j}(H)$ може бути розраховано за співвідношенням:

$$P_{i,k,j}(H) = \prod_{n=1}^{N_j} (1 - R_{i,k,n}) \times \exp\left(-\frac{p_{i,k,j}}{p_{i,k,j}^*}\right) \quad (4)$$

де $(1 - R_{i,k,N,j})$ – ймовірність того, що i -й ЗПН k -го типу не буде уражено при подоланні системи ППО j -го об'єкта прикриття.

Співвідношення (4) враховує наміри повітряного противника нанести удар по об'єкту прикриття та можливості створеної системи протиповітряної оборони щодо вогневої протидії.

Досвід російсько-української війни свідчить, що для нанесення повітряних ударів по об'єктах прикриття, як правило, використовують боєприпаси фугасної або осколково-фугасної дії [9]. Ефективність таких боєприпасів може бути оцінена за значенням радіуса пошкодження об'єкта прикриття, R_{Π}

$$R_{\Pi} = \frac{(1 - K_{\text{осл}})B^3 \sqrt{G_{\text{вр.п}}^2}}{I_{\text{ух}}} \quad (5)$$

де $I_{\text{ух}}$ – питомий імпульс вибухової хвилі, що впливає на об'єкт прикриття;

B – постійний коефіцієнт, який при спорядженні засобу ураження тротилом, гексогеном та іншими сумішами дорівнює 80;

$G_{\text{вр.п}}$ – приведена вага вибухової речовини;

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт ослаблення дії засобів ураження за рахунок інженерного обладнання об'єкта прикриття.

При гіпотезі про те, що помилки стрільби залежать від великої кількості випадкових факторів та розподіленні за розподілом Райса [10], з однаковими середніми квадратичними відхиленнями та не нульовим математичним сподіванням (коли точка прицілювання не співпадає з координатами об'єкта прикриття), ймовірність $P_{i,k,j}(Q/H)$ розраховується за співвідношенням:

$$P_{i,k,j}\left(\frac{Q}{H}\right) = \int_0^{R_{\Pi}} \frac{2\rho^2 R}{E_{i,j}^2} \cdot \exp\left\{-\left(\rho^2 \frac{A_{i,k,j}^2 + R^2}{E_{i,j}^2}\right)\right\} I_0\left(\frac{2\rho^2 A_{i,k,j} R}{E_{i,j}^2}\right) dR \quad (6)$$

де $A_{i,k,j}$ – середня відстань від точки прицілювання i -го ЗПН k -го типу до j -го об'єкта прикриття;

I_0 – функція Беселя першого роду нульового порядку;

$E_{i,k}$ – величина ймовірного відхилення точки попадання i -го ЗПН k -го типу від точки прицілювання;

ρ – значення аргументу, при якому функція Лапласа дорівнює половині ($\rho = 0,477$).

У випадку збігу координат точки прицілювання з координатами об'єкта прикриття ймовірність співвідношення (6) приймає вигляд:

$$P_{i,k,j}(Q/H) = 1 - \exp\left[-\rho^2 \left(\frac{R_{\text{ф.пр}}}{E_{i,k}}\right)^2\right] \quad (7)$$

Підставимо (4) та (7) в (1) отримуємо фінальне співвідношення:

$$P_{i,k,j}(Q) = \left[1 - \exp \left[-\rho^2 \left(\frac{R_{\phi, \text{нр}}}{E_{i,k}} \right)^2 \right] \right] \times \left[\prod_{n=1}^{N_j} (1 - R_{i,k,n}) \times \exp \left(-\frac{p_{i,k,j}}{p_{i,j}^*} \right) \right] \quad (8)$$

Математична модель (8) враховує тип бойової частини, потужність бойової частини, ступінь захищеності об'єкта прикриття, точність наведення засобу ураження, параметри польоту засобу ураження, можливості створеної системи ППО щодо вогневої протидії та дозволяє визначити рівень загрози об'єкту прикриття.

Недоліком математичної моделі (8) є те, що в ній не враховано часове положення цілі відносно об'єкта прикриття, це в свою чергу не дозволяє достовірно оцінити загрозу від однотипних повітряних цілей, які мають однаковий курсовий параметр, але знаходяться на різних відстанях відносно об'єкта. Тому, в роботі запропоновано використовувати узагальнений показник, що враховує як параметри наміру і можливостей повітряної цілі, так і параметри близькості до об'єкту прикриття:

$$W_{i,k,j} = (\alpha \cdot P_{i,k,j}(Q), \quad \beta \cdot \tau_{i,k,j}) \quad (9)$$

де $W_{i,k,j}$ – узагальнений векторний показник загрози j -му об'єкту прикриття від i -го ЗПН k -го типу;

$\tau_{i,k,j}$ – часове положення i -ї повітряної цілі k -го типу відносно j -го об'єкту;

α, β – вагові коефіцієнти параметру $P_{i,k,j}(Q)$ та $\tau_{i,k,j}$ відповідно.

Величина часу $\tau_{i,k,j}$ польоту i -ї повітряної цілі k -го типу від її поточного положення X_{ti}, Y_{ti} до деякого заданої межі R_j є однією з основних характеристик, що визначаються під час розв'язання задач управління вогнем та цілерозподілу. Значення $\tau_{i,k,j}$ дає змогу командному пункту оцінити положення цілі в часі щодо об'єкта прикриття, здійснювати добір цілей для закріплення в даному циклі цілерозподілу, встановити їхню важливість. Більше того, у разі використання спрощених методів цілерозподілу за величиною $\tau_{i,k,j}$ може здійснюватися оптимізація рішення [11].

Одержання виразів у загальному вигляді для розрахунку $\tau_{i,k,j}$ пов'язане з істотними труднощами, зумовленими деякою невизначеністю в характері майбутнього руху цілі з моменту часу, відповідного її поточному положенню t_T . Для усунення цих труднощів приймемо широко використовувану в алгоритмах прогнозування гіпотезу про рівномірно-прямолинійний рух цілі на інтервалі часу $t_{\text{вх}} - t_T$. За відомої швидкості польоту цілі $V_{i,k}$ завдання визначення $\tau_{i,k,j}$ зводиться до відшукування величини шляху, польоту i -ї повітряної цілі k -го типу з моменту постановки

прогнозу до моменту перетину заданої межі j -го об'єкта прикриття $S_{i,k,j}$.

Розглянемо послідовність розв'язання задачі визначення часу польоту i -ї повітряної цілі k -го типу до заданої межі j -го об'єкта прикриття (рис. 1).

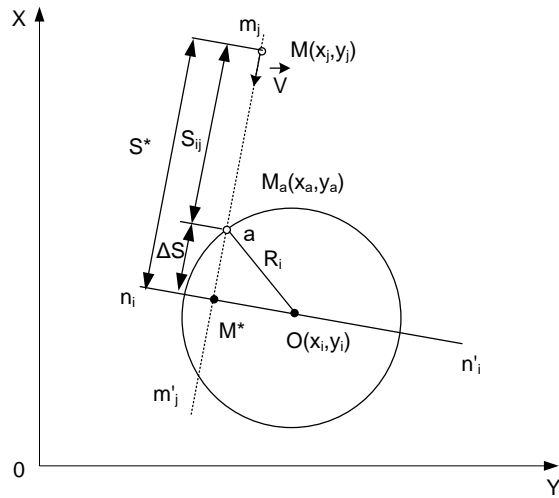


Рисунок 1 – Геометрична інтерпретація розв'язку задачі визначення часу польоту i -ї повітряної цілі до заданої межі j -го об'єкта прикриття

Оскільки, в сучасних ЗРК межі району встановлюється відповідно до типу повітряної цілі, індекс k з метою спрощення математичних виразів в подальшому опустимо.

Величина $S_{i,j}$ дорівнює відстані між точками $M(x_i, y_i)$ і $Ma(x_{aj}, y_{aj})$:

$$S_{i,j} = \sqrt{(y_{aj} - y_i)^2 + (x_{aj} - x_i)^2}, \quad (10)$$

де x_{aj}, y_{aj} – координати точки перетну заданої межі j -го об'єкта прикриття;

x_i, y_i – поточні координати i -ї повітряної цілі.

Тоді час $\tau_{i,j}$ обчислюється за формулою:

$$\tau_{i,j} = \frac{\sqrt{(x_{aj} - x_i)^2 + (y_{aj} - y_i)^2}}{V_i} \quad (11)$$

Невідомі координати x_{aj}, y_{aj} точки перетину цілі заданої межі можуть бути отримані шляхом спільного розв'язання рівняння лінії курсу цілі $m_i m'_i$:

$$A_1 x + B_1 y + C_1 = 0 \quad (12)$$

де A_1, B_1, C_1 – коефіцієнти загального рівняння прямої лінії, і рівняння кола радіуса R_j , що описує задану межу i -го об'єкта прикриття:

$$(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 = R_j^2 \quad (13)$$

Представлений спосіб обчислення x_{aj}, y_{aj} дещо громіздкий [11]. Зручнішим виявляється спосіб

вираження $S_{i,j}$ через координати точки перетину $M^*(x_i^*, y_i^*)$ лінії курсу цілі $m_i m_i'$ та перпендикулярної їй прямої $n_j n_j'$, що проходить через точку знаходження i -го об'єкта прикриття. У цьому разі мають місце співвідношення:

$$S_{ij} = S^* - \Delta S \quad (14)$$

$$S^* = \sqrt{(x_j^* - x_i)^2 + (y_j^* - y_i)^2} \quad (15)$$

$$\Delta S = \sqrt{R_i^2 - P_{ij}^2} \quad (16)$$

де P_{ij} – параметр j -ї цілі i -го об'єкта прикриття.

З огляду на залежності (15), (16) вираз для розрахунку $\tau_{i,j}$ набуває вигляду:

$$\tau_{i,j} = \frac{\sqrt{(x_j^* - x_i)^2 + (y_j^* - y_i)^2} - \sqrt{R_i^2 - P_{ij}^2}}{V_i} \quad (17)$$

Значення координат точки $M^*(x_i^*, y_i^*)$ знаходиться із системи рівнянь, що задають прямі $m_j m_j'$ та $n_j n_j'$ з урахуванням умови їхньої перпендикулярності. Так, якщо ці прямі подати в загальному вигляді:

$$A_1 x + B_1 y + C_1 = 0 \quad (18)$$

$$A_2 x + B_2 y + C_2 = 0 \quad (19)$$

то координати точки перетину, яка лежить одночасно на кожній із прямих (18) і (19), визначаються зі співвідношень:

$$x_j^* = \frac{B_1 C_2 - B_2 C_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1} \quad (20)$$

$$y_j^* = \frac{C_1 A_2 - C_2 A_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1} \quad (21)$$

Значення коефіцієнтів A , B , C , у виразах (20), (21) залежать від використовуваних в алгоритмах способів задавання курсу цілі та можуть бути визначені в такий спосіб.

Лінію курсу (напрямок руху цілі) $m_i m_i'$ може бути визначено за двома точками траєкторії (x_{1i}, y_{1i}) і (x_{2i}, y_{2i}) , отриманими на деякому інтервалі спостереження, наприклад, у двох циклах роботи радіолокаційного засобу. У цьому разі рівняння прямої лінії, що проходить через дві задані точки, має вигляд:

$$\begin{aligned} (y_{2i} - y_{1i})x - (x_{2i} - x_{1i})y \\ + y_{1i}(x_{2i} - x_{1i}) - \\ - x_{1i}(y_{2i} - y_{1i}) = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

Коефіцієнти загального рівняння прямої лінії (22) дорівнюють:

$$A = (y_{2i} - y_{1i}) \quad (23)$$

$$B = -(x_{2i} - x_{1i}) \quad (24)$$

$$C = y_{1i}(x_{2i} - x_{1i}) - x_{1i}(y_{2i} - y_{1i}) \quad (25)$$

аналогічний вище поданому.

Отримані вирази $\tau_{i,j}$ дають змогу визначити положення цілі в часі відносно будь-якої заданої межі R_j .

Для обчислення $\tau_{i,j}$ потрібно у вираз (17) або (11) підставити значення, що відповідають межах x_j^* , y_j^* , R_j , $P_{i,j}$, або x_{a_j} , y_{a_j} .

Спрощена блок-схема методики оцінювання рівня загрози об'єктам прикриття від дії повітряного противника представлена на рис. 2.

На першому кроці проводиться аналіз вхідних даних щодо повітряних цілей, об'єктів прикриття та можливостей щодо подолання системи протиповітряної оборони.

На другому кроці за співвідношенням (7) визначається ймовірність ураження об'єкта прикриття ЗПН, за умови того, що повітряна ціль долетить до визначеної межі (зони). При цьому враховується точність ЗПН, маса та тип бойової частини, ступінь інженерного обладнання об'єкта прикриття.

На третьому кроці за співвідношенням (2) розраховується ефективність, створеної системи ППО об'єкта прикриття.

Четвертим кроком є визначення показника наміру ЗПН (3). Для цього в роботі запропоновано використовувати показник курсу повітряної цілі відносно об'єкта прикриття.

На п'ятому кроці проводиться розрахунок ймовірності ураження об'єкта прикриття ЗПН противника (4).

Шостим кроком є розрахунок положення цілі у часі відносно об'єкта прикриття та визначення узагальненого векторного показника загрози.

При цьому ключовим етапом розв'язання багатокритеріальної векторної задачі полягає в зведенні її до однокритеріальної. Для цього можуть бути використанні методи представленні в [12, 13].

На наступному кроці проводиться перевірка встановленим критеріям та присвоєння ЗПН відповідного рівня загрози.

У якості критерію прийняття рішення можуть бути використані наступні значення:

- ціль не несе загрози ($W_{i,k,j}$ менше 0,2);
- третьорядний рівень ($W_{i,k,j}$ від 0,2 до 0,5);
- другорядний рівень ($W_{i,k,j}$ від 0,5 до 0,8);
- першорядний рівень ($W_{i,k,j}$ більше 0,8).

Числові значення, наведені вище є орієнтованими та можуть обиратися відповідно технічного завдання.

Отримані результати використовуються для ранжування повітряних цілей за рівнем загрози та при вирішенні задачі цілерозподілу.

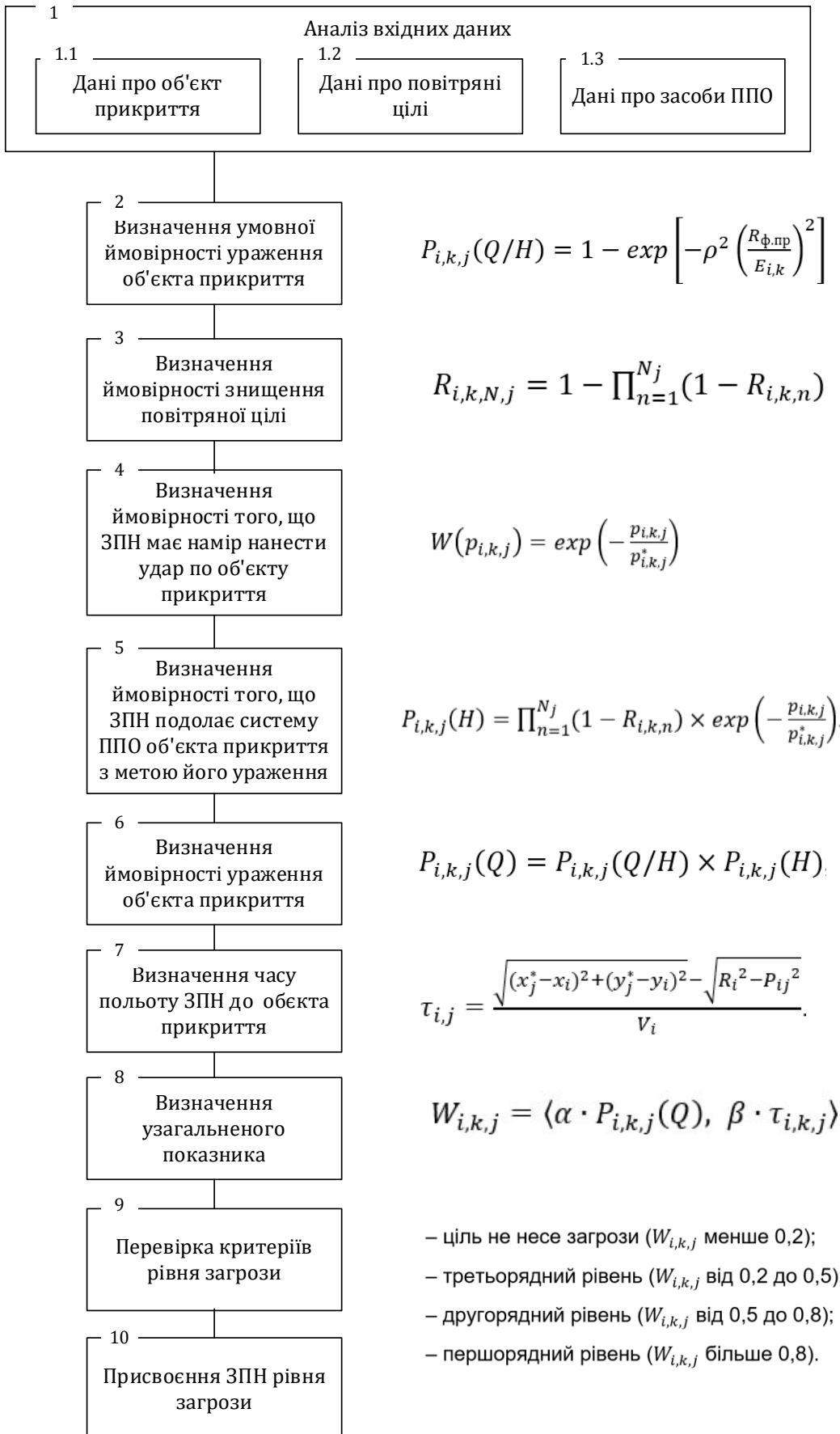


Рисунок 2 – Спрощена блок-схема методики оцінювання рівня загрози об'єктам прикриття від дії повітряного противника

Обговорення

Отже, за результатами дослідження сформульовано основні положення методики оцінювання рівня загрози об'єктів прикриття від дій повітряного противника, що базуються на системному аналізі характеристик ЗПН, параметрів їх бойового застосування та характеристиках вразливості об'єкта прикриття. Запропонована методика дозволяє здійснювати кількісну оцінку рівня загрози об'єкту прикриття в умовах невизначеності.

У якості показника оцінки рівня загрози запропоновано узагальнений показник, що враховує як параметри наміру і можливостей повітряної цілі, так і параметри наближення до об'єкту прикриття.

Розроблено математичну модель багаторфакторної оцінки загрози, яка включає ймовірнісні та часові показники, ефективності засобів ураження і захищеності об'єктів прикриття. Модель забезпечує ранжування повітряних цілей за пріоритетністю та може бути інтегрована у системи автоматизованого управління засобів ППО.

Висновки

Таким чином, практична реалізація запропонованої методики дозволить оптимізувати розподіл ресурсів та забезпечити обґрунтоване прийняття рішень щодо захисту критично важливих об'єктів та за рахунок цього підвищити ефективність функціонування систем ППО.

Подальші дослідження доцільно направити на створення алгоритмів оцінювання загрози в реальному часі у бойовій інформаційно-аналітичній системі, з урахуванням обмежень обчислювальних ресурсів та вимог до оперативності.

Список використаних джерел

1. Johansson F. Performance Evaluation of TEWA Systems for Improved Decision Support / Fredrik Johansson, Goran Falkman // Lecture Notes in Computer Science, 2009. – pp 205-216. – DOI:10.1007/978-3-642-04820-3_19.
2. Jorgensen, C.C., Strub, M.H. Analysis of manual threat evaluation and weapons assignment (TEWA), in the AN/TSQ-73 air defense system. Technical Report TR 419, U.S. Army, Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 1979). – 35 p.

3. A real-time man-in-loop threat evaluation and resource assignment in defense / Afshan Naseem, Shoab Ahmed Khan, Asad Waqar Malik // Journal of the Operational Research Society, 2017, № 68. – pp. 725-738.

4. Roux J.N. Real-time threat evaluation in a ground based air defence environment. / Roux J.N., van Vuuren J. // ORiON 24(1), 2008. – pp.75-101.

5. IRIS-T SLM Medium Range Ground Based Air Defense System / Interactive Electronic Technical Publications (DokMApp Ver. 1.8.0). – Diehl Defense, 2023.

6. NASAMS Ukraine – Theory of operation / ADS-N0013-00027-00 (Issue No. 001, 13.09.2022) – Norway: Kongsberg Defense & Aerospace, 2022. – 50 p. (Electronic Technical Publications). – Raytheon Company, 2019.

7. Roux J. N. Threat evaluation and weapon assignment decision support: A review of the state of the art / J. N. Roux, J. H. van Vuuren // ORiON. – 2007. – С. 151-187.

8. Згуровський М. З. Байсєвські мережі в системах підтримки прийняття рішень / М. З. Згуровський, П. І. Бідюк, О. М. Терентєв, Т. І. Просянкїна-Жарова. – К. : ТОВ Видавничє Підприємство “Едельвейс”, 2015. – 300 с.

9. Коваль В.В. Загальний підхід щодо визначення пріоритетності повітряних загроз відповідно до прогнозованих втрат для системи оповіщення, розпізнавання та попередження населення / В. В. Коваль, О. О. Олексєнко, В. А. Лупандїн, І. А. Нос // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2023, № 1(50). – С. 7-14. DOI: 10.30748/nitps.2023.50.01.

10. Бардачов Ю. М. Дискретна математика: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. М. Бардачов, Н. А. Соколова, В. Є. Ходаков. – К. : Вища школа, 2002. – 287 с.

11. Чєстакховський В. П. Автоматизовані системи управління військ протиповітряної оборони Сухопутних військ. Частна 1. Основи прбудови автоматизованих систем управління / В. П. Чєстакховський, В. А. Джаназян, В. П. Сорокин, В. В. Азарєнков. – Київ, 1977. – 396 с.

12. А. Osyzka, “An approach to multicriterion optimization problems for engineering design” Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1978, т.15, № 3. – pp. 309-333.

13. Семенова Н. В. Векторні задачі дискретної оптимізації на комбїнаторних множинах: методи дослідження та розв'язання: Монографія / Н. В. Семенова, Л. М. Колєчкіна. – Київ: Наукова думка, 2009. – 266 с.

¹Hryhorii Stepanov (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-9190-2821>

¹Pavlo Openko (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)

<https://orcid.org/0000-0001-7777-5101>

²Oleksandr Doska (Candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-9874-8716>

²Erik Riznichenko

<https://orcid.org/0009-0002-5659-8411>

¹The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF THREAT TO COVERED OBJECTS FROM AIR ENEMY ACTIONS

An analysis of combat operations in the Russian-Ukrainian war shows that ensuring reliable airspace protection is particularly important in today's environment. The increasing intensity of combat operations, the proliferation of unmanned aerial vehicles (UAVs), and the use of artificial intelligence algorithms in military operations require new approaches to the detection, analysis, and neutralization of threats by air defense systems (ADS). In this context, it is critically important to implement algorithms capable of quickly assessing the level of threat and rationally distributing available firepower resources, taking into account the uncertainty of input data.

One such solution is an algorithm for assessing the level of threat to covered objects, which is implemented in modern anti-aircraft missile systems (AAMS) such as IRIS-T SLM and NASAMS. This algorithm has proven its effectiveness in combat conditions. However, its effectiveness largely depends on its ability to operate in conditions of uncertainty and time, information, and resource constraints.

Given the complexity of the combat environment and the presence of numerous uncertain factors, the paper considers a methodological approach based on the use of a Bayesian network. This approach makes it possible to take into account the relationships between variables, calculate probabilities, and update them in real time based on new data, which allows for quick and reliable decision-making, does not require significant machine memory, and takes into account both the dynamic nature of threats and the limitations of combat resources, which is particularly relevant in the context of modern warfare.

Key words: threat assessment, airborne adversary, weapons, anti-aircraft missile system, cover object.

References

1. Johansson F. Performance Evaluation of TEWA Systems for Improved Decision Support / Fredrik Johansson, Goran Falkman // Lecture Notes in Computer Science, 2009. – pp 205-216. – DOI:10.1007/978-3-642-04820-3_19.
2. Jorgensen, C.C., Strub, M.H. Analysis of manual threat evaluation and weapons assignment (TEWA), in the AN/TSQ-73 air defense system. Technical Report TR 419, U.S. Army, Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 1979). – 35 p.
3. A real-time man-in-loop threat evaluation and resource assignment in defense / Afshan Naseem, Shoab Ahmed Khan, Asad Waqar Malik // Journal of the Operational Research Society, 2017, № 68. – pp. 725-738.
4. Roux J.N. Real-time threat evaluation in a ground based air defence environment. / Roux J.N., van Vuuren J. // ORiON 24(1), 2008. – pp.75-101.
5. IRIS-T SLM Medium Range Ground Based Air Defense System / Interactive Electronic Technical Publications (DokMApp Ver. 1.8.0). – Diehl Defense, 2023.
6. NASAMS Ukraine – Theory of operation / ADS-N0013-00027-00 (Issue No. 001, 13.09.2022) – Norway: Kongsberg Defense & Aerospace, 2022. – 50 p. (Electronic Technical Publications). – Raytheon Company, 2019.
7. Roux J. N. Threat evaluation and weapon assignment decision support: A review of the state of the art / J. N. Roux, J. H. van Vuuren // ORiON. – 2007. – C. 151-187.
8. Zghurovskiy M. Z., Bidiuk P. I., Terentiev O. M., Proskiankina-Zharova T. I. Baiesivski merezhi v systemakh pidtrymky pryiniattia rishen. – K. : TOV Vydavnyche Pidpriemstvo “Edelveis”, 2015. – 300 s.
9. Koval V. V., Oleksenko O. O., Lupandin V. A., Nos I. A. Zahalniy pidkhid shchodo vyznachennia priorytetnosti povitrianykh zahroz vidpovidno do prohnzovanykh vtrat dlia systemy opovishchennia, rozpoznavannia ta poperedzhennia naseleennia. // Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy, 2023, № 1(50). – S. 7–14. DOI: 10.30748/nitps.2023.50.01.
10. Bardachov Yu. M., Sokolova N. A., Khodakov V. Ye. Diskretna matematyka: pidruch. dlia stud. vyshch. navch. zakl. – K. : Vyshcha shkola, 2002. – 287 s.
11. Chestakhovskiy V. P., Dzhanazian V. A., Sorokin V. P., Azarenkov V. V. Avtomatyzovani systemy upravlinnia viisk protypovitrianoi oborony Sukhoputnykh viisk. Chastyna 1. Osnovy pobudovy avtomatyzovanykh system upravlinnia. – Kyiv, 1977. – 396 s.
12. Osyzka A. “An approach to multicriterion optimization problems for engineering design.” Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1978, t. 15, № 3. – pp. 309–333.
13. Semenova N. V., Koliachkina L. M. Vektorni zadachi dyskretnoi optymizatsii na kombinatorykh mnozhynakh: metody doslidzhennia ta rozv’iazannia: Monohrafiia. – Kyiv: Naukova dumka, 2009. – 266 s.