

УДК 355.424



С. П. Коваленко



А. Ф. Волков



С. І. Корсунов

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИКРИТТЯ НАЗЕМНИХ СИЛ ПІДРОЗДІЛАМИ ППО ПРИ ВЕДЕННІ ЛОКАЛЬНИХ КОНФЛІКТІВ

У статті пропонується методика, яка дозволяє оцінити ефективність прикриття дій наземних сил ланки “рота–батарея” підрозділами протиповітряної оборони. Методика дає можливість командирові оцінювати варіанти структури протиповітряної оборони, вибирати з них раціональну, з кращою ефективністю прикриття, та допомагає йому прийняти правильне рішення на відбиття ударів з повітря. Також методика дозволяє оцінити ефективність прикриття озброєння та інфраструктури наземних сил і визначити спроможність підрозділів протиповітряної оборони прикрити дії наземних сил з повітря.

К л ю ч о в і с л о в а: методика, розрахунок ефективності, локальні конфлікти, протиповітряна оборона, дуельні ситуації, модель бою, граф можливих станів, повітряний простір.

Постановка проблеми. Основне завдання підрозділів протиповітряної оборони (ППО) – прикривати дії наземних сил (механізованих, мотопіхотних і танкових частин) з повітря безпосередньо в їх складі. Командирам необхідно в короткий час приймати рішення, не знаючи фронту та глибини територіального простору. Зазвичай такий простір розтягнутий по фронту, що призводить до збільшення площі позиційних районів дій наземних сил і навантаження на підрозділи ППО. Прийняти правильне рішення складно, через те що командири не знають, чи здатні їх підрозділи ППО прикрити наземні сили з повітря в новому позиційному районі. Для цього необхідно обґрунтувати можливість ефективного виконання бойового завдання. З цією метою пропонується методика, яка дозволяє вирішити це питання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Все частіше в багатьох джерелах автори наводять аналіз ефективності застосування різних підрозділів [1–8] в локальних конфліктах останніх десяти років [9–14]. Актуальним питанням на сьогоднішній день є й заходи ППО з прикриття з повітря всіх підрозділів, які залучаються до припинення конфліктних ситуацій. Успіх будь-яких бойових дій залежить від умілого управління та наявності засобів автоматизації процесу управління [1–8], у яких алгоритми та математичний апарат [4, 5] дозволять за дуже короткий час вирішувати питання збирання [4–9], оброблення інформації та цілерозподілу [10–14] між підрозділами ППО, які прикривають район дій з повітря.

Мета статті – розробити методику розрахунку ефективності прикриття дій наземних сил з повітря підрозділами ППО в нових позиційних районах, розміри яких по фронту та в глибину невідомі.

Виклад основного матеріалу. Локальні конфлікти відрізняються своєю непередбачуваністю та швидкою зміною обстановки. Досвід останніх локальних військових конфліктів у Сирії та Нагорному Карабасі підтверджує факт широкого використання комп’ютерних технологій і безпілотних засобів розвідки та нападу, що змінює підхід до ведення бойових дій будь-якого роду збройних сил [8]. Виходячи з цього, необхідно проаналізувати можливості діючих засобів ППО з прикриття наземних сил з повітря в складній ситуації у локальних конфліктах. А саме – дослідити можливості підрозділів ППО з прикриття площинних об’єктів ланки “рота–батарея” у разі збільшення розмірів їх позиційних районів.

Для виконання поставленого завдання пропонується використовувати теорію ймовірностей. Припустимо, що площа зон ураження зенітних комплексів (площа прикриття об’єкта) відноситься до площі позиційного району дій наземних сил як імовірність знищення цілі в зоні ураження зенітних

комплексів відноситься до ймовірності прикриття підрозділами ППО дій наземних сил ланки “рота–батарея”. Враховуючи таке припущення, можна розрахувати ймовірність прикриття підрозділами ППО дій наземних сил ланки “рота–батарея”.

Сьогодні для оповіщення підрозділів ППО про наліт повітряного противника розроблена нова система автоматизованого управління засобами ППО різного рівня нового покоління, яка отримала назву “Вертикаль А” [7]. Крім цього, для підрозділів ППО розроблений комп’ютерний програмний комплекс “Віраж”, який використовується зараз в зоні проведення ООС. Він призначений для автоматизації процесів збирання, оброблення, відображення та видачі інформації про повітряну обстановку на неавтоматизованих командних пунктах та пунктах управління підрозділів ППО. Але він не допомагає командирам підрозділів ППО різного рівня в прийнятті правильного рішення на прикриття наземних сил від ударів з повітря.

Розглянемо протиповітряний бій як дуельні ситуації між засобами повітряного нападу (ЗПН) та зенітними ракетними комплексами (ЗРК) і зенітними артилерійськими комплексами (ЗАК) підрозділів ППО наземних сил. Розрізнятимемо можливі стани S_{ij} протиповітряного бою за кількістю i уражених ЗРК у кожному стані та кількістю j цілей, що одночасно обстрілюються. Тоді, враховуючи можливості обстрілу та знищення цілей, можна виділити три основні стани ЗРК (ЗАК): S_{00} – не уражений, вільний; S_{01} – не уражений, обстрілює одну ціль; S_{10} – уражений, ціль не обстрілює [1].

Перехід із стану S_{00} у стан S_{01} можливий у разі виявлення чергової цілі противника, що проходить через зону ураження ЗРК (ЗАК). Частота таких переходів подана на рис. 1 [1, 2].

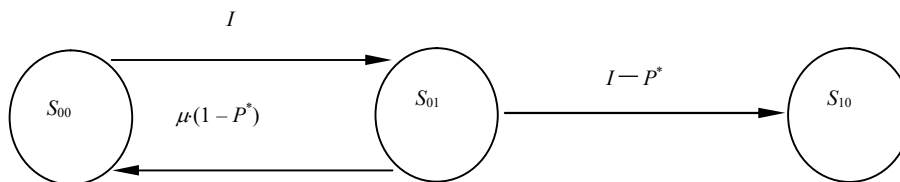


Рисунок 1 – Частота переходів ЗРК (ЗАК) із стану в стан

Обстріл цілі може тривати деякий випадковий час циклу стрільби з математичним сподіванням μ і може закінчитися поразкою ЗРК (ЗАК) (перехід у стан S_{10} на рис. 1 з імовірністю P^* ($0 < P^* \leq 1$)) або може мати благополучний для ЗРК (ЗАК) результат з імовірністю $1 - P^*$. Кожна обстріляна ціль може бути знищена з імовірністю P_{zn} .

Припустимо, що своєчасно виявляються усі цілі, поразка ЗРК можлива тільки в дуельному бою. Тоді для графа (рис. 1) можна записати систему диференціальних рівнянь Чепмена – Колмогорова, яка описує протиповітряний бій ЗРК (ЗАК) [1]:

$$\begin{aligned} \dot{P}_{00} &= -I \cdot P_{00} + \mu \cdot (1 - P^*) \cdot P_{01}; \\ \dot{P}_{01} &= -\mu \cdot P_{01} + I \cdot P_{00}; \\ \dot{P}_{10} &= \mu \cdot P^* \cdot P_{01}. \end{aligned} \quad (1)$$

На початку бою ЗРК (ЗАК) боєготовий і цілі в його зоні ураження відсутні

$$P_{00}(0) = 1, \quad P_{01}(0) = 0, \quad P_{10}(0) = 0. \quad (2)$$

Інтегруючи систему (1) за початкових умов (2) знаходимо

$$\begin{aligned} P_{00} &= \frac{1}{\alpha} \left[(1 - \rho) \cdot \text{sh} \frac{\zeta \cdot t}{2} + \alpha \cdot \text{ch} \frac{\zeta \cdot t}{2} \right] \cdot e^{-\frac{(1+\rho)}{2} \cdot \mu \cdot t}; \\ P_{01} &= 2 \cdot \frac{\rho}{\alpha} \cdot \text{sh} \frac{\zeta \cdot t}{2} \cdot e^{-\frac{(1+\rho)}{2} \cdot \mu \cdot t}; \\ P_{10} &= 1 - \frac{1}{\alpha} \left[(1 + \rho) \cdot \text{sh} \frac{\zeta \cdot t}{2} + \alpha \cdot \text{ch} \frac{\zeta \cdot t}{2} \right] \cdot e^{-\frac{(1+\rho)}{2} \cdot \mu \cdot t}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\rho = \frac{I}{\mu}$; $\alpha = \sqrt{1 + \rho + 2\rho \cdot (1 - P^*)}$; $\zeta = \alpha \cdot \mu$.

Математичне сподівання кількості обстріляних цілей з моменту t бою пропорційно часу перебування ЗРК (ЗАК) в зайнятому стані та його продуктивності $\mu = \frac{1}{T_u}$:

$$N(t) = \mu \int_0^t P_{01}(\tau) d\tau = \frac{1}{\alpha \cdot P^*} \left[\alpha - (1 + \rho) \cdot \operatorname{sh} \frac{\zeta \cdot t}{2} + \alpha \cdot \operatorname{ch} \frac{\zeta \cdot t}{2} \cdot e^{-\frac{(1+\rho)}{2} \mu t} \right]. \quad (4)$$

Математичне сподівання $N_{\text{зн}}(t)$ кількості знищених цілей пропорційне кількості $N(t)$ боїв

$$N_{\text{зн}}(t) = P_{\text{зн}} \cdot N(t). \quad (5)$$

Тоді граничні значення математичних сподівань кількості боїв (обстріляних цілей) і знищених ЗПН для необмеженого боєкомплекту ЗРК (ЗАК) і кількості ЗПН в ударі знайдемо з виразів (4) і (5) відповідно:

$$N_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = \frac{1}{P^*}; \quad (6)$$

$$N_{\text{зн} \infty} = P_{\text{зн}} \cdot \frac{1}{P^*}. \quad (7)$$

Наслідком переходу ЗРК (ЗАК) із одного стану в інший є рівність

$$n^*(t) = N^*(t) = N_y^*(t). \quad (8)$$

Знайдемо відносну кількість боїв, розділивши формулу (4) на вираз (6):

$$N^*(t) = 1 - \frac{1}{\alpha} \left[(1 + \rho) \cdot \operatorname{sh} \frac{\zeta \cdot t}{2} + \alpha \cdot \operatorname{ch} \frac{\zeta \cdot t}{2} \right] \cdot e^{-\frac{(1+\rho)}{2} \mu t}. \quad (9)$$

Вираз для відносної кількості знищених ЗПН $N_{\text{зн}}^*(t)$ співпадає з рівністю (9). Дійсно,

$$N_{\text{зн}}^*(t) = \frac{N_{\text{зн}}(t)}{N_{\text{зн} \infty}} = \frac{N(t) \cdot P_{\text{зн}}}{N_{\infty} \cdot P_{\text{зн}}} = \frac{N(t)}{N_{\infty}} = N^*(t). \quad (10)$$

Відносне значення математичного сподівання кількості уражених ЗРК (ЗАК) співпадає з P_{10} :

$$n^*(t) = \frac{n(t)}{n_0} = n(t) = 0 \cdot (P_{00} + P_{01}) + 1 \cdot P_{10} = P_{10}. \quad (11)$$

Порівнюючи вираз (3) для P_{10} і формулу (9), переконуємося в їх тотожності, що з урахуванням рівності (10) дозволяє стверджувати істинність рівності (8) відносних втрат сторін для даної моделі методики.

Таким чином, отримана модель протиповітряного бою ЗРК (ЗАК) в умовах повної інформації є адекватною реальному процесу з точністю прийнятих гіпотез [1, 2].

Загальний потік цілей інтенсивності I розділяється на потік тих, які виявляються (інтенсивності $I_{\text{вияв}}$), і ЗПН, які не виявляються (інтенсивності $I_{\text{п}}$), які можуть безкарно вражати ЗРК (ЗАК). Для придушення системи ППО противник виділяє деяку частину Q ЗПН удару ($0 \leq Q \leq 1$). Тому можна вважати, що зі складу ЗПН, які не виявляються, частину цілей Q безкарно атакують і знищують ЗРК (ЗАК) з імовірністю $P_{\text{зн}}$ в результаті кожного безкарного удару [6]. Якщо позначити ймовірність своєчасного виявлення цілей $P_{\text{вияв}}$, то інтенсивність $I_{\text{п}}$ безкарних знищуючих ударів

$$I_{\Pi} = I \cdot (1 - P_{\text{вияв}}) \cdot Q \cdot P_{\text{зн}} \quad (12)$$

Таким ударам ЗРК (ЗАК) піддається як у вільному S_{00} , так і в зайнятому стрільбою S_{01} стані. Крім того, частина цілей Q зі складу своєчасно виявлених може також виконувати безкарні знищуючі удари по ЗРК (ЗАК), якщо застають комплекс зайнятим обстрілом (у стані S_{01}). Нехтуючи можливістю відновлення ураженого ЗРК (ЗАК) за час бою, отримуємо граф можливих станів і переходів для ЗРК (ЗАК) у процесі бою, що поданий на рис. 2, де

$$\begin{aligned} I_{\text{вияв}} &= I \cdot P_{\text{вияв}}; \quad I_{\text{в}} = \mu \cdot (1 - P^*); \\ I_{\Pi} &= I \cdot (1 - P_{\text{вияв}}) \cdot Q \cdot P_{\text{зн}}; \\ I_{\text{в}} &= \mu \cdot P^* + I_{\Pi} + I_{\text{вияв}} \cdot Q \cdot P_{\text{зн}}. \end{aligned} \quad (13)$$

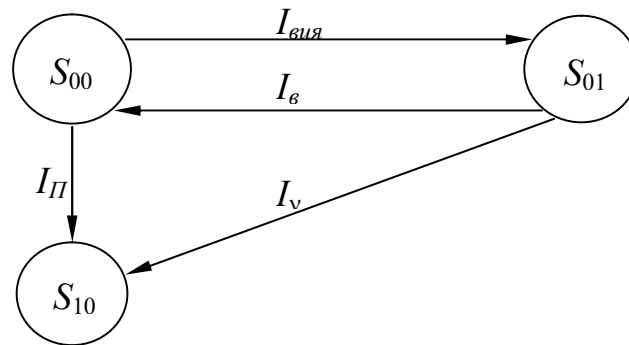


Рисунок 2 – Граф можливих станів і переходів для ЗРК(ЗАК) у процесі бою

Тоді система диференціальних рівнянь для ймовірності станів протиповітряного бою ЗРК (ЗАК) набуде такого вигляду [1]:

$$\begin{aligned} \dot{P}_{00} &= -(I_{\text{вияв}} + I_{\Pi}) \cdot P_{00} + I_{\text{в}} \cdot P_{01}; \\ \dot{P}_{01} &= -(I_{\text{в}} + I_{\text{в}}) \cdot P_{01} + I_{\text{вияв}} \cdot P_{00}; \\ \dot{P}_{10} &= I_{\Pi} \cdot P_{00} + I_{\text{в}} \cdot P_{01}, \end{aligned} \quad (14)$$

звідки, після інтегрування за початкових умов (2) і з урахуванням виразу (4), можна отримати

$$\begin{aligned} P_{00} &= \frac{1}{b_4} [(b_1 + a_1) \cdot e^{a_1 t} - (b_1 + a_2) \cdot e^{a_2 t}]; \\ P_{01} &= \frac{I_{\text{вияв}}}{\chi_4} [e^{\gamma_1 t} - e^{\gamma_2 t}]; \\ P_{10} &= 1 - \frac{1}{\chi_4} [(\chi_1 + I_{\text{вияв}} + \gamma_1) \cdot e^{\gamma_1 t} - (\chi_1 + I_{\text{об}} + \gamma_2) \cdot e^{\gamma_2 t}]; \\ N(t) &= \mu \cdot \frac{I_{\text{вияв}}}{\chi_4} \left[\frac{1}{\gamma_1} (e^{\gamma_1 t} - 1) - \frac{1}{\gamma_2} (e^{\gamma_2 t} - 1) \right], \end{aligned} \quad (15)$$

де

$$\begin{aligned} \chi_1 &= I_{\text{в}} + I_{\text{в}}; \quad \chi_2 = I_{\text{вияв}} + I_{\Pi}; \quad \chi_3 = \chi_1 + \chi_2; \\ \chi_4 &= \sqrt{\chi_3^2 - 4 \cdot (\chi_1 \cdot \chi_2 - I_{\text{вияв}} \cdot I_{\text{в}})}; \\ \gamma_1 &= -\frac{1}{2} \cdot (\chi_3 - \chi_4); \quad \gamma_2 = -\frac{1}{2} \cdot (\chi_3 + \chi_4). \end{aligned} \quad (16)$$

Для грубого оцінювання очікуваних результатів протиповітряного бою підрозділів ППО наземних сил, включаючи n_0 одноканальних по цілі ЗРК (ЗАК), які відбивають удар противника інтенсивністю I зпн/хв, модель бою угруповання можна замінити сукупністю моделей боїв (15) поодиноких ЗРК (ЗАК), кожен з яких відбиває удари інтенсивністю

$$I_1 = \frac{I}{n_0}, \quad (17)$$

а загальний результат обчислити як суму результатів протиповітряних боїв поодиноких ЗРК (ЗАК).

Знаючи модель бою та порядок оцінювання в цій моделі, можна перейти до методики оцінювання ефективності стрільби визначеного підрозділу, яка допомагає командирові підрозділу ППО визначити спроможність підрозділу прикрити дії наземних сил з повітря і, як результат, прийняти правильне рішення.

Складовою успіху дій наземних сил стає їх надійна протиповітряна оборона, завдання якої доводиться виконувати в типових умовах інформаційного та вогневого протиборства з повітряним противником та жорсткого ліміту часу.

Серед завдань управління ППО основними є: організація системи ППО дій наземних сил до й у ході протиповітряного бою; своєчасне виявлення ЗПН противника та забезпечення засобів ППО бойовою інформацією [6]; управління вогнем різнорідних засобів ППО.

Кожне із зазначених завдань є багатопараметричним, вирішується в реальному масштабі часу та в умовах неповної, неточної інформації і дезінформації з боку противника [7]. Якість рішення будь-якого з них істотно впливає на результати ППО, тому для цього необхідно використовувати засоби автоматизації, які наразі недосконалі. Необхідні автоматизовані алгоритмічні та апаратні засоби, які б могли здійснювати: синтез елементів раціональної структури інформаційних і вогневих засобів ППО; вирішувати завдання цілерозподілу та цілевказання за даними про цілі [7]; автоматичне передавання команд управління на вогневі засоби ППО; отримання від вогневих засобів ППО доповідей і даних про цілі; документування процесів бойової роботи та тренажу.

Для вирішення поставленого завдання потрібні моделі, які б дозволяли оцінювати ефективність бойового застосування ППО з урахуванням варіанта її організації та структури, а також модель прогнозу ефективності бойових дій системи ППО в динаміці умов очікуваних і поточних бойових дій та з урахуванням параметрів структури інформаційних зв'язків системи ППО. Такого комплексу моделей для системи ППО дій наземних сил ще немає, але є часткові аналітико-стохастичні моделі прогнозу ефективності бойових дій засобів ППО.

Отже, пропонується методика, яка все це враховує й допомагає командирові підрозділу ППО оцінювати варіанти своєї структури, вибирати раціональну, з кращою ефективністю прикриття, та допомагає прийняти правильне рішення на відбиття ударів з повітря.

Методика умовно зображена на рис. 3 у вигляді блок-схеми алгоритму оцінювання ефективності ЗРК (ЗАК), вибору параметрів елементів і структури підрозділів ППО, пропозицій командирові стосовно ефективності вибраної структури для прийняття рішення на ведення бойових дій.

Запропонована методика припускає вибір типового складу внутрішніх і зовнішніх джерел радіолокаційної інформації, пряму обміну даними, складу завдань обробки даних, формування рекомендацій щодо складу засобів ППО і їх управління.

Після збирання початкової інформації, необхідної для розрахунків, визначаються параметри очікуваного удару ЗПН, дані для розрахунку параметрів структури та інформаційних зв'язків засобів ППО бригади (блок 1).

Модель оцінювання ефективності ППО (блок 2) з урахуванням інформаційних зв'язків між ЗРК (ЗАК) забезпечує прогнозування ефективності стрільби вогневих засобів ППО в різних умовах очікуваних і поточних бойових дій з метою наступного вибору раціональних параметрів структури інформаційних зв'язків системи ППО дій наземних сил. Таким чином враховуються кількість засобів радіолокаційної інформації та структура інформаційних зв'язків між батареями і ЗРК. Це впливає на середнє значення $P_{\text{вияв}}$ за час протиповітряного бою з урахуванням знищення командних пунктів дій наземних сил [3, 4, 5].

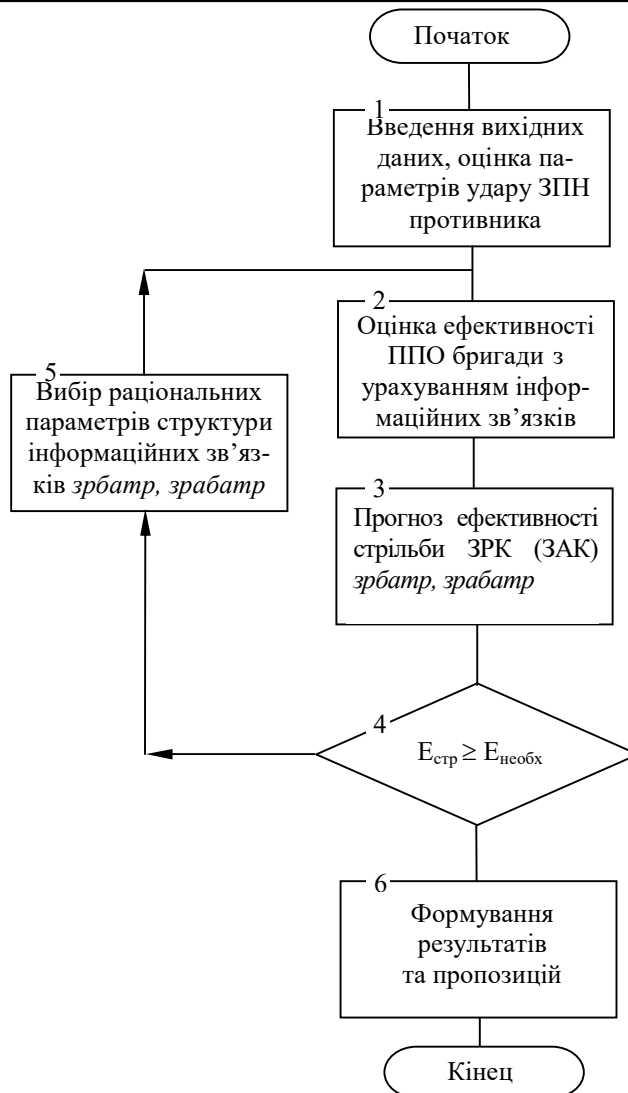


Рисунок 3 – Методика розрахунку ефективності прикриття дій наземних сил підрозділами ППО

Середнє за часом бою значення ймовірності виявлення $P_{\text{вияв}}$ цілей в угрупованні ППО дій наземних сил з повітря може бути визначене за формулою

$$P_{\text{вияв}}^{\text{ср}} = P_{\text{вияв}}^{\text{АСУ}} \cdot \frac{t_1}{t_{\text{бою}}} + P_{\text{вияв}}^{\text{ССЦ}} \cdot \frac{t_2}{t_{\text{бою}}}, \quad (18)$$

де t_1 – середній час існування командного пункту дій наземних сил і централізованого управління вогнем;

$t_2 = t_{\text{бою}} - t_1$ як середнє значення часу децентралізованого виконання завдань ЗРК (ЗАК) у ході протиповітряного бою.

Оцінювання ефективності автоматизованої системи управління ППО бригади (блок 2) здійснюється за забезпеченням бойовою інформацією (інформацією для вирішення завдань цілевказання та цілерозподілу ЗРК (ЗАК) по цілях, які налітають). У разі якісного рішення завдань збирання, обробки радіолокаційної інформації і завдань цілевказання та цілерозподілу можна очікувати: зменшення часу циклу стрільби завдяки скороченню часу пошуку цілі, ухвалення рішення на обстріл і організацію стрільби в глибині зони ураження; зменшення ймовірності знищення ЗРК (ЗАК) вогнем у відповідь ЗПН противника через скорочення циклу стрільби, а також додаткові заходи захисту ЗРК (ЗАК) (стрільба із запізненням включення високої напруги на випромінювання та наведення ЗРК по координатах цілевказання) [3, 4, 5].

За результатами операцій блока 2 готуються початкові дані ($P_{\text{вияв}}$, m і P^*) для розрахунків за

формульною схемою блока 3.

Модель прогнозу ефективності бойових дій вогневих засобів ППО бригади (блок 3) дозволяє прогнозувати значення математичного сподівання кількості обстріляних $N_{обс}$ і знищених $N_{зн.ц}$ ЗПН противника, кількості знищених ЗРК (ЗАК). У спрощеному вигляді модель описується послідовністю формул для розрахунків з урахуванням динаміки протиповітряного бою.

1. Загальна інтенсивність I удару ЗПН

$$I = \frac{N_{ЗПН}}{t_{бою}} . \quad (19)$$

2. Математичне сподівання кількості ЗПН у групах у складі удару ЗПН

$$G_{ЗПН} = \sum_{i=1}^l i \cdot a_i . \quad (20)$$

3. Інтенсивність частини вхідного потоку ЗПН (за висотою польоту) та інтенсивність I_1 , що приходить на одну *зрбатр*, *зрбатр*

$$I_{вх} = I \cdot \sum_j BH_j ; \quad I_1 = \frac{I}{n_0} . \quad (21)$$

Значення j беруть для висот, на яких цілі можуть бути обстріляні відповідно до їх характеристик.

4. Радіус зони ураження ЗРК (ЗАК) кожного типу з урахуванням доступної за висотою польоту частини вхідного потоку ЗПН та кутів закриття

$$R_k^2 = \sum_j BH(H_j) \cdot R_k^2(H_j) . \quad k = 1, \dots, q \quad (22)$$

5. Допоміжна величина, необхідна для розрахунку зон ураження

$$L = \sum_{k=1}^q m_k \cdot R_k^2 . \quad (23)$$

6. Ймовірність P знищення ЗРК (ЗАК) k -го типу в ході одного протиповітряного бою з повітряною ціллю. Її приблизно можна оцінити з урахуванням сумарної середньої кількості основних і запасних позицій ЗРК (ЗАК) ($N_{сп, k}$, K_1) і кількості цільових каналів ЗРК (ЗАК) ($N_{цк, k}$, K_1)

$$P_k^* \cong \frac{0,5}{N_{сп, k} \cdot N_{цк, k}} , \quad k = \overline{1, q} . \quad (24)$$

7. Середнє значення ефективності ЗРК (ЗАК) як ймовірності знищення ЗРК (ЗАК) у бою та ймовірність знищення цілі $P_{зн}$ при її обстрілі [1, 2]

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{L} \cdot \sum_{k=1}^q \mu_k \cdot m_k \cdot N_{цк, k} \cdot R_k^2 ; \\ P^* &= \frac{1}{L} \cdot \sum_{k=1}^q P_k^* \cdot m_k \cdot N_{цк, k} \cdot R_k^2 ; \\ P_{зн} &= \frac{1}{L} \cdot \sum_{k=1}^q P_y^k \cdot m_k \cdot N_{цк, k} \cdot R_k^2 . \end{aligned} \quad (25)$$

8. Коефіцієнти визначення вкладів типів ЗРК (ЗАК) у загальний результат бойових дій підрозділів ППО дій наземних сил

$$\alpha_k = \frac{\mu_k \cdot m_k \cdot N_{цк, k} \cdot R_k^2}{\sum_{k=1}^q \mu_k \cdot m_k \cdot N_{цк, k} \cdot R_k^2} , \quad k = 1, \dots, q . \quad (26)$$

9. Максимально можлива кількість ЗПН, які обстрілюються N_{max} , в дуельних боях до моменту знищення всіх ЗРК (ЗАК) підрозділів ППО, за умови відсутності обмежень на кількість ЗПН в ударі, на час удару і на кількість ракет у ЗРК та боеприпасів у ЗАК

$$N_{\max} = \frac{n_0}{P^*}. \quad (27)$$

10. Середнє значення коефіцієнта перекриття зон ураження ЗРК (ЗАК) ППО

$$S_3^n = \frac{4}{L_{\text{ФР}} \cdot L_{\text{Г}}} \cdot \sum_{k=1}^q m_k \cdot N_{\text{ЦК},k} \cdot R_k^2. \quad (28)$$

11. Граничне значення коефіцієнта перекриття зон ураження ЗРК (ЗАК) ППО

$$S_3^r = \sum_{k=1}^q m_k \cdot N_{\text{ЦК},k}. \quad (29)$$

12. Оціночне значення коефіцієнта перекриття зон ураження ЗРК (ЗАК) ППО

$$S_3 = \min (S_3^n; S_3^r). \quad (30)$$

13. Проміжне значення коефіцієнта завантаження ЗРК (ЗАК) підрозділів ППО

$$\rho = \frac{I_1}{\mu}. \quad (31)$$

14. Оціночне значення коефіцієнта участі ЗРК (ЗАК) у бою з урахуванням ефекту “неповної доступності” підрозділів ППО (розташування на місцевості, часте переміщення)

$$a = \begin{cases} 1,0 & \text{при } S_3 < 1; \\ 1,33 - 0,32 \cdot S_3 - 0,02 \cdot S_3^2 & \text{у іншому випадку;} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0,84 - 0,47 \cdot S_3 - 0,4 \cdot S_3^2 & \text{при } S_3 < 1; \\ 0 & \text{у іншому випадку;} \end{cases} \quad (32)$$

$$K_y = \begin{cases} 1,0 & \text{при } S_3 > 10; \\ 1 - a \cdot (b + \rho) \cdot \exp(-\rho) & \text{у іншому випадку.} \end{cases}$$

15. Коефіцієнт, який ураховує груповий склад ЗПН в ударі

$$\eta = \begin{cases} \frac{S_3}{G_{\text{ЗПН}}} & \text{при } S_3 < G_{\text{ЗПН}}; \\ 1 & \text{у іншому випадку.} \end{cases} \quad (33)$$

16. Коефіцієнт завантаженості ЗРК (ЗАК)

$$\rho_1 = \rho \cdot K_y \cdot \eta. \quad (34)$$

17. Значення відносних втрат сторін у динаміці бою (з урахуванням мобільних ЗРК (ЗАК), розмірів їх зони ураження, стрільби під час руху і з короткої зупинки, частки Q ЗПН, які виділяються для знищення ЗРК і з урахуванням безкарних ударів по позиціях ЗРК (ЗАК)) [1, 2]:

$$I_{\text{вняв}} = I_1 \cdot P_0 \cdot K_y; \quad I_{\text{П}} = I_1 \cdot (1 - P_0);$$

$$I_v = \mu \cdot P^* + I_1 \cdot Q \cdot P_{y3}; \quad I_b = \mu \cdot (1 - P^*); \quad (35)$$

$$\chi_1 = I_b + I_v; \quad \chi_2 = I_{\text{вняв}} + I_{\text{П}}; \quad \chi_3 = \chi_1 + \chi_2;$$

$$\chi_4 = \sqrt{\chi_3^2 - 4 \cdot (\chi_1 \cdot \chi_2 - I_{\text{вняв}} \cdot I_b)}; \quad (36)$$

$$\gamma_1 = \frac{\chi_3 - \chi_4}{2}; \quad \gamma_2 = \frac{\chi_3 + \chi_4}{2}. \quad (37)$$

18. Значення математичного сподівання величини відносних втрат сторін $P_{10}(t)$, кількість обстріляних цілей [1]:

$$P_{10}(t) = 1 - \frac{1}{\chi_4} \cdot [(\chi_1 + I_{\text{вияв}} - \gamma_1) \cdot e^{-\gamma_1 t} - (\chi_1 + I_{\text{вияв}} - \gamma_2) \cdot e^{-\gamma_2 t}] \quad (38)$$

$$W_y = P_y \cdot N_{\text{обс.1}}; \quad (39)$$

$$N_{\text{обс.1}} = \eta \cdot \mu \cdot \frac{I_{\text{вияв}}}{\chi_4} \cdot \left[\frac{1}{\gamma_1} \cdot (1 - e^{-\gamma_1 t}) - \frac{1}{\gamma_2} \cdot (1 - e^{-\gamma_2 t}) \right]. \quad (40)$$

19. Кількість обстріляних $N_{\text{обс}}$ і знищених $N_{\text{зн}}$ ЗПН, а також знищених ЗРК $n_{\text{зн.зрк}}$:

$$N_{\text{обс}} = N_{\text{обс.1}} \cdot n_0; \quad N_{\text{зн}} = W_y \cdot n_0; \quad n_{\text{зн.зрк}} = P_{10}(t) \cdot n_0. \quad (41)$$

20. Розподіл математичного сподівання кількості втрат сторін і обстрілу ЗПН противника за типами ЗРК (ЗАК):

$$\begin{aligned} N_{\text{обс.к}} &= N_{\text{обс}} \cdot \alpha_k; & N_{\text{зн.ц.к}} &= N_{\text{зн.ц}} \cdot \alpha_k; \\ n_{\text{зн.зрк.к}} &= n_{\text{зн.зрк}} \cdot \alpha_k; & k &= \overline{1, q}. \end{aligned} \quad (42)$$

21. Оцінка математичного очікування кількості знищених об'єктів прикриття ланки “рота–батарея” $N_{\text{р-б}}$ [1]:

$$N_{\text{р-б}}^{\text{зн}} = \min(N_{\text{р-б}}^{\text{н}}; \frac{N_{\text{зпн}} - N_{\text{зн.ц}}}{n_1}); \quad (43)$$

$$N_{\text{р-б}} = N_{\text{р-б}}^{\text{н}} - N_{\text{р-б}}^{\text{зн}}. \quad (44)$$

У формулах введені такі позначення: $P_{\text{вияв}}$ – ймовірність своєчасного виявлення ЗПН противника; n_0 – початкова кількість ЗРК (ЗАК) у підрозділах ППО; n_1 – полігонний наряд ЗПН для знищення об'єкта ланки “рота–батарея”; $N_{\text{р-б}}^{\text{н}}$ – початкова кількість не знищених об'єктів ланки “рота–батарея”; $N_{\text{р-б}}^{\text{зн}}$ – знищені об'єкти ланки “рота–батарея”; $N_{\text{зпн}}$ – кількість ЗПН противника в ударі; P^* – ймовірність знищення ЗРК (ЗАК) повітряною ціллю за період одного циклу стрільби; μ – ефективність ЗРК (ЗАК) з обстрілу цілей.

Після визначення очікуваних значень показників ефективності стрільби ЗРК (ЗАК) системи ППО дій наземних сил, у разі їх незадовільного значення (блок 4), відбувається перехід до вибору раціональних параметрів структури інформаційних зв'язків системи ППО (блок 5) і потім – до повторення розрахунків.

У протилежному випадку рішення задачі оцінювання ефективності та вибору раціональних параметрів структури інформаційних зв'язків ЗРК (ЗАК) системи ППО вважається закінченим (блок 6). За наявності підготовлених програм таке завдання може вирішуватися завчасно або в ході бою.

Висновки

Запропонована методика розрахунку ефективності прикриття дій наземних сил підрозділами ППО дає можливість оцінити ефективність ведення бойових дій ЗРК (ЗАК) при відбитті нападу з повітря, вибрати параметри елементів і структуру підрозділів ППО. Така методика допомагає військовому командирові підрозділів ППО різного рівня ієрархії оцінювати варіанти своєї структури, вибрати раціональні інформаційні зв'язки з кращою ефективністю прикриття та допомагає прийняти правильне рішення на відбиття ударів з повітря.

Перелік джерел посилання

1. Бойове застосування високоточних засобів поразення і особливості боротьби з ними / В. І. Ткаченко та ін. Харків : ХНУПС, 2016. 272 с.
2. Городнов В. П., Дробаха Г. А., Єрмошин М. О. Моделювання й оцінка ефективності бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони: теорія, практика, історія розвитку. Харків : ХВУ, 2004. 410 с.
3. Метод автоматизованої обробки інформації на ПУ ППО механізованої (танкової) бригади при паралельних та послідовних потоках інформації / С. П. Коваленко та ін. *Системи обробки інформації*. 2004. № 7(35). С. 71–76.
4. Ярош С. П., Рябуха Б. М., Соломонович Р. А. Обґрунтування організації зенітного ракетно-артилерійського прикриття угруповань військ з застосуванням міжвидових мобільних вогневих підрозділів ППО. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2020. № 2(39). С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2020.39.09>.
5. Дробаха Г. А., Генів Б. А., Зубрицький Г. М. Взаємодія тактико-вогневих підрозділів зенітних ракетних військ та протиповітряної оборони Сухопутних військ при вирішенні завдань протиповітряної оборони. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. № 1(14). С. 90–93.
6. Development of optimum navigation information processing algorithm / M. V. Borisenko et al. *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*. 2018. 3(32). Pp. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.32.06>.
7. Коваленко С. П., Коломійцев О. В., Левагін Г. А. Ефективний розподіл цілей між підрозділами ППО СВ – показник відверненого збитку військам. *Системи озброєння і військова техніка*. 2010. № 2(22). С. 211–215.
8. Kutsenko V. V., Kovalenko S. P., Dobrowolski D. D. Parameters numerical values of errors distribution law in coordinate measuring process at the difference-distance measuring passive location method. *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*. 2017. № 1 (26). Pp. 82–84. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.17>.
9. Коваленко С. П., Куценко В. В., Кравченко С. О. Метод виключення зайвої та хибної інформації в алгоритмах управління на ПУ ППО СВ. *Системи озброєння і військова техніка*. 2019. № 1(57). С. 20–26.
10. Аналіз застосування угруповання повітряно-космічних сил Російської Федерації у Сирійській Арабській Республіці / Корсунов С. І. та ін. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2020. Вип. 4(66). С. 7–18.
11. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics / O. Kriukov et al. *Applied physics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 1/5 (97). Pp. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155357>.
12. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони) / І. С. Романченко та ін. Житомир : Полісся, 2011. 344 с.
13. Ярош С. П., Рогуля О. В. Аналіз тактики бойового застосування крилатих ракет при нанесенні ударів по важливих державних об'єктах та угрупованнях військ. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2019. № 3(61). С. 35–44. DOI: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.06>.
14. Zhuravlev O., Kolomytsev O., Herasimov S. Method for determining coefficient power error of front resistance missile by means station outwardly trajectory measurements. *Scientific Works of Kharkiv National University of the Air Force*. 2017. Вип. 3 (52). С. 72–76.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2021 р.

УДК 355.424

С. П. Коваленко, А. Ф. Волков, С. И. Корсунов

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИКРЫТИЯ НАЗЕМНЫХ СИЛ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПВО ПРИ ВЕДЕНИИ ЛОКАЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ

Актуальным вопросом сегодня является обоснование возможности подразделений противовоздушной обороны выполнять свои непосредственные задачи по прикрытию действий наземных сил с воздуха особенно в локальных конфликтах, когда пространство, на котором необходимо выполнять поставленную задачу, растянуто по фронту и в глубину. В статье предлагается методика, которая позволяет оценить эффективность прикрития наземных сил типа рота-батарея подразделениями противовоздушной обороны. Предложенная методика позволяет военному командиру оценивать варианты структуры противовоздушной обороны, выбирать из них рациональные, с лучшей эффективностью прикрития, и помогает ему принять правильное решение на отражение ударов с воздуха. Предложенная методика позволяет оценить эффективность прикрития вооружения и инфраструктуры наземных сил и подсказывает способны ли подразделения противовоздушной обороны прикритить действия наземных сил с воздуха.

К л ю ч е в ы е с л о в а: методика, расчет эффективности, локальные конфликты, противовоздушная оборона, дуэльные ситуации, модель боя, граф возможных состояний, воздушное пространство.

UDC 355.424

S. Kovalenko, A. Volkov, S. Korsunov

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE EFFICIENCY OF COVERING GROUND FORCES BY AIR-DEFENSE UNITS WHEN MANAGING LOCAL CONFLICTS

An urgent issue today is the substantiation of the ability of air defense units to carry out their immediate tasks of covering ground forces from the air. The features of the use of ground forces in local conflicts, when the space in which it is necessary to carry out the assigned task, is stretched along the front and in depth are considered. The purpose of the article is to develop a methodology for calculating the effectiveness of covering ground forces from the air by air defense units in new positioning areas. The practical application of the developed methodology will allow the military commander to make the right decision to cover the actions of ground forces from the air. The article proposes a methodology that makes it possible to assess the effectiveness of covering ground forces of the company-battery type by air defense units. The methodology for calculating the effectiveness of covering the actions of ground forces by air defense units consists of an algorithm for assessing the effectiveness of an anti-aircraft missile system (anti-aircraft artillery complex), an algorithm for selecting the parameters of elements and structure of air defense units, an algorithm for proposing to the commander about the effectiveness of the selected structure for making a decision to conduct combat operations. The proposed technique allows the military commander to evaluate the options for the structure of the air defense, choose rational ones, with the best cover efficiency, and helps him make the right decision to repel air strikes. The proposed methodology makes it possible to assess the effectiveness of covering the weapons and infrastructure of ground forces and suggests whether the air defense units are capable of covering the actions of ground forces from the air.

К e y w o r d s: methodology, calculation of efficiency, local conflicts, air defense, duel situations, combat model, graph of possible states, airspace.

Коваленко Сергій Петрович – кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри тактики військ ППО Сухопутних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.
<https://orcid.org/0000-0001-5843-6235>

Волков Андрій Федорович – начальник кафедри тактики військ ППО Сухопутних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.
<https://orcid.org/0000-0003-4529-261X>

Корсунов Сергій Іванович – старший викладач кафедри тактики військ ППО Сухопутних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.
<https://orcid.org/0000-0002-5370-1375>