

УДК 681.3

І.А. Нікіфоров

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## МЕТОДИКА РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПРИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕВИХ ЗАСОБІВ ЗІ СКЛАДУ ТАКТИЧНОЇ ГРУПИ ЗРВ ЗМІШАНОГО СКЛАДУ

*Розглянуто методику рішення задачі призначення вогневих засобів зі складу тактичної групи ЗРВ змішаного складу, що дозволяє раціонально й ефективно використати різноманітні й різнотипні об'єкти управління в умовах агресивного зовнішнього середовища.*

**Ключові слова:** ефективність, автоматизована система управління, показник якості управління, економічна доцільність.

### Постановка проблеми

Одним із пріоритетних напрямків розвитку Збройних Сил є вдосконалення систем управління військами й зброєю.

Найбільш швидким та раціональним шляхом, що дозволяє значно збільшити бойовий потенціал військ і підвищити ефективність застосування всіх видів зброї при існуючому складі, є використання автоматизованої системи управління (АСУ). При цьому необхідно відзначити, що в цей час спостерігається зростання значимості сил і засобів протиповітряної оборони (ППО), тому що вона є однієї з головних складових у загальній системі заходів по забезпеченню готовності держави до захисту від збройного нападу, зокрема, від масованого ракетного авіаційного удару.

Ефективність бойових дій угруповання ППО при відбитті повітряного удару істотно залежить від якості й оперативності прийнятих рішень по закріпленню об'єктів управління (ОУ) за повітряними цілями (для розглядаемого випадку - вогневі засоби ППО) [1, 2]. Системоутворюючим елементом угруповання ППО є АСУ, що представляє собою складну ергономічну організаційно-технічну систему мережної архітектури, що рознесена в просторі й працює в реальному масштабі часу.

Основною метою процесу підтримки прийняття рішення, реалізованого в АСУ, є забезпечення реалізації граничних бойових можливостей ОУ, а саме, вогневих засобів або засобів враження (ЗВ), угруповання ППО (тактичної групи ЗРВ змішаного складу) з урахуванням тактики дії противника. Ефективність прийнятих рішень визначається якістю інформації про повітряного супротивника [3], оптимальністю алгоритмів призначення вогневих засобів зі складу тактичної групи ЗРВ змішаного складу по повітряним цілям, своєчасністю й точністю постановки завдань ВЗ на знищення цілі [4]. В даній роботі розглянута методика призначення вогневих засобів зі складу тактичної групи ЗРВ змішаного складу.

### Обґрунтування вихідних даних

У якості вихідних даних рішення задачі призначення вогневих засобів визначимо, що кожний вогневий засіб характеризується можливостями щодо враження по висоті  $H_{\min}$  й  $H_{\max}$  та дальності  $D_{\text{бл}}$  й  $D_{\text{дал}}$ .

Дані характеристики визначають гарантований рубіж впливу (РВ) вогневого засобу, можливості обстрілу цілі по швидкості  $v$  й параметру  $S$ , імовірність враження цілі  $P$ , цикл стрільби  $T_{\text{ц}}$ . А відповідно кожна повітряна ціля характеризується: висотою польоту  $H$ , швидкістю  $v_{\text{ц}}$ , курсовим параметром  $S$ , підльотним часом досягнення у-ю повітряною ціллю рубежу впливу і-го ВЗ зі складу тактичної групи ЗРВ змішаного складу  $t_{\text{підл}i}$ .

Тоді бойова робота ВЗ по повітряній цілі можливе при таких обмеженнях:

$$\begin{cases} H_{i\min} \leq H_{\text{ц}} \leq H_{i\max} & \text{— по висоті} \\ v_{\text{ц}} \leq v_{i\text{гран}} & \text{— по швидкості} \\ S_{\text{ц}} \leq S_{\text{цгран}} & \text{— по курсовому параметру} \\ t_{\text{підл}i} > T_{\text{ци}i\min} + t_{\text{зав}i(j-1)} & \text{— по підльотному часу,} \end{cases} \quad (1)$$

де  $T_{\text{ци}i\min}$  — мінімальний цикл стрільби і-го ВЗ;  $t_{\text{зав}i(j-1)}$  — час зайнятості і-го ВЗ на обстріл раніше призначеної (j-1)-й цілі.

### Основна частина

Зазначимо, що рішення задачі призначення вогневих засобів зі складу тактичної групи ЗРВ змішаного, здійснюване АСУ, що представляє собою формалізований варіант, який виконує функцію інтелектуальної підтримки прийнятих командиром рішень на бойові дії [1, 4, 5]. Сутність рішення даної задачі полягає у виявленні вогневих засобів, здатних із заданою ймовірністю знищити цілі на основі оптимізації обраного показника якості управління.

Тобто, по своїй суті, показник якості управління характеризує ступінь виконання тактичною групою ЗРВ змішаного складу поставленого завдання, що відповідає принципу вибору цільової функції, сформульованому академіком А.Н. Колмогоровим.

В якості показника якості управління, на наш погляд, доцільно використовувати показник, що характеризує відвернений збиток об'єкту оборони [ ], та визначається виходячи зі збитку, що наноситься противником об'єкту оборони який прикривається тактичною групою ЗРВ змішаного складу, і записується у вигляді

$$Q = \sum_{r=1}^R C_r \cdot \left( \begin{array}{c} \sum_{j=1}^N C_{jr} P_{jr}^{3Bp} - \\ - \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M C_{jr} P_{jr}^{3Bp} P_{ij}^{3B} P_{ij}^{B3} m_{ij} \end{array} \right), \quad (2)$$

де  $C_r$  – важливість  $r$ -го окремого об'єкта оборони;

$r \in \overline{1, R}$ ,

$R$  – номери окремих об'єктів;

$C_{jr}$  – ступінь небезпеки  $j$ -ї цілі для  $r$ -го об'єкта оборони;

$P_{jr}^{3Bp}$  – імовірність входження  $j$ -ї цілі в зону небезпеки  $r$ -го об'єкта оборони;

$P_{ij}^{3B}$  – імовірність входження  $j$ -ї цілі в зону впливу  $i$ -го вогневого засобу;

$P_{ij}$  – імовірність виконання бойового завдання  $i$ -м вогневим засобом по  $j$ -й цілі;

$N$  – кількість цілей;

$M$  – кількість вогневих засобів;

$m_{ij}$  – параметр управління, що характеризує закріплення  $j$ -ї цілі за  $i$ -м вогневим засобом.

Математична модель, що відображає механізми вирішення зазначеної задачі може бути описана наступним виразом:

$$F_{B3}^* = \text{opt}(\{N\} \cup \{M\}, m_{ij}) = \max_{W_{БД}^* \in \{W\}} F_{B3}(W_{БД}^*),$$

де  $F_{B3}^*$  – показник якості управління у вигляді відверненого збитку об'єкту оборони;

$\{N\}$ ,  $\{M\}$  – множини цілей і ВЗ відповідно;

$F_{B3}$  – функція відверненого збитку;

$W_{БД}^*$  – найкращий (раціональний) варіант розвитку бойових дій;

$\{W_{БД}\}$  – множина варіантів розвитку бойових дій.

При використанні  $F_{B3}^*$ , що враховує ступінь небезпеки цілі, варто використовувати критерій, що

характеризує нанесений збиток об'єкту по глибини проникнення цілей  $D_{pr}$  у зону небезпеки об'єкта, що визначається виразом

$$D_{pr} = \sum_{j=1}^N V_{цj} t_j^{3H},$$

де  $t_j^{3H}$  – час знаходження цілі  $j$  в зоні небезпеки об'єкта.

Мінімізація  $D_{pr}$  можлива шляхом мінімізації проникнення кожної цілі в зону небезпеки об'єкта. Це означає, що для знищення  $j$ -ї цілі необхідно призначити, той  $i$ -й вогневий засіб, подльотний час цілі до рубежу впливу якого є найменшим з урахуванням обмежень (1).

Оптимізація  $F_{B3}^*$  [5, 6] полягає в знаходженні таких значень параметрів управління  $m_{ij}$ , які обертають його у мінімум при наступних обмеженнях:

$$\sum_{i=1}^M m_{ij} = 1 \quad (j = \overline{1; N}), \quad \sum_{j=1}^N m_{ij} = 1 \quad (i = \overline{1; M}), \quad (3)$$

які фактично визначають заборону зосередження вогню декількох вогневих засобів по одній повітряній цілі й призначення декількох цілей одному засобу відповідно.

$F_{B3}^*$  задовольняє всім основним вимогам (має фізичну сутність, є функцією параметрів обстановки й параметрів управління, простий в обчисленнях), однак він не повною мірою задовольняє умовам сучасної війни й не враховує особливостей застосування масованого повітряного удару з широкомасштабним застосуванням БПЛА. Проведений аналіз свідчить, що для тактичної групи ЗРВ змішаного складу, що має у своєму складі різнотипні ВЗ, не існує алгоритмів які забезпечують їхній раціональний розподіл по повітряним цілям.

А алгоритми, що реалізовані в існуючих АСУ віддають перевагу ВЗ, що мають найбільші рубежі впливу й цикли стрільби, що приводить до пропуску низколетячих цілей і неоптимальній витраті боєпасу у групування ППО.

З метою реалізації потенційних можливостей різнорідних вогневих засобів тактичної групи ЗРВ змішаного складу необхідно їх замкнути в єдину АСУ ППО. При цьому раціональне рішення зазначеної задачі повинне носити багатофакторний характер і враховувати, крім імовірнісних характеристик, тип конкретного вогневого засобу [4, 5]. Тоді критерій оптимізації призначення вогневих засобів є багатофакторним (F) і враховує: ступінь важливості (небезпеки) цілі ( $f_{C_{jr}}$ ), економічну доцільність обстрілу цілі визначеним вогневим засобом ( $f_{U_{jr}}$ ),

цикл стрільби вогневого засобу ( $f_{T_{Цj_r}^{B3}}$ ) й підльотний час цілі до рубежу впливу вогневого засобу ( $f_{T_{підлj_r}}$ ).

У загальному виді багатوافакторний критерій оптимізації може бути визначений наступним чином:

$$F = F(X) = \left\{ f_{C_{j_r}}, f_{U_{j_r}}, f_{T_{Цj_r}^{B3}}, f_{T_{підлj_r}} \right\}. \quad (4)$$

Формально оптимальне рішення  $\bar{X}$  має такий вигляд:

$$\bar{F} = \bar{F}(\bar{X}) = \underset{W_{bd}^* \in \{W_{bd}\}}{\text{opt}} F(X),$$

де  $F$  – оптимальне рішення інтегрального критерію;  $X$  – оптимальне рішення керованих параметрів.

При рішенні задачі призначення вогневих засобів локальні критерії є рівноважними, тому коефіцієнт відносної важливості кожного критерію можна не враховувати в процесі оптимізації.

В [7] зазначено, що для задач такого типу значення приватних показників критерію (4) являють собою елементи матриць.

Обмеженнями процесу оптимізації є:

- рівнозначність параметрів обстановки, тобто можливість участі в процесі призначення ВЗ всіх вогневих засобів, здатних знищити розглянуті цілі;
- визначення напрямку зміни параметрів оптимізації, з метою досягнення максимального відверненого збитку об'єкту оборони;
- попереднє ранжирування цілей противника по важливості, що дозволяє не пропустити найнебезпечніші цілі до об'єктів оборони.

Оскільки обстановка в ході протиповітряного бою постійно міняється, то рішення всіх задач управління повторюється періодично через певний проміжок часу (цикл рішення завдань управління). У кожному циклі послідовно здійснюється наступне.

1. Обробка радіолокаційної інформації про ціль, дані про яку надійшли на автоматизований командний пункт першими, у рамках якої визначається важливість цілі.

2. Формування матриці важливості (небезпеки) цілей  $\|C_{j_r}\|$ .

3. Формування матриці цілерозподілу  $\|A_{j_r}\|$  [5].

4. Відбір вогневих засобів, здатних обстріляти ціль на основі  $\|A_{j_r}\|$ .

5. Призначення вогневих засобів за визначеним критерієм.

Так вибір вогневого засобу з мінімальним циклом стрільби із числа відібраних по даній цілі з матриці  $\|T_{Цij}^{B3}\|$  при обмеженнях (3):

$$\min \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M T_{Цij}^{B3} m_{ij} \quad (5)$$

Вибір вогневого засобу з мінімальним циклом стрільби виконується в інтересах підвищення ефективності поразки повітряних цілей за рахунок можливості кількарізового їхнього обстрілу з урахуванням короткочасності перебування повітряного противника в зоні вогню тактично групи ЗРВ змішаного складу. Таким чином, з відібраних вогневих засобів, що задовольняють нерівності (1), тобто здатних обстріляти ціль, необхідно відібрати вогневі засоби з мінімальним циклом стрільби відповідно до виразу:

$$T_{Цij}^{B3} = \min \left\{ T_{Цвідібрjij}^{B3} \right\},$$

де  $\left\{ T_{Цвідібрjij}^{B3} \right\}$  – множина відібраних вогневих засобів по даній цілі, що мають свій цикл стрільби, обрахований згідно [4].

При наявності двох і більше вогневих засобів з однаково мінімальним циклом стрільби з матриці  $\|T_{підлj_r}\|$  вибирається вогневий засіб, підльотний час цілі до рубежу впливу якого найменше при обмеженнях (3):

$$\min \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M T_{підлj_r}^{B3} m_{ij}. \quad (6)$$

При заданих обмеженнях показник (6) відповідає критерію Вальда [8], що реалізує досягнення гарантованого результату в самих несприятливих умовах.

У наступному циклі всі розрахунки повторюються у тому ж порядку і якщо буде потреба (наприклад, при маневрі цілей або з появою нових цілей) рекомендації з розподілу ВЗ коректуються.

Крім цього, за наявністю часу обробки даних, може бути обрахований показник "ефективність – вартість". Його розрахунок здійснюється наступним чином: при заданих значеннях параметрів  $P_{ij}^{B3}$  (імовірність виконання бойового завдання по знищенню  $j$ -ї цілі  $i$ -м ВЗ у складі тактичної групи ЗРВ змішаного складу), параметрів  $P_{ij}^{B3}$  (імовірність входження  $j$ -ї цілі в зону впливу  $i$ -го ВЗ на відповідному РВ) необхідно знайти оптимальні рішення  $X_{ij}$ , які перетворюють у мінімум критерій  $F_{НВ}$  витрат на знищення (економічна доцільності обстрілу  $i$ -м ВЗ  $j$ -ї цілі, при наявності альтернатив) і -м ВЗ  $j$ -ї цілі, що описується виразом:

$$F_{HB} = \min \sum_{j=1}^{N_{\text{відп}}} \sum_{i=1}^{M_{\text{відп}}} E_{дij} X_{jr}, \quad (7)$$

де  $N_{\text{відп}}$  – кількість цілей, що виходять на РВ тактичної групи ЗРВ змішаного складу;  $M_{\text{відп}}$  – кількість ВЗ здатних знищувати цілі на відповідному РВ;  $E_{дij} = P_{ij}^{\text{БЗ}} P_{ij}^{\text{БЗ}} \hat{C}_{ij}$  – елементи матриці економічної доцільності обстрілу  $i$ -м ВЗ  $j$ -ї цілі;  $P_{ij}^{\text{БЗ}} = P_{цвij} P_{врij}$ ;  $P_{цвij}$  – імовірність призначення  $i$ -го ВЗ по  $j$ -й цілі,  $P_{врij} = 1 - (1 - P_{ц}^1)^n$  – імовірність поразки  $i$ -м ВЗ  $j$ -й цілі за цикл стрільби;  $P_{ц}^1$  з поразкою цілі однією ракетою;  $n$  – кількість ракет призначених на ціль для досягнення гарантованої ймовірності її поразки, не нижче 0,9;  $\hat{C}_{ij}$  – математичне сподівання вартості витрати ракет:

$$\hat{C}_{ij} = \sum_{j=1}^{N_{\text{відп}}} \sum_{i=1}^{M_{\text{відп}}} C_{цi} W_{ij}, \quad (8)$$

де  $C_{цi}$  – нормоване значення вартості циклу стрільби  $i$ -го ВЗ щодо максимального значення;  $W_{ij}$  – число циклів стрільби  $i$ -го вогневого засобу по  $j$ -й цілі для її поразки з гарантованою ймовірністю не нижче 0,9;  $X_{ij}$  – параметр управління, що характеризує можливість обслуговування  $i$ -м ВЗ  $j$ -ї цілі,

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i\text{-й ВЗ здатен вразити } j\text{-ту ціль} \\ \text{з ймовірністю не нижче } 0,9 \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}$$

## ВИСНОВОК

Використання запропонованої моделі підтримки прийняття рішення характеризується універсальністю застосування для рішення завдань призначення

вогневих засобів зі складу тактичної групи ЗРВ змішаного складу (для оптимізації процесу вказаного процесу на АКП і АПУ тактичної групи ЗРВ змішаного складу всіх рівнів ієрархії); врахуванням важливості цілей, часових можливостей вогневих засобів у сукупності з їх бойовою ефективністю й економічною доцільністю по враженню цілей; можливістю своєчасної поразки високоточних засобів враження; здатністю ефективної реалізації пропонуваного варіанта тактичної групи ЗРВ змішаного складу.

Реалізація наведеної моделі призначення вогневих засобів тактичної групи ЗРВ змішаного складу дозволить збільшити кількість автоматично розв'язуваних функцій при керуванні засобами ППО і їхнім угрупованням.

## Список літератури

1. Кругликов С.В. Автоматизация процессов организационного управления силами и средствами. Минск, 2007.
2. Певцов Г.В., Печкін А.М., Нікіфоров І.А. Рекомендації щодо підвищення маневрених можливостей угруповання ЗРВ при здійсненні прикриття об'єктів та військ. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 4. – С. 46-49.
3. Кругликов С.В., Липатов А.А., Потетенко С.В. // Информационно - измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10, № 9. С.18–25.
4. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. – Воениздат. – 1991. – С. 343 ISBN 5-203-00265-7.
5. Кругликов С. В. // Сб. науч. ст. докторантів, ад'юнктів, здобувачів. 2008. № 14. С. 80-88.
6. Кругликов С. В., Кибалко И. П. // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. 2011. № 2 (31). С.66-74.
7. Кругликов С. В., Лемешевский С. Л. // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. 2010. №2 (27). С.32-38.
8. Г.Л. Бродецкий. Системный анализ в логистике, выбор в условиях неопределённости. Глава1. Максиминный критерий (ММ-критерий или критерий Вальда). – Москва: Academia, 2010. – С. 22. – 336 с.

Надійшла до редколегії 15.07.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. кожедуба, Харків.

## МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЕ ОГНЕВЫХ СРЕДСТВ ИЗ СОСТАВА ТАКТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ ЗРВ СМЕШАННОГО СОСТАВА

И.А. Никифоров

*Рассмотрена методика решения задачи назначения огневых средств из состава тактической группы ЗРВ смешанного состава, что позволяет рационально и эффективно использовать разнородные и разнотипные объекты управления в условиях агрессивной внешней среды.*

**Ключевые слова:** эффективность, автоматизированная система управления, показатель качества управления, экономическая до-целостность.

## METHOD PROBLEM SOLVING PURPOSE FIREPOWER FROM A WAREHOUSE TASK FORCE ANTI-AIRCRAFT MISSILE TROOPS MIXED GLASS

I.A. Nikiforov

*The method of solving the problem of the appointment of firepower from the Task Force ZRV do mixed glass, allowing rational and efficient use of diverse and different types control objects in an aggressive environment.*

**Keywords:** efficiency, automated control system, Quality management, economic-to wholeness.