

УДК 623.558:358.116(045)

С.В. Новіченко, А.М. Печкін, А.М. Савельєв

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ БОЙОВОГО ПОРЯДКУ ЗЕНІТНОЇ РАКЕТНОЇ БРИГАДИ (ПОЛКУ) З УРАХУВАННЯМ ПРОГНОЗУ ДІЙ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ ПРОТИВНИКА

В статті розроблено метод визначення бойового порядку зенітної ракетної бригади (полку) з урахуванням прогнозу дій повітряного противника на основі критерію максимуму кількості стрільб бригади (полку), що визначається з урахуванням глибини зони пуску зенітних ракетних комплексів обмеженої рубезем виконання завдань та довільної геометрії межі об'єкту.

Ключові слова: *вогневі можливості, бойовий порядок, глибина зони пуску.*

Вступ

Постановка проблеми. Для здійснення захисту адміністративних, промислово-економічних центрів (районів) країни, угруповань Збройних Сил (ЗС), важливих державних, військових і інших об'єктів від ударів авіації та безпілотних засобів противника з повітря за допомогою зенітних ракетних військ (ЗРВ) важливою задачею є створення системи зенітного ракетного вогню як організованого та узгодженого за метою, завданням, простором і часом сполучення зон поразення дивізіонів (батареї), які розгорнуті для виконання завдань за призначенням [1].

Система зенітного ракетного вогню створюється відповідно до бойового завдання та замислу бойових дій, наявності сил і засобів ЗРВ, можливого характеру дій повітряного противника, особливостей району бойових дій, об'єктів і військ, які прикриваються.

При створенні системи зенітного ракетного вогню зенітної ракетної бригади (зрбр), полку (зрп) важливою задачею є визначення її бойового порядку, при якому б забезпечувалось поразення засобів повітряного противника (ЗПН) до рубезу виконання ними завдань з максимальною реалізацією бойових можливостей [1].

Зазначена задача має складний оптимізаційний характер і віднесена до задач дослідження операцій, в яких головним завданням є формалізація обмежень та критеріїв оптимізації.

Аналіз літератури. В [1 – 3] зазначено, що система зенітного ракетного вогню повинна бути круговою та всевисотною, із зосередженням зусиль на найбільш імовірних напрямках дій повітряного противника.

Кругова та всевисотна система зенітного ракетного вогню створюється шляхом забезпечення обстрілу ЗПН противника до рубезу виконання ними завдання, що діють по об'єкту прикриття з будь-

якого напрямку на усіх можливих висотах їх бойового застосування.

Зосередження зусиль на найбільш імовірних напрямках дій ЗПН досягається [1]:

- використанням озброєння з найбільшими можливостями для знищення ЗПН противника;
- зменшенням відстаней між бойовими порядками визначених зенітних ракетних дивізіонів (зрдн), батарей (зрбатр);
- здійсненням маневру підрозділами, вогнем і ракетами;
- використанням резерву.

Завдання розміщення зрдн (зрбатр) в позиційному районі зрбр (зрп) для реалізації її максимальних бойових можливостей при прикритті об'єкту є складним і вирішується як правило при використанні логіко-евристичних методів, що в певній мірі залежить від професійної підготовки та досвіду командира зрбр. Є також методи [2, 3], що базуються на певних спрощеннях і обмеженнях, за допомогою яких при обраних критеріях відбору завчасно визначених варіантів побудови системи зенітного ракетного вогню визначається оптимальне рішення.

Але в відомих математичних рішеннях оптимізації бойового порядку зрбр (зрп) питанню формалізації зосередження зусиль на найбільш імовірних напрямках дій ЗПН приділено недостатньо уваги. Зокрема не розглянуто питання визначення позицій зрдн (зрбатр) для прикриття об'єкту від повітряного удару визначеного характеру із забезпеченням максимальних вогневих можливостей зрбр (зрп).

Мета статті. Таким чином метою даного дослідження є розробка методу визначення бойового порядку зрбр (зрп) з урахуванням прогнозу дій ЗПН противника.

Основний матеріал

Для створення системи зенітного ракетного вогню, що задовольняє розглянутим вище вимогам

визначаються необхідна кількість зенітних ракетних дивізіонів, відстані між позиціями дивізіонів (батарей) і кордонів об'єкта, інтервали між позиціями дивізіонів (батарей) [1]. Також є можливість визначення певних районів розміщення зрдн (зрбатр) в межах яких значення показника вогневих можливостей під час прикриття об'єкту знижується не більше ніж на 5%.

В межах визначених районів за допомогою аналізу характеру місцевості, її придатності до розміщення зрдн (зрбатр) визначаються можливі розміщення кожного зрдн (зрбатр) зі складу зрбр (зрп).

Варіант можливої побудови системи зенітного ракетного вогню в складі трьох зрдн для середніх і великих висот представлено на рис. 1.

Для вирішення даної задачі необхідно розробити математичну модель оптимального вибору бойового порядку зрбр (зрп) з множини можливих варіантів, для чого необхідно обґрунтувати обмеження на вибір варіантів та критерій (критерії) оптимізації.

Критерієм оптимізації в даному дослідженні вибрано отримання максимальної кількості стрільб зрбр (зрп) до РВЗ. Параметрами оптимізації вибрані координати точок стояння зенітних ракетних комплексів (ЗРК), тобто:

$$N_{стр} = \mathfrak{G}(X_i, Y_i) \Rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\{X_i, Y_i\} \in G, \quad i = \{1, 2, \dots, m\},$$

де X_i, Y_i – допустимі координати розміщення і-го ЗРК в прямокутній системі обчислення з початком координат в центрі об'єкта прикриття; m – кількість ЗРК на озброєнні зрбр (зрп); G – дискретна множина допустимих координат розміщення зенітних ракетних комплексів.

Множина G визначається виходячи з відбору площадок, що відповідають вимогам до стартових і радіотехнічних позицій, рис. 1. Формування цієї множини можна достатньо швидко здійснити з використанням сучасних геоінформаційних систем.

Враховуючи вимоги керівних документів про створення всевисотної і кругової системи зенітного ракетного вогню, в постановці оптимізаційного завдання було введено наступне обмеження:

$$\sum_{i=1}^m N_{стр_i}(\varphi, h) \geq 1, \quad (2)$$

$$\varphi = [0, 2\pi], \quad h = [H_{\min}, H_{\max}],$$

де φ – напрямок дії ЗПН противника (азимут) відно-

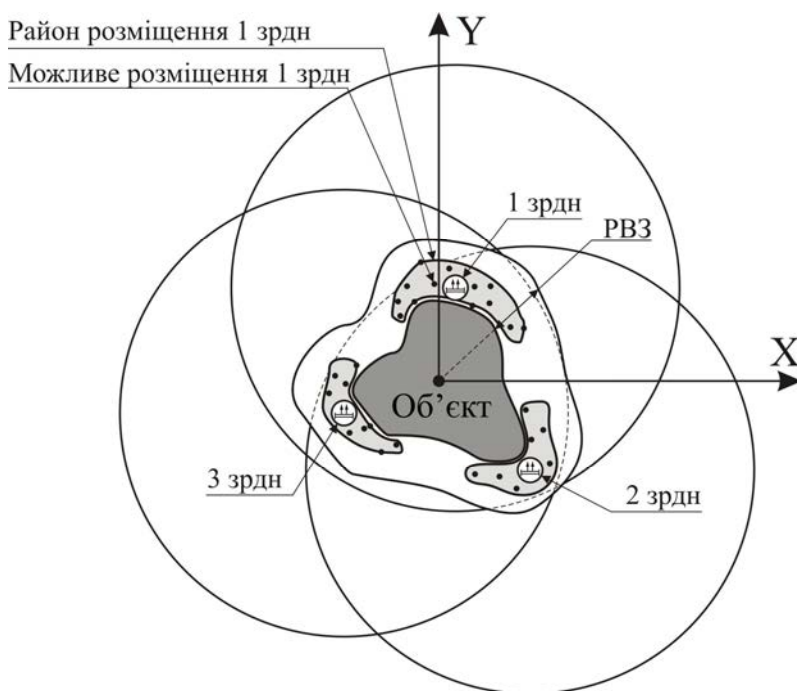


Рис. 1. Система зенітного ракетного вогню зрбр (зрп)

сно центра об'єкту; h – висота дії ЗПН противника; H_{\min} – мінімальна висота бойового застосування ЗПН противника; H_{\max} – максимальна висота бойового застосування ЗПН противника, $N_{стр_i}(\varphi, h)$ – кількість стрільб і-го зрдн (зрбатр) при дії ЗПН противника з напрямку φ та на висоті h .

Тобто необхідно, щоб кількість стрільб зрбр (зрп) з будь-якого напрямку відносно центра об'єкту і на висотах від мінімальної висоти бойового застосування ЗПН противника до максимально-можливої було не менше одного.

В [4] отримана модель розрахунку кількості стрільб зрбр (зрп) з урахуванням апріорної щільності розподілу імовірностей дії ЗПН противника відносно центра об'єкту по азимуту. З метою забезпечення всевисотної системи зенітного ракетного вогню, та врахування прогнозу дій ЗПН противника за висотами застосування було модифіковано зазначену модель розрахунку.

Відомо [1 – 3], що кількість стрільб зрбр (зрп) визначається як сума стрільб її дивізіонів (батарей):

$$N_{стр} = \sum_{i=1}^m N_{стр_i}, \quad (3)$$

де $N_{стр_i}$ – кількість стрільб і-го зрдн (зрбатр), що визначається як мінімальне значення кількості стрільб, в розрахунку за часом нальоту і по боезапасу ракет, наступним чином:

$$N_{стр_i} = \min \left(N_{стр_i}^{th}, \text{ent} \left(\frac{Q_i}{n_i} \right) \right), \quad (4)$$

де $\text{ent}(x)$ – ціле число аргументу x , Q_i – кількість

готових до бойового застосування ракет на стартових позиціях і-го зрдн (зрбатр), n_i – кількість ЗКР на одну стрільбу і-го ЗРК, $N_{стр_i}^{t_n}$ – кількість стрільб і-го зрдн (зрбатр), в розрахунку за часом нальоту.

Виходячи з постановки завдання, враховуючи прогноз дій ЗПН противника, було отримано вираз для розрахунку кількості стрільб і-го зрдн (зрбатр) відносно часу нальоту наступним чином:

$$N_{стр_i}^{t_n} = \frac{\int_{H_{min}}^{H_{max}} \left(\int_{\varphi \in \Phi_i(h)} N_{стр_i}(\varphi, h) \cdot f(\varphi, h) d\varphi \right) dh}{2 \cdot \pi \cdot H_{max}}, \quad (5)$$

де $\Phi_i(h)$ – множина напрямків дії ЗПН, при якій можливе виконання стрільби і-м зрдн (зрбатр) до РВЗ на висоті h ; $f(\varphi, h)$ – двовимірна щільність розподілу імовірностей дії ЗПН противника по азимуту φ відносно центра об'єкту та висоті h .

Підсумовування по азимуту проводиться не у всьому діапазоні, а тільки з напрямків із множин $\Phi_i(h)$. Це пов'язано з обмеженням діапазонів кутів, при яких функції $N_{стр_i}(\varphi, h)$ визначені.

Тобто множини $\Phi_i(h)$ – це множини кутів φ , при яких виконується наступна умова:

$$\Phi_i(h): P_{ці}(\varphi) \leq P_{max_i}(h), \quad (6)$$

$i = \{1, 2, \dots, m\}$, $\varphi = [0, 2\pi]$, $h = [H_{min}, H_{max}]$, де $P_{ці}(\varphi)$ – курсовий параметр цілі, розрахований відносно і-го ЗРК при дії ЗПН противника з напрямку φ відносно центра об'єкту; $P_{max_i}(h)$ – граничний параметр цілі для і-го ЗРК на висоті h .

Визначення курсового параметру цілі $P_{ці}(\varphi)$ пояснюється на рис. 2.

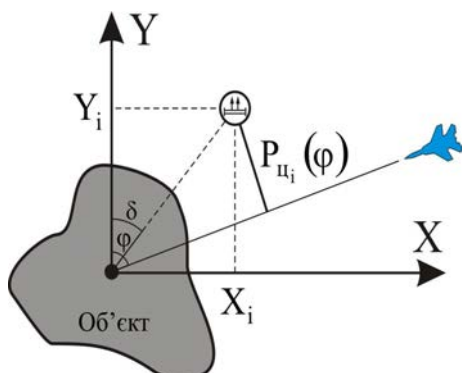


Рис. 2. Визначення курсового параметру цілі

Співвідношення для розрахунку курсового параметру цілі $P_{ці}(\varphi)$ має вигляд:

$$P_{ці}(\varphi) = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \cdot \cos(|\varphi - \delta|), \quad (7)$$

$$\delta = \begin{cases} \arctg\left(\frac{X_i}{Y_i}\right), & \text{при } Y_i \neq 0; \\ \frac{\pi}{2}, & \text{при } Y_i = 0 \text{ та } X_i > 0; \\ \frac{3 \cdot \pi}{2}, & \text{при } Y_i = 0 \text{ та } X_i < 0. \end{cases}$$

З метою придання вибраному показнику максимальної чутливості до зміни параметрів оптимізації і максимальної характеристики прикриття об'єкту було прийнято рішення про визначення кількості стрільб дивізіону (батареї) при дії ЗПН противника з певного напрямку і висоти до РВЗ у вигляді дійсного числа. Для цього введена умова:

$$N_{стр_i}(\varphi, h) = \begin{cases} N_{стр_i}^*(\kappa, h), & \text{при } R_{д_i}(\varphi, h) > R_{РВЗ}(\varphi, h); \\ 0, & \text{при } R_{д_i}(\varphi, h) \leq R_{РВЗ}(\varphi, h), \end{cases} \quad (8)$$

де $R_{РВЗ}(\varphi, h)$ – відстань від центра об'єкту до РВЗ при дії ЗПН з напрямку φ та на висоті h ; $R_{д_i}(\varphi, h)$ – відстань від центра об'єкту до дальньої межі зони поразення і-го ЗРК при дії ЗПН з напрямку φ та на висоті h ; $N_{стр_i}^*(\varphi, h)$ – кількість стрільб, що визначається для багатоканального ЗРК наступним чином:

$$N_{стр_i}^*(\varphi, h) = \begin{cases} 1 + \frac{t_n - \tau_i \cdot (n_i - 1) + t_i^{np}(\varphi, h)}{t_i^{пз}}, & \text{при } K_i \cdot t_i^{пз} \geq T_i^{цсеп}(\varphi, h); \\ 1 + K_i \cdot \frac{t_n - \tau_i \cdot (n_i - 1) + t_i^{np}(\varphi, h)}{T_i^{цсеп}(\varphi, h)}, & \text{при } K_i \cdot t_i^{пз} < T_i^{цсеп}(\varphi, h), \end{cases} \quad (9)$$

де t_n – тривалість нальоту ЗПН противника; $t_i^{np}(\varphi, h)$ – час перебування цілі у зоні пуску і-го ЗРК при дії ЗПН з напрямку φ відносно центра об'єкту та на висоті h ; τ_i – інтервал між пусками зенітних керованих ракет (ЗКР) у черзі і-го ЗРК, $t_i^{пз}$ – час пошуку та захоплення цілі на супроводження і-м ЗРК; K_i – кількість цільових каналів і-го ЗРК, $T_i^{цсеп}(\varphi, h)$ – середня тривалість циклу стрільби при дії ЗПН з напрямку φ відносно центра об'єкту та на висоті h .

$N_{стр_i}^*(\varphi, h)$ для одноканального ЗРК визначається наступним чином:

$$N_{стр_i}^*(\varphi, h) = 1 + \frac{t_n + t_i^{np}(\varphi, h)}{T_i^{цсеп}(\varphi, h)}. \quad (10)$$

На відміну від існуючих методів визначення

кількості стрільб [1 – 3] в рівняннях (9), (10) відсутня функція визначення цілої частини, тобто значення кількості стрільб, що визначається по приведених формулах лежить в множині дійсних чисел.

Така зміна обумовлена необхідністю надання даному показнику максимальної чутливості до зміни бойового порядку збрр (зрп).

У виразах (9), (10) всі складові визначаються відомими способами, всі вони досить широко описані в літературі і у даній статті не приведені. Виняток становить два параметри: час перебування цілі в зоні пуску $t_i^{np}(\varphi, h)$ і середній цикл стрільби $T_i^{дсер}(\varphi, h)$, які розраховуються для певного напрямку і висоти дії ЗПН противника відносно центра об'єкту.

Час перебування цілі в зоні пуску визначається, виходячи з глибини зони пуску наступним чином:

$$t_i^{np}(\varphi, h) = \frac{\Delta R_i(\varphi, h)}{V_{ц}(h)} \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (11)$$

де $V_{ц}(h)$ – максимальна швидкість бойового застосування ЗПН противника на висоті h ; $\Delta R_i(\varphi, h)$ – глибина зони пуску i -го ЗРК при дії ЗПН з напрямку φ відносно центра об'єкту і на висоті h до РВЗ.

Формування глибини зони пуску $\Delta R_i(\varphi, h)$ показано на рис. 3.

Тобто глибина зони пуску $\Delta R_i(\varphi, h)$, визначається наступним чином:

$$\Delta R_i(\varphi, h) = \begin{cases} R_{дi}(\varphi, h) - R_{РВЗ}^{\Pi}(\varphi, h), & \text{при } R_{РВЗ}(\varphi, h) > R_{блi}(\varphi, h); \\ R_{дi}(\varphi, h) - R_{блi}^{\Pi}(\varphi, h), & \text{при } R_{РВЗ}(\varphi, h) \leq R_{блi}(\varphi, h), \end{cases} \quad (12)$$

де $R_{блi}(\varphi, h)$ – відстань від центра об'єкту до ближньої межі зони поразення i -го ЗРК при дії ЗПН з напрямку φ і на висоті h ; $R_{РВЗ}^{\Pi}(\varphi, h)$ – мінімальна відстань від центра об'єкту до ЗПН, що діє з напрямку φ при якій забезпечується вирішення задачі пуску і поразення ЗПН на РВЗ; $R_{блi}^{\Pi}(\varphi, h)$ – відстань від центра об'єкту до ближньої межі зони пуску i -го ЗРК при дії ЗПН з напрямку φ і на висоті h .

Відстані $R_{дi}(\varphi, h)$ і $R_{блi}(\varphi, h)$ визначаються по відомим $L_{дi}(\varphi, h)$ і $L_{блi}(\varphi, h)$ (рис. 3) використовуючи наступне співвідношення:

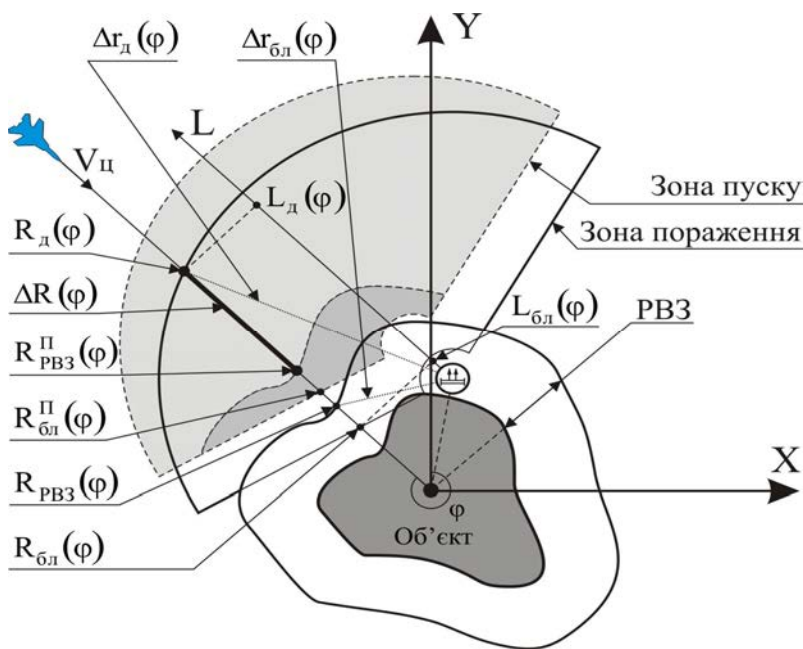


Рис. 3. Визначення глибини зони пуску

$$R = \begin{cases} \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} \cdot \cos(\gamma - \varphi), & \text{при } Q_x \neq 0 \text{ або } Q_y \neq 0; \\ 0, & \text{при } Q_x = 0 \text{ та } Q_y = 0; \end{cases} \quad (13)$$

$$Q_x = X_i + L \cdot \sin(\varphi); \quad Q_y = Y_i + L \cdot \cos(\varphi);$$

$$\gamma = \begin{cases} \arctg\left(\frac{Q_x}{Q_y}\right), & \text{при } Q_y \neq 0; \\ \frac{\pi}{2}, & \text{при } Q_y = 0 \text{ та } Q_x > 0; \\ \frac{3 \cdot \pi}{2}, & \text{при } Q_y = 0 \text{ та } Q_x < 0, \end{cases}$$

де R – відстань $R_{дi}(\varphi, h)$ або $R_{блi}(\varphi, h)$; L – курсова дальність до дальньої $L_{дi}(\varphi, h)$ або відповідно до ближньої $L_{блi}(\varphi, h)$ межі зони поразення i -го ЗРК при дії ЗПН з напрямку φ відносно центра об'єкту і на висоті h .

Оскільки розрахунок кількості стрільб i -м ЗРК ведеться при дії ЗПН з напрямку φ відносно центра об'єкту і на висоті h до досягнення ЗПН РВЗ, то співвідношення для середньої тривалості циклу стрільби $T_i^{дсер}(\varphi, h)$ необхідно розраховувати в припущенні, що обстріл ЗПН ведеться від дальньої межі зони поразення до ближньої або РВЗ наступним чином:

$$T_i^{дсер}(\varphi, h) = t_i^{пв} + t_i^{роб} + \tau_i \cdot (n_i - 1) + \frac{\Delta R_{дi}(\varphi, h) + \Delta R_{блi}(\varphi, h)}{2 \cdot V_{pi}} + t_i^{оц}, \quad (14)$$

де $t_i^{цв}$ – нормативний час відпрацювання даних цілевказівки і-м ЗРК; $t_i^{роб}$ – нормативний робітний час і-го ЗРК; $\Delta r_{дi}(\varphi, h)$, $\Delta r_{блi}(\varphi, h)$ – горизонтальна відстань від і-го ЗРК до дальньої межі зони його пораження та відповідно до ближньої (або до РВЗ) при дії ЗПН з напрямку φ відносно центра об'єкту і на висоті h ; V_{pi} – середня швидкість ЗРК і-го ЗРК; $t_i^{оц}$ – нормативний час оцінки результатів стрільби і-го ЗРК.

Відстані $\Delta r_{дi}(\varphi, h)$ та $\Delta r_{блi}(\varphi, h)$ визначаються, використовуючи наступне співвідношення перерахунку:

$$\Delta r = \sqrt{(X_i - R \cdot \sin(\varphi))^2 + (Y_i - R \cdot \cos(\varphi))^2}, \quad (15)$$

де сутність Δr і R визначається в залежності від наступних умов:

$$\Delta r = \begin{cases} \Delta r_{дi}(\varphi, h), & \text{при } R = R_{дi}(\varphi, h); \\ \Delta r_{блi}(\varphi, h), & \text{при } R = \begin{cases} R_{блi}(\varphi, h), & \text{при } R_{блi}(\varphi, h) > R_{РВЗ}(\varphi, h); \\ R_{РВЗ}(\varphi, h), & \text{при } R_{блi}(\varphi, h) \leq R_{РВЗ}(\varphi, h). \end{cases} \end{cases}$$

Нааявність багатьох умов в аналітичних виразах, що складають цільову функцію, а також присутність параметрів оптимізації в декількох моделях, рішення даної задачі в аналітичному вигляді отримати неможливо, проте завдання вирішується досить швидко рахунковими методами при використанні обчислювальної техніки.

Враховуючи непередбачуваність поведінки цільової функції при зміні параметрів оптимізації, обумовлене непередбачуваністю зміни рельєфу

місцевості, який впливає на характеристики зон пораження ЗРК, ефективним математичним методом рішення даної оптимізаційної задачі, на жаль, є метод прямого перебору, який накладає обмеження на потужність дискретної множини допустимих рішень, що для трьох ЗРК складає порядку 1000, при сучасному рівні обчислювальної техніки.

Висновки

Таким чином, був розроблений метод визначення бойового порядку бригади (полку), наукова новизна якого полягає в урахуванні прогнозу дій повітряного противника, глибини зони пуску зенітних ракетних комплексів обмеженої рубежем виконання завдань противником, довільної геометрії об'єкту прикриття і рубежу виконання завдань, що в сукупності підвищило чутливість цільової функції до зміни параметрів оптимізації і створило умови для збільшення вогневих можливостей зенітної ракетної бригади (полку) за рахунок отримання більш раціональнішого рішення на створення системи зенітного ракетного прикриття.

Список літератури

1. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Горпчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х: ХВУ, 2003. – 368 с.
2. Справочник офіцера противовоздушной оборони / Г.В. Зимин, С.К. Бурмистров, Б.М. Букин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1987. – 512 с.
3. Неупокоев Ф.К. Противовоздушный бой / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с.
4. Новіченко С.В. Урахування геометрії межі об'єкту та рубежу виконання завдань засобами повітряного нападу противника при визначенні кількості стрільб зенітної ракетної бригади (полку) // Зб. наук. пр. ХУ ПС. – Х., 2010. – Вип. 1 (23). – С. 19-22.

Надійшла до редколегії 30.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співр. В.В. Баранник, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ БОЕВОГО ПОРЯДКА ЗЕНИТНОЙ РАКЕТНОЙ БРИГАДЫ (ПОЛКА) С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА ДЕЙСТВИЙ ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА

С.В. Новиченко, А.М. Печкин, А.М. Савельев

В статье разработан метод определения боевого порядка зенитной ракетной бригады (полка) с учетом прогноза действий воздушного противника на основе критерия максимума количества стрельб бригады (полка), что определяется с учетом глубины зоны пуска зенитных ракетных комплексов ограниченной рубежом выполнения задачи и произвольной геометрии границы объекта.

Ключевые слова: огневые возможности, боевой порядок, глубина зоны пуска.

THE METHOD OF BATTLE-ORDER DETERMINATION OF ANTI-AIRCRAFT ROCKET BRIGADE (SHELF) TAKING INTO ACCOUNT THE PROGNOSIS OF AIR OPPONENT ACTIONS

S.V. Novichenko, A.N. Pechkin, A.N. Savelyev

In the article the method of battle-order determination of anti-aircraft rocket brigade (shelf) is developed taking into account the prognosis of air opponent actions on the basis of a maximum criterion of firings amount of brigade (shelf), that is determined taking into account the depth of starting area of anti-aircraft rocket complexes limited the border of objective performance and arbitrary geometry of object border.

Keywords: possibilities of fires, battle-order, depth of starting area.