

УДК 355.48

[https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-9\(14\)-150-162](https://doi.org/10.52058/3041-1793-2025-9(14)-150-162)

Доля Сергій Володимирович підполковник, викладач кафедри вогневої підготовки, факультет службово-бойової діяльності, Київський інститут Національної гвардії України, м. Київ, <https://orcid.org/0009-9630-9216>

Бірук Анатолій Іванович полковник, старший викладач кафедри вогневої підготовки, Київський інститут Національної гвардії України, м. Київ, <https://orcid.org/0009-0009-4745-1208>

Солоненко Володимир Миколайович підполковник, викладач кафедри вогневої підготовки, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, <https://orcid.org/0009-0007-6922-1943>

ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНО-АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ПРИКРИТТЯ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНОГО УГРУПОВАННЯ ВІЙСЬК В ОБОРОННІЙ ОПЕРАЦІЇ

Анотація. Статтю присвячено обґрунтуванню методики оцінювання вогневих можливостей і загальної ефективності системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття (ЗРАП) оперативно-тактичного угруповання військ (ОТУВ) в оборонній операції з урахуванням досвіду російсько-української війни та локальних конфліктів кінця ХХ — початку ХХІ ст. Актуальність дослідження зумовлена різким зростанням ролі повітряного простору в сучасних війнах і різноманітністю сценаріїв агресії — від повітряних наступальних операцій до комбінованих ударів із залученням безпілотних систем і баражуючих боєприпасів. На початкових етапах широкомасштабних дій в Україні прикриття угруповань здійснювалося в межах загальнодержавної ППО із залученням частин ППО Сухопутних військ, однак інтенсифікація застосування пілотованої авіації та БПЛА поставила завдання якісної інтеграції сил і засобів ЗРВ, РТВ і підрозділів ППО СВ, побудови ешелонованої структури та нарощування радіолокаційної розвідки. У тактичному вимірі доведено доцільність маневрених дій (“кочуючі” вогневі засоби), застосування засідок і посилення переднього краю ПЗРК та маловисотних ЗРК для протидії цілям на малих і гранично малих висотах.

Мета роботи — створити науково обґрунтовану методику розрахунку вогневих можливостей частин (підрозділів) ЗРВ і результативності їх бойових дій у складі ЗРАП ОТУВ. Методологічно використано аналіз бойового досвіду та керівних документів ЗСУ й НАТО у поєднанні з математичним та



імітаційним моделюванням. Загальним показником є математичне сподівання кількості знищених засобів повітряного нападу (ЗПН) за заданої тривалості удару або за обмежень по витраті ракет. Часткові показники включають кількість стрільб до заданого рубежу, щільність вогню та середню ефективність стрільб. Модель вводить систему коефіцієнтів (участі, бойової готовності, ефективності управління, впливу маневру цілі та висот застосування), розрізняє дії ЗПН на середніх/великих і малих висотах, враховує час перебування цілі в зоні пуску, тривалість повітряного удару (залежно від структури груп і швидкості ЗПН) та каналізацію ЗРК (одноканальні, багатоканальні з часовим розподілом, системи з фізичним розділенням каналів).

На основі вхідних даних для номенклатури ЗРК (С-300П/В1, “Бук-М1”, С-125М1, МІМ-104 Patriot, NASAMS, IRIS-T SLM/SLS, SAMP/T, МІМ-23 НАВК) отримано порівняльні оцінки очікуваної кількості знищених цілей і можливого темпу стрільб залежно від кількості пускових та типу каналізації. Показано, що багатоканальні та сучасні системи із фізичним розділенням каналів забезпечують вищу пропускну спроможність у відбитті масованих ударів, тоді як на маловисотних загрозах (особливо БпЛА з низькою ЕПР) вагому роль відіграють ПЗРК і мобільні вогневі групи. Виявлено обмеження традиційних ЗРК у боротьбі з малорозмірними дронами, що обґрунтовує необхідність доповнення ЗРАП перехоплювачами-БпЛА та розгортанням додаткових стартових позицій для підвищення щільності вогню на критичних напрямках.

Практична значущість методики полягає у її придатності для оперативного планування ППО ОТУВ, вибору раціональної структури сил, нормування боєкомплекту та розподілу завдань між ешелонами. Автори формулюють рекомендації щодо модернізації ЗРАП: інтеграції сучасних ЗРК на середніх і малих висотах до досягнення критичного рівня втрат противника (8–10%), розширення застосування перехоплювачів-БпЛА та FPV, створення мобільних груп із ПЗРК “Piorun” і ЗУ-23-2, впровадження автоматизованих систем управління (“Віраж-Планшет”, “Neon”) з обміном даними в реальному часі, а також цілеспрямованої підготовки персоналу до дій в умовах РЕБ і високодинамічної обстановки. Перспективи подальших досліджень пов’язані з оцінкою ефективності засобів РЕБ, лазерних технологій і розробленням алгоритмів автоматизованого управління для підвищення оперативності реагування системи ППО.

Ключові слова: протиповітряна оборона; зенітне ракетно-артилерійське прикриття; оперативно-тактичне угруповання військ; вогневі можливості; математичне моделювання; багатоканальні ЗРК; БпЛА й баражуючі боєприпаси; ешелонування ППО; автоматизовані системи управління.

Dolya Serhii Volodymyrovych lieutenant colonel, lecturer of the Department of Fire Training, faculty of service and combat activities, Kiev Institute of the National Guard of Ukraine, Kyiv, <https://orcid.org/0009-0009-9630-9216>

Biruk Anatoly Ivanovich Colonel, senior lecturer of the Department of Fire Training, Kiev Institute of the National Guard of Ukraine, Kyiv, <https://orcid.org/0009-0009-4745-1208>

Solonenko Volodymyr Volodymyrovych lieutenant colonel, Senior Lecturer at the Firearms Training Department of the Educational and Research Institute of Logistics, National Academy of the National Guard of Ukraine (Department of Fire Training of the Educational and Research Institute of Logistics), National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkov, <https://orcid.org/0009-0007-6922-1943>

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF THE AIR DEFENSE MISSILE-ARTILLERY SYSTEM FOR COVERING OPERATIONAL-TACTICAL TROOP FORMATIONS IN A DEFENSIVE OPERATION

Abstract. The article substantiates a method for assessing the fire capabilities and overall effectiveness of the combined surface-to-air missile and gun air-defense (SAM/AAA) umbrella of an operational-tactical grouping of troops in a defensive operation, taking into account lessons from the Russo-Ukrainian war and local conflicts from the late 20th to early 21st centuries. The study's relevance stems from the sharply increased role of the air domain in modern war and the variety of aggression scenarios—from air offensive operations to combined strikes employing unmanned systems and loitering munitions. In the early stages of large-scale hostilities in Ukraine, force groupings were covered within the national air-defense system with participation of Ground Forces air-defense units; however, intensified use of crewed aviation and UAVs made it necessary to integrate surface-to-air missile units and radar units with Army air-defense formations, build a layered structure, and expand radar reconnaissance. At the tactical level, the feasibility of maneuvering (“shoot-and-scoot”) fire assets, ambush tactics, and reinforcing the forward edge with MANPADS and low-altitude SAMs is demonstrated to counter targets at low and very low altitudes.

The aim is to develop a scientifically grounded method for calculating the fire capabilities of SAM units and the results of their combat actions as part of the air-defense umbrella of an operational-tactical force grouping. Methodologically, the work combines analysis of combat experience and Ukrainian/NATO guidance documents with mathematical and simulation modeling. The principal indicator is the expected number of destroyed air-attack means (AAM) for a given strike duration or under missile-expenditure constraints. Partial indicators include the number of engagements before a specified line, fire density, and the average effectiveness of engagements. The model introduces a system of coefficients (participation, combat readiness, command-and-control effectiveness, target-maneuver and altitude effects), distinguishes AAM actions at medium/high versus



low altitudes, and accounts for time in the launch zone, strike duration (as a function of group composition and AAM speed), and the engagement-channel architecture of SAM systems (single-channel; multichannel with time-sharing; systems with physically separated channels).

Using input data for a representative SAM inventory (S-300P/V1, Buk-M1, S-125M1, MIM-104 Patriot, NASAMS, IRIS-T SLM/SLS, SAMP/T, MIM-23 HAWK), the study obtains comparative estimates of the expected number of kills and feasible firing tempo depending on the number of launchers and channelization type. It is shown that multichannel and modern systems with physically separated channels provide higher throughput when repelling massed strikes, whereas for low-altitude threats—especially low-RCS UAVs—MANPADS and mobile fire groups play a decisive role. The limitations of traditional SAMs against small drones are identified, which substantiates augmenting the air-defense umbrella with interceptor UAVs and deploying additional launch positions to increase fire density along critical axes.

The practical value of the method lies in its suitability for operational air-defense planning of an operational-tactical grouping: selecting a rational force structure, allocating ammunition, and distributing tasks across echelons. The authors propose modernization measures: integrating modern SAMs at medium and low altitudes to reach a critical enemy attrition level (8–10%), expanding the use of interceptor UAVs and FPV platforms, creating mobile groups with Piorun-class MANPADS and ZU-23-2 guns, implementing automated C2 systems (“Virazh-Planshet,” “Neon”) with real-time data exchange, and targeted personnel training for operations under electronic-warfare conditions and high-tempo dynamics. Future research should assess the effectiveness of EW assets and laser technologies and develop automated C2 algorithms to improve the responsiveness of the air-defense system.

Keywords: air defense; SAM/AAA umbrella; operational-tactical grouping of troops; fire capabilities; mathematical modeling; multichannel SAM systems; UAVs and loitering munitions; layered air defense; automated C2 systems.

Постановка проблеми. Актуальність теми зумовлена тим, що успіх у локальних війнах і збройних конфліктах сучасності значною мірою залежить від результатів збройної боротьби у повітряному просторі. Досвід локальних війн і конфліктів кінця XX – початку XXI століття, а також застосування військ (сил) ППО СВ під час бойових дій у Сирії та в ході російсько-української війни, свідчить про те, що агресія, як правило, розпочинається за одним із таких сценаріїв:

1. Проведення повітряної наступальної операції з подальшою морською та сухопутною наступальною операцією. Приклади: Ірак (1991 р.), Україна (2022 р.).

2. Використання виключно повітряної наступальної операції для примусу противника до виконання висунутих вимог. Приклади: Ірак (1998 р.), Югославія (1999 р.).

3. Завдання комбінованих зосереджених і групових ударів засобами повітряного нападу з одночасним початком наступальних операцій сухопутних військ та морських сил. Приклади: Ірак (2003 р.), Лівія (2011 р.), Сирія (2013 р.), Україна (2022 р.).

Використання авіації НАТО в Лівії, на нашу думку, є різновидом цього сценарію – підтримка дій нерегулярних збройних формувань з повітря.

4. Застосування авіації для проведення оборонної операції у відповідь на дії терористичних угруповань та НЗФ у густонаселених районах країни.

На початковому етапі російсько-української війни прикриття угруповань військ ОТУВ здійснювалося в рамках загальної системи ППО України, із залученням частин та підрозділів ППО СВ. Однак із появою та зростанням активності пілотованої авіації противника, розвідувальних та ударних БПЛА, а також баражуючих боєприпасів, виникла необхідність якісної організації взаємодії усіх сил і засобів ППО ОТУВ.

Організація управління частинами та підрозділами угруповань ППО СВ, ЗРВ і РТВ ПС в ході оборонних операцій здійснювалася оперативними групами Повітряних Сил з ЦУО, КП ППО ДПУ ГШ, у взаємодії з начальниками ППО ОТУВ.

Побудова угруповання ППО враховувала загрозу нанесення зосереджених та групових ударів з боку РФ. У відповідь на можливість застосування противником авіації на гранично малих висотах, передній край оборони був насичений значною кількістю засобів ППО Сухопутних військ.

Для забезпечення своєчасного виявлення повітряного противника система радіолокаційної розвідки нарощувалась за рахунок розгортання додаткових постів радіолокаційного спостереження.

У зв'язку зі збільшенням інтенсивності застосування противником БПЛА, які проводили розвідку рубежів і позицій наших військ, районів розгортання пунктів управління та зосередження резервів, основні зусилля сил і засобів ППО в смугі проведення були зосереджені на боротьбі з ними.

Використовуючи такі основні способи бойових дій як стрільба із засідок, маневр "кочуючих" засобів найбільшу ефективність у боротьбі з БПЛА показали ПЗРК, "С-10", ЗРК "Оса", "Бук-М1".

Останнім часом активними діями підрозділів ППО вдалося зменшити кількість прольотів БПЛА, змусити їх діяти поза лінією розмежування на висотах вище 5000 м.

Проте створена побудова угруповань військ ППО не завжди забезпечувала надійне прикриття військ і об'єктів які прикриваються.

Таким чином, вивчення і дослідження закономірностей розвитку збройної боротьби у повітрі, що проводяться угрупованням сил і засобів протиповітряної оборони є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання моделювання вогневих спроможностей військ та впровадження новітніх технологій та процедур



висвітлюються в роботах таких вчених як О. Богатов, О. Кулешов, А. Торопчин, І. Романенко, Ю. Даник, В. Городнов, М. Єрмошин та інші. Аналіз технічних можливостей імітаційних систем, а також загальні засади принципів вогневої та тактичної підготовки висвітлені в документах НАТО та технічній документації цих засобів.

Мета статті. На підставі аналізу досвіду російсько-української війни, воєнних конфліктів, керівних документів щодо підготовки і ведення операції (доктрин, стандартів) Збройних Сил України, а також збройних сил країн-членів НАТО обґрунтувати методику розрахунку вогневих можливостей зенітних ракетних частин та підрозділів і ефективності їх бойових дій.

Виклад основного матеріалу.

Вогневі можливості військової частини (підрозділу) ЗРВ характеризуються показниками. Узагальненим показником вогневих можливостей є математичне сподівання кількості знищених ЗПН противника при відбитті повітряного удару заданої тривалості та (або) при витраті визначеної кількості ракет. Частковими показниками вогневих можливостей є: кількість стрільб до заданого рубежу, щільність вогню на заданому рубежі, середня ефективність стрільб.

Математичне сподівання кількості знищених ЗПН противника військовою частиною (підрозділом) ЗРВ визначається за формулою:

$$M_{\text{ц}} = M_{\text{ц}}^{\text{СВВ}} \cdot \gamma_{\text{СВВ}} + M_{\text{ц}}^{\text{МВ}} \cdot \gamma_{\text{МВ}},$$

де $M_{\text{ц}}^{\text{СВВ}}$ – математичне сподівання кількості знищених ЗПН противника, що діють на середніх і великих висотах (СВВ) (від 1 км до 12 км);

$M_{\text{ц}}^{\text{МВ}}$ – математичне сподівання кількості знищених ЗПН противника, що діють на малих та гранично малих висотах (МВ) (від 0 км до 1 км);

$$\gamma_{\text{СВВ}} = \frac{N_{\text{ц}}^{\text{СВВ}}}{N_{\text{ц}}} \quad \text{– частка ЗПН, що діє на СВВ};$$

$$\gamma_{\text{МВ}} = \frac{N_{\text{ц}}^{\text{МВ}}}{N_{\text{ц}}} \quad \text{– частка ЗПН, що діє на МВ};$$

$N_{\text{ц}}^{\text{СВВ}}$ – кількість ЗПН, що діє на СВВ;

$N_{\text{ц}}^{\text{МВ}}$ – кількість ЗПН, що діє на МВ;

$N_{\text{ц}} = N_{\text{ц}}^{\text{СВВ}} + N_{\text{ц}}^{\text{МВ}}$ – загальна кількість ЗПН, що діє в зоні вогню військової частини (підрозділу) ЗРВ.

Математичне сподівання кількості знищених ЗПН противника, що діють на СВВ (МВ), визначається наступним чином:

$$M_{\Pi}^{\text{CBV}(\text{MB})} = \sum_{j=1}^m \left(K_{pj}^{\text{CBV}(\text{MB})} \cdot K_{dj} \cdot P_{nj} \cdot N_{\text{стр}j}^{\text{CBV}(\text{MB})} \right),$$

$$K_{pj}^{\text{CBV}} = K_{yчj} \cdot K_{бгj} \cdot K_{упрj} \cdot K_{mj}$$

$$K_{pj}^{\text{MB}} = K_{yчj} \cdot K_{бгj} \cdot K_{упрj} \cdot K_{mj} \cdot K_{мвj},$$

де m – кількість типів зрдн (зрбатр) військової частини (підрозділу) ЗРВ;
 – коефіцієнт реалізації вогневих можливостей зрдн (зрбатр) j -го типу на СВВ (МВ);

$K_{pj}^{\text{CBV}(\text{MB})}$ – кількість зрдн (зрбатр) j -го типу військової частини (підрозділу) ЗРВ;

P_{nj} – імовірність знищення ЗПН за одну стрільбу зрдн (зрбатр) j -го типу;

$N_{\text{стр}j}^{\text{CBV}(\text{MB})}$ – кількість стрільб зрдн (зрбатр) j -го типу по ЗПН в припущенні, що вони діють на СВВ (МВ);

$K_{yчj}$ – коефіцієнт участі зрдн (зрбатр) j -го типу у відбитті удару;

$K_{бгj}$ – коефіцієнт бойової готовності зрдн (зрбатр) j -го типу;

$K_{упрj}$ – коефіцієнт ефективності управління зрдн (зрбатр) j -го типу;
 – коефіцієнт впливу маневру ЗПН противника на вогневі можливості зрдн (зрбатр) j -го типу;

K_{mj} – коефіцієнт впливу МВ застосування ЗПН противника на вогневі можливості зрдн (зрбатр) j -го типу.

Кількість стрільб зрдн (зрбатр) j -го типу визначається таким чином:

$$N_{\text{стр}j}^{\text{CBV}(\text{MB})} = \min \left(N_{\text{стр}j}^{t \text{ CBV}(\text{MB})}, N_{\text{стр}j}^{\text{бз}} \right),$$

$$N_{\text{стр}j}^{\text{бз}} = \text{ent} \left(\frac{Q_j}{n_j} \right),$$

де $N_{\text{стр}j}^{t \text{ CBV}(\text{MB})}$ – кількість стрільб зрдн (зрбатр) j -го типу при відбитті повітряного удару заданої тривалості засобів повітряного нападу, що діють на СВВ (МВ);

$N_{\text{стр}j}^{\text{бз}}$ – кількість стрільб зрдн (зрбатр) j -го типу при витраті визначеної кількості ракет;

$\text{ent}(x)$ – ціла частина аргументу x ;



Q_j – кількість готових до бойового застосування ЗКР на стартових позиціях зрдн (зрбатр) j -го типу;

n_j – кількість ЗКР у черзі при стрільбі зрдн (зрбатр) j -го типу.

Кількість стрільб одноканального зрдн j -го типу при відбитті повітряного дару заданої тривалості ЗПН, що діють на СВВ (МВ) визначається так:

$$N_{стрj}^{t_{СВВ(МВ)}} = 1 + \text{ent} \left(\frac{t_{уд} + t_{прj}^{СВВ(МВ)}}{T_{цсерj}^{СВВ(МВ)}} \right),$$

де $t_{уд}$ – тривалість повітряного удару;

$t_{прj}^{СВВ(МВ)}$ – час перебування ЗПН, що діє на СВВ (МВ), у зоні пуску зрдн (зрбатр) j -го типу;

$T_{цсерj}^{СВВ(МВ)}$ – середня тривалість циклу стрільби зрдн (зрбатр) j -го типу при обстрілі ЗПН, що діють на СВВ (МВ).

Кількість стрільб зрбатр з фізичним розділенням каналів (“Бук-М1”, “IRIS-T”, “NASAMS”, МІМ-23 “HAWK”) при відбитті повітряного удару заданої тривалості ЗПН, що діють на СВВ (МВ) визначається так:

$$N_{стрj}^{t_{СВВ(МВ)}} = 2 \cdot \left(1 + \text{ent} \left(\frac{t_{уд} + t_{прj}^{СВВ(МВ)}}{T_{цсерj}^{СВВ(МВ)}} \right) \right).$$

де K – кількість цільових каналів, для ЗРК з фізичним розподілом каналів.

Кількість стрільб багатоканального зрдн (зрбатр) з часовим розділенням каналів (С-300П, С-300В, “Patriot”, “SAMP-T”) j -го типу при відбитті повітряного удару заданої тривалості засобів повітряного нападу, що діють на СВВ (МВ) визначається таким чином:

$$N_{стрj}^{t_{СВВ(МВ)}} = \begin{cases} 1 + \text{ent} \left(\frac{t_{уд} + t_{прj}^{СВВ(МВ)} - \tau_j \cdot (n_j - 1)}{t_{пзj}^{СВВ(МВ)}} \right), & \text{при } K_j \cdot t_{пзj}^{СВВ(МВ)} \geq T_{цсерj}^{СВВ(МВ)}; \\ 1 + \text{ent} \left(\frac{t_{уд} + t_{прj}^{СВВ(МВ)} - \tau_j \cdot (n_j - 1)}{T_{цсерj}^{СВВ(МВ)}} \cdot K_j \right), & \text{при } K_j \cdot t_{пзj}^{СВВ(МВ)} < T_{цсерj}^{СВВ(МВ)}, \end{cases}$$

де τ_j – інтервал між пусками ЗКР зрдн (зрбатр) j -го типу;

$t_{пзj}^{СВВ(МВ)}$ – час пошуку та захоплення ЗПН, що діє на СВВ (МВ), на супроводження зрдн (зрбатр) j -го типу;

K_j – кількість цільових каналів зрдн (зрбатр) j -го типу.

Тривалість повітряного удару визначається з моменту входу першого ЗПН у зону вогню військової частини (підрозділу) ЗРВ до моменту входу останнього і може бути заданою у вигляді вихідних даних або визначеною так:

$$t_{уд} = \sum_{k=1}^{K_{гр}} \left(\frac{\Gamma_{грk}}{V_{цсер}} \right) + \sum_{k=1}^{K_{гр}-1} \left(\frac{D_k}{V_{цсер}} \right),$$

де $K_{гр}$ – кількість груп ЗПН противника в ударі;

$\Gamma_{грk}$ – глибина k-ої групи ЗПН противника;

$V_{цсер}$ – середня швидкість ЗПН противника;

D_k – дистанція між k-ою групою ЗПН противника та -ою.

Час перебування засобу повітряного нападу, що діє на СВВ (МВ), у зоні пуску зрдн (зрбатр) j-го типу визначається наступним чином:

$$t_{прj}^{СВВ(МВ)} = \frac{L_{дj}^{СВВ(МВ)} - L_{блj}^{СВВ(МВ)}}{V_{цсер}} \cdot \left(1 + \frac{V_{цсер}}{V_{рсерj}} \right),$$

Де $L_{дj}^{СВВ(МВ)}$, $L_{блj}^{СВВ(МВ)}$ – горизонтальна відстань від зрдн (зрбатр) j-го типу до його (її) дальньої та ближньої меж зони ураження, при нульовому параметрі цілі та висоті 6,5 км – СВВ, 0,5 км – МВ;

$V_{рсерj}$ – середня швидкість ЗКР зрдн (зрбатр) j-го типу в горизонтальній площині.

Середня тривалість циклу стрільби зрдн (зрбатр) j-го типу визначається наступним чином:

$$T_{цсерj}^{СВВ(МВ)} = t_{цвj} + t_{робj}^{СВВ(МВ)} + \tau_j \cdot (n_j - 1) + t_{рj}^{СВВ(МВ)} + t_{оцj},$$

$$t_{рj}^{СВВ(МВ)} = \frac{L_{дj}^{СВВ(МВ)} + L_{блj}^{СВВ(МВ)}}{2 \cdot V_{рсерj}},$$

де $t_{цвj}$ – час відпрацювання цілевказівки зрдн (зрбатр) j-го типу;

$t_{робj}^{СВВ(МВ)}$ – робітний час зрдн (зрбатр) j-го типу при стрільбі по цілі, що діє на СВВ (МВ);

$t_{рj}^{СВВ(МВ)}$ – середній час польоту ЗКР зрдн (зрбатр) j-го типу до точки зустрічі ракети з ціллю, при дії ЗПН на СВВ (МВ);

$t_{оцj}$ – час оцінки результатів стрільби зрдн (зрбатр) j-го типу.



Імовірність знищення ЗПН за одну стрільбу зрдн (зрбатр) j -го типу називають його (\bar{P}) середньою ефективністю стрільби і визначають так:

$$P_{nj} = 1 - (1 - P_{1j})^{n_j} ,$$

де $P_{nj} = 1 - (1 - P_{1j})^{n_j}$ – ймовірність ураження ЗПН однією ЗКР зрдн (зрбатр) j -го типу.

В Таблиці 1. приведені вихідні дані та результати розрахунків потенційних значень математичного сподівання кількості знищених засобів повітряного нападу противника підрозділами зенітних ракетних військ та їх кількості стрільб.

Таблиця 1.

Вогневі можливості підрозділів ЗРВ

Тип зрдн (зрбатр)	Вихідні дані										Значення показників			
	$K_{уч}$	$K_{бг}$	$K_{упр}$	K_m	$K_{мв}$	$K_p^{свв}$	$K_p^{мв}$	n	P_n	$N_{стр}$	$M_{ц}^{свв}$	$M_{ц}^{мв}$	$M_{ц}^{кр}$	
зрдн С-300П	6 ПУ	0,65	0,9	0,85	0,85	0,9	0,423	0,38	2	0,91	12	4,62	4,15	3,88
	8 ПУ										16	6,16	5,53	5,17
	9 ПУ										18	6,93	6,22	5,81
	12 ПУ										24	9,24	8,3	7,75
зрбатр С-300В1	0,65	0,9	0,85	0,85	0,9	0,423	0,38	1	0,9	16	6,09	5,47	4,86	
зрбатр "Бук-М1"	0,5	0,9	0,8	0,7	0,9	0,252	0,227	2	0,88	8	1,77	1,6	0,93	
зрдн С-125М1	0,45	0,9	0,8	0,6	0,9	0,194	0,175	2	0,75	8	1,16	1,05	–	
зрдн "Patriot" MIM104	4 ПУ	0,85	0,9	0,95	0,9	0,85	0,654	0,556	1	0,9	16	9,42	8,01	6,23
	8 ПУ										32	18,84	16,01	12,45
зрдн NASAMS	3 ПУ	0,48	0,95	0,95	0,75	0,8	0,325	0,26	1	0,95	18	5,56	4,44	3,74
	6 ПУ										36	11,11	8,89	7,49
	12 ПУ										72	22,22	17,78	14,97
озрдн IRIS-T SLM	3 ПУ	0,5	0,95	0,95	0,8	0,85	0,361	0,307	1	0,95	24	7,8	6,63	5,52
	6 ПУ										48	15,6	13,26	11,05
озрдн IRIS-T SLS	3 ПУ	0,46	0,95	0,95	0,7	0,8	0,291	0,232	1	0,95	24	6,28	5,02	4,18
	6 ПУ										48	12,55	10,04	8,37
зрдн SAMP/T	3 ПУ	0,8	0,9	0,9	0,8	0,75	0,518	0,389	1	0,9	24	11,2	8,4	6,53
	6 ПУ										48	22,39	16,8	13,6
зрбатр "HAWK" MIM-23	3 ПУ	0,54	0,7	0,85	0,65	0,85	0,209	0,178	2	0,75	4,5	0,70	0,60	0,41
	6 ПУ										9	1,41	1,20	0,81

Висновки. У результаті проведеного дослідження виконано комплексний аналіз і обґрунтовано пропозиції щодо обґрунтування методики розрахунку ефективності системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття (ЗРАП) оперативно-тактичного угруповання військ (ОТУВ) в оборонній операції з урахуванням досвіду російсько-української війни та інших воєнних конфліктів. Дослідження дозволило досягти поставленої мети — розробки науково обґрунтованих рекомендацій для вдосконалення функціонування ЗРАП як ключової складової протиповітряної оборони (ППО) ОТУВ.

Для оцінювання ефективності ЗРАП розроблено методику, яка базується на методах математичного та імітаційного моделювання. Методика дозволяє визначати вогневі можливості ЗРК у сучасних умовах, враховуючи характеристики ЗПН, зокрема маневреність і масовість застосування БпЛА. Проведений аналіз показав, що традиційні ЗРК мають обмеження в протидії дронам через їхню низьку радіолокаційну помітність і високу швидкість, що підтверджує необхідність доповнення системи ЗРАП новітніми засобами, такими як БпЛА-перехоплювачі. Умови Південної зони додатково підкреслили важливість гнучкості ЗРК і швидкості реагування на загрози, що враховано в методиці оцінки.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розробленої методики оцінки ефективності ЗРАП для планування операцій ППО, а також у наданні конкретних пропозицій щодо вдосконалення тактики та оснащення підрозділів ППО. Реалізація рекомендацій сприятиме підвищенню бойової готовності ОТУВ, зниженню втрат від ЗПН і посиленню обороноздатності в умовах сучасних воєнних конфліктів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на аналіз новітніх засобів протидії БпЛА, таких як системи електронної боротьби та лазерні технології, а також на розробку алгоритмів автоматизованого управління ППО для підвищення оперативності реагування.

Для подальшого вдосконалення системи ЗРАП і підвищення боєздатності ППО ОТУВ рекомендується:

Продовжити модернізацію озброєння шляхом інтеграції сучасних ЗРК для ураження цілей на середніх і малих висотах, що дозволить наблизити ефективність до критичного рівня втрат противника (8-10%).

Розширити застосування БпЛА-перехоплювачів і FPV-дронів для боротьби з низьколітаючими цілями, зокрема ударними БпЛА, підвищуючи спроможності системи ЗРАП у протидії сучасним загрозам.

Посилити ешелонованість системи ППО шляхом створення додаткових стартових позицій і мобільних вогневих груп із ПЗРК "Piorun" і ЗУ-23-2 для перекриття ймовірних напрямів дій противника.

Удосконалити систему управління через впровадження автоматизованих систем, таких як "Віраж-Планшет", "Neon" і забезпечити оперативний обмін інформацією між підрозділами ППО СВ, ЗРВ і РТВ ПС у реальному часі.



Підвищити рівень підготовки особового складу, зосередивши увагу на тактиці маневрування, діях із засідок і використанні сучасних засобів ППО в умовах радіоелектронних завад.

Література:

1. Богатов О. І. Оцінка ефективності системи управління військами / О. І. Богатов, В. І. Дода, В. І. Скляр // Системи обробки інформації, 2006, випуск 8 (57). – С. 7–8.
2. Кулешов О.В. Визначення розрахункових співвідношень для оцінки ефективності системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття в умовах застосування цілями протизенітного маневру / О.В. Кулешов, М.П. Деменко, І.В. Норинчак, Ю.П. Перекоsov // Збірник наукових праць. – Х.: ОНД ЗС, 2005. – Вип. 2(2). – С. 30 – 39.
3. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник та ін. – К.: МО України, Х: ХВУ, 2003. – 368 с.
4. Городнов В.П. Методики прогноза ефективності групирок родов войск ПВО / В.П. Городнов. – Х.: ХВУ, 1999. – 32 с.
5. Єрмошин М.О., Кулешов О.В. Структура системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ / Збірник наукових праць. – Х.: ОНД ЗС, 2006. – Вип. 2(4). – С. 47 – 56.
6. Кулешов О.В. Методика обґрунтування раціональної структури системи зенітного ракетного-артилерійського прикриття угруповання ППО СВ в операційному районі (зоні) / В.В. Шулежко, О.В. Кулешов, Є.О. Рябокони, В.В. Мегельбей // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип.4 (35). – С. 30 – 35.
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, М.О. Єрмошин та ін. – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.

References:

1. Bohatov O. I., Doda V. I., Skliar V. I. (2006). Otsinka efektyvnosti systemy upravlinnia viiskamy [Evaluation of the effectiveness of the troop command system]. Systemy obrobky informatsii – Information Processing Systems, Issue 8(57), pp. 7–8. [in Ukrainian].
2. Kuleshov O. V., Demenko M. P., Norynchak I. V., Perekosov Yu. P. (2005). Vyznachennia rozrakhunkovykh spivvidnoshen dlia otsinky efektyvnosti systemy zenitnoho raketno-artyleriiskoho prykryttia v umovakh zastosuvannia tsiliamy protyzenitnoho manevru [Determination of calculated ratios for evaluating the effectiveness of the surface-to-air missile and artillery defense system under conditions of anti-aircraft maneuvering by targets]. Zbirnyk naukovykh prats – Collection of Scientific Papers, Kharkiv: OND ZS, Issue 2(2), pp. 30–39. [in Ukrainian].
3. Toropchyn A. Ya., Romanenko I. O., Danyk Yu. H., et al. (2003). Dovidnyk z protypovitrianoi oborony [Air Defense Handbook]. Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine; Kharkiv: Kharkiv Military University, 368 p. [in Ukrainian].
4. Horodnov V. P. (1999). Metodyky prohnozu efektyvnosti hrupyrovok rodiv viisk PVO [Methods for forecasting the effectiveness of air defense force groupings]. Kharkiv: Kharkiv Military University, 32 p. [in Ukrainian].
5. Yermoshen M. O., Kuleshov O. V. (2006). Struktura systemy zenitnoho raketno-artyleriiskoho prykryttia ob'ektiv i viisk [Structure of the surface-to-air missile and artillery defense system for facilities and troops]. Zbirnyk naukovykh prats – Collection of Scientific Papers, Kharkiv: OND ZS, Issue 2(4), pp. 47–56. [in Ukrainian].

6. Shulezhko V. V., Kuleshov O. V., Riabokon Ye. O., Mehelbei V. V. (2015). *Metodyka obhruntuvannia ratsionalnoi struktury systemy zenitnoho raketno-artyleriiskoho prykryttia uhrupovannia PPO SV v operatsiinomu raioni (zoni)* [Methodology for substantiating the rational structure of the surface-to-air missile and artillery defense system of the Ground Forces air defense group in the operational area (zone)]. *Zbirnyk naukovykh prats KhUPS – Collection of Scientific Papers of KhUPS*, Kharkiv: KhUPS, Issue 4(35), pp. 30–35. [in Ukrainian].

7. Horodnov V. P., Drobakha H. A., Yermoshen M. O., et al. (2004). *Modeliuvannia boiovykh dii viisk (syl) protypovitrianoi oborony ta informatsine zabezpechennia protsesiv upravlinnia nymy (teoriia, praktyka, istoriia rozvytku)* [Modeling of combat operations of air defense troops (forces) and information support of their command processes: theory, practice, history of development]. Kharkiv: Kharkiv Military University, 409 p. [in Ukrainian].