

УДК 004.825

М.М. Петрушенко, М.І. Литвиненко

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ ПОВІТРЯНОГО УДАРУ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ

У статті запропонована математична модель процесу вирішення задачі визначення напрямку удару засобів повітряного нападу (ЗПН) на оперативному напрямку для підсистеми інформаційного забезпечення АСУ. Використання моделі дозволить застосовувати при плануванні бойової підготовки не тільки вимоги керівних документів, але й досвід, знання особливості підготовки фахівців різного профілю.

Ключові слова: моделювання, інформаційне забезпечення, напрямок, повітряний удар.

Вступ

Постановка проблеми. Основна складність рішення визначення напрямків удару засобів повітряного нападу (ЗПН) противника полягає в тому, що ініціатива у виборі напрямків і способів дій належить противникові. Тому необхідно враховувати [1] як характер дій противника так і фактичне положення ЗПН противника в просторі в теперешній момент часу і накопичені дані про їх положення за весь період спостереження. Це дасть можливість проводити прогноз розвитку обстановки й вчасно виявляти можливі її зміни; положення своїх об'єктів оборони; стан своїх сил і засобів; знання про ймовірні способи і прийоми ведення бойових дій повітряним противником. Відмітимо також, що вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН на етапі безпосередньої підготовки до ведення бойових дій проводиться за обмежений час, в умовах високих інформаційних і психологічних навантажень на осіб, що приймають рішення (ОПР), а так само на осіб відпо-

відальних за збір, обробку й попередню оцінку інформації про повітряну обстановку.

Таким чином, моделювання даного процесу з метою його автоматизації, є актуальним. Результати моделювання можуть бути основою ухвалення рішення ОПР про найбільш імовірний напрямок дій противника на оперативному напрямку і дозволять одержати дані для аналізу множини можливих варіантів розвитку обстановки на оперативному напрямку.

Аналіз літератури. Підходи до розробки математичної моделі визначення напрямку удару ЗПН були розглянуті в роботах [2 – 4]. Так у [2] при розробці моделі всі ЗПН вважаються спостережуваними, інформація про просторове положення ЗПН не використовується, знання про цілі і задачі противника не враховуються. У [3] розглянута можливість використання розпізнавання сформованої тактичної обстановки читаючих автоматів, які оцінюють положення оцінок від повітряних об'єктів за інформацією представленою на засобах відображення інформації КП, і надають інформацію ОПР про можливу

небезпеку. При даному підході задача збору й обробки інформації про повітряну обстановку, визначення напрямку удару покладе на ОПР. У [4] запропонований метод визначення напрямку удару ЗПН. Основні недоліки запропонованого методу: не передбачений аналіз просторового положення повітряних об'єктів, щодо меж зони відповідальності та визначених оперативно-тактичних напрямів відповідальності, та не враховується значення платності повітряних об'єктів на кожному з напрямів.

Проведений аналіз літератури показує, що існуючі підходи до розробки моделей визначення напрямків ударів ЗПН не дозволяють повною мірою описати процес рішення задачі визначення напрямку удару ЗПН з урахуванням динаміки зміни повітряної обстановки, накопичення інформації про дії ЗПН, а так само не повному обсязі використати знання про можливість противника, його можливих цілях і задачах, просторових межах напрямків відповідальності.

Мета статті. Розробити математичну модель визначення напрямків ударів ЗПН на оперативному напрямку, що враховує просторове положення ЗПН, знання про правила побудови повітряних ударів, цілях і задачах, розв'язуваних противником в ударі, динаміку зміни даних про повітряну обстановку та просторовий розподіл меж відповідальності.

Результати досліджень

Для розробки підмоделі оцінки обстановки необхідно визначити всі умови, що можуть вплинути на хід бойових дій, а також установити причинно-наслідкові зв'язки всіх її елементів, характер впливу на вирішення бойової задачі, розкрити тенденції й закономірності розвитку обстановки. При цьому введемо ряд припущень й обмежень: противник діє цілеспрямовано й прагне до досягнення своїх цілей; основною метою дій ЗПН противника є знищення об'єктів ППО, об'єктів, що прикривають ППО, і авіації в повітрі; противник керується накопиченим досвідом ведення бойових дій, що уможливує використання даного досвіду при розробці методу формалізації знань про процес вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН; противник намагається мінімізувати свої втрати в кожному повітряному ударі; противник керується нормативами [2] при побудові повітряних ударів, і ці дані використовуються при визначенні напрямків повітряних ударів; вихід до об'єктів удару повітряний противник здійснює найкоротшим шляхом; при прориві системи ППО на початку вогневого впливу побудова удару не порушується доти, поки ЗПН не досягли певної точки розльоту по об'єктах.

Керуючись даними припущеннями й обмеженнями, перейдемо до розробки математичної моделі визначення напрямків ударів ЗПН, що буде містити в собі такі складові: $\bar{a}(x_a, y_a, z_a, Q_a, v_a)$, де x_a, y_a, z_a - координати повітряного об'єкта, Q_a -

курс повітряного об'єкта, v_a - швидкість повітряного об'єкта; $S = (s_{ш}, s_{г})$ - ширина й глибина ділянки прориву ППО. Тоді можна задати «габарити» просторового стробу, у якому можлива побудова одного удару $M(m_{ш}, m_{г})$, при цьому $m_{ш} = s_{ш}$, а $m_{г}$ визначається бойовими можливостями ЗПН.

Значення даних параметрів вводяться в систему розпізнавання можливих напрямків ударів ЗПН на етапі її настроювання або безпосередньо при її використанні. Використовуючи метод, запропонований в [1], проведемо групування ЗПН із врахуванням того, що відомі інтервали й дистанції між ЗПН - $C = (c_{п}, c_{з}, c_{тг})$, $D = (d_{п}, d_{з}, d_{тг})$, що діють як окремо, так й у складі пар, ланок і тактичних груп.

Таким чином, надалі при визначенні спільної дії ЗПН в межах «габариту» масованого удару спільно можливий розгляд як окремих ЗПН, так ТГ ЗПН.

Математична постановка задачі зводиться до наступного: необхідно серед множини ЗПН:

$$A = (\bar{a}_j), \quad j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

виділити такі підмножини $\Gamma_1, \dots, \Gamma_g$, для яких будуть виконуватися умови:

а) підмножини не перетиналися, тобто

$$\Gamma_k \cap \Gamma_l = 0, \quad \text{якщо } k \neq l. \quad (2)$$

б) будь-який елемент належить лише одній підмножині, тобто

$$\bigcup_{i=1}^g \Gamma_i = A; \quad (3)$$

при цьому кожна підмножина Γ_i складається лише з «найбільш близьких об'єктів».

Аналіз тактики дій імовірного противника при проведенні ударів різнорідних ЗПН показує, що удар містить у собі ешелон прориву (придушення) системи ППО й ударний ешелон. Для успішного прольоту авіації противник передбачає пробити в смугі оборони Повітряних Сил кілька коридорів шириною $s_{ш}$ на глибину $s_{г}$. Тоді, при визначенні напрямків удару ЗПН необхідно враховувати наступні фактори: ЗПН у масованому ударі діють у складі ТГ; ТГ діють у складі ешелону прориву або самостійно, що визначає необхідність рішення задачі розпізнавання ешелонів удару, з урахуванням можливих інтервалів між ешелонами; напрямком удару ЗПН містить у собі ТГ, окремі ЗПН, ешелони різного призначення з обліком їх можливих просторових характеристик.

Далі поставимо у відповідність кожному кластеру, що описує множини ЗПН, один з напрямків, на якому вони діють, і будемо розглядати кластер, що складається з підкластерів, кожному з яких відповідають певні ешелони. Нехай задані параметри масованого удару $M(m_{ш}, m_{г})$ й параметри ешелонів в ударі $\mathcal{E}((\varepsilon_{ш}^1, \varepsilon_{г}^1), \dots, (\varepsilon_{ш}^p, \varepsilon_{г}^p))$. При виявленні нового

(першого) ЗПН \bar{a}_j вважаємо його першим об'єктом кластера Γ_1 із границями $(\varepsilon_{\text{ш}}^1, \varepsilon_{\text{н}}^1) \in M(m_{\text{ш}}, m_{\text{н}})$ і вважаємо його центром кластера.

При виявленні наступних ЗПН перевіряємо можливість об'єднання їх у ТГ. Якщо таке об'єднання можливо, то надалі розглядаємо дану ТГ як єдиний об'єкт з узагальненими характеристиками. Далі шукаємо відстань між виявленими об'єктами для перевірки умов додавання об'єктів до кластеру з використанням наступного співвідношення:

$$r_{j,j+1} = |(\mathbf{f}_{1x}, \mathbf{f}_{1y}, \mathbf{f}_{1z}) - (a_{jx}, a_{jy}, a_{jz})|; \quad (4)$$

де $(\mathbf{f}_{1x}, \mathbf{f}_{1y}, \mathbf{f}_{1z})$ – геометричний центр кластера Γ_1 .

Після чого знаходимо геометричний центр даного кластера:

$$\mathbf{f}_1(\mathbf{f}_{1x}, \mathbf{f}_{1y}, \mathbf{f}_{1z}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (a_{jx}, a_{jy}, a_{jz}), \quad \forall a_j \in \Gamma_1; \quad (5)$$

при цьому $r_{\mathbf{f}_1, a_j} > r_{\mathbf{f}_2, a_j}$, якщо $a_j \in \Gamma_1$ й $r_{\mathbf{f}_1, a_j} < r_{\mathbf{f}_2, a_j}$ у протилежному випадку. Дана умова виконується для центрів підкластерів кластера Γ_1 . Далі визначаємо середню швидкість ЗПН у розглянутому кластері:

$$\mathbf{f}_1(v) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (v_{a_j}), \quad \forall a_j \in \Gamma_1. \quad (6)$$

Спочатку центр кластера пов'язаний з першим об'єктом. Надалі перераховується для всіх об'єктів, що потрапили в даний кластер, і виробляється перевірка влучення в кластер із центром \mathbf{f}_1 , і характеристиками підкластера $(\varepsilon_{\text{ш}}^1, \varepsilon_{\text{н}}^1)$.

Після чого перевіряється умова приналежності даних ЗПН (ТГ) кластеру $M(m_{\text{ш}}, m_{\text{н}})$:

$$m_{\text{ш min}} \leq a_{jx} \leq m_{\text{ш max}}; \quad m_{\text{н min}} \leq a_{jz} \leq m_{\text{н max}}. \quad (7)$$

Далі для всіх об'єктів \bar{a}_j , що потрапили в кластер Γ_g , розраховується узагальнений курс (напрямок руху) об'єктів, об'єднаних у рамках кластерів:

$$\alpha_{\Gamma_g} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_{a_j}, \quad (8)$$

який і є напрямком руху даного кластера.

Така процедура виконується для всіх виявлених кластерів і підкластерів ЗПН. При виявленні декількох кластерів ЗПН перевіряється можливість їхнього об'єднання в рамках одного кластера.

Якщо вектори які характеризують узагальнений курс руху $\alpha_{\Gamma_1}, \alpha_{\Gamma_2}$ і належать кластерам Γ_1, Γ_2 перетинаються до входу в зону поразки конфронтуючого об'єднання ПС, то дані кластери можуть об'єднатися або діяти спільно на двох сусідніх ділянках.

Для перевірки даної умови будується одиничний вектор \bar{e}_{Γ_g} для кожного кластера:

$$\bar{e}_{\Gamma_g} (\cos(\alpha_{\Gamma_g}), \sin(\alpha_{\Gamma_g})). \quad (9)$$

У випадку, якщо вектора колінеарні, а за умови обліку помилок виміру, якщо їхні курси практично збігаються, то:

$$\theta_{\text{min}} \leq \cos(\alpha_{\Gamma_1}) \cdot \sin(\alpha_{\Gamma_2}) - \sin(\alpha_{\Gamma_1}) \cdot \cos(\alpha_{\Gamma_2}) \leq \theta_{\text{max}}$$

При виконанні цієї умови приймається рішення про те, що кластери незалежні, при цьому $\theta_{\text{min}}, \theta_{\text{max}}$ задаються експертами. Якщо вектори не колінеарні, перевіряється умова можливості їхнього перетину. Для цього вираховується кут τ між векторами \bar{e}_{Γ_g} . Якщо його значення лежить в інтервалі $0^\circ < \tau < 90^\circ$, то перетин можливий:

$$\arccos(\tau) = \frac{\bar{e}_{\Gamma_1} \cdot \bar{e}_{\Gamma_2}}{|\bar{e}_{\Gamma_1}| \cdot |\bar{e}_{\Gamma_2}|}. \quad (10)$$

Якщо ці умови не виконуються одночасно, тоді ухвалюється рішення, що два кластери не перетинаються й надалі їх необхідно розглядати окремо.

Тоді, якщо пари векторів \bar{e}_{Γ_g} не задовольняють умові (13) і задовольняють умові (14), знаходяться координати точки перетину прямих, початком яких є координати центрів відповідних Γ_g і по напрямку співпадаючі з \bar{e}_{Γ_g}

Для перевірки умови можливості перетину узагальнених курсів ЗПН, що належать кластерам Γ_1, Γ_2 , необхідно вирішити наступну задачу: нехай відомі координати точок Γ_1, Γ_2 , узагальнені курси ЗПН у розглянутих кластерах α_{Γ_1} й α_{Γ_2} . Необхідно знайти координати точки Р, якщо це можливо.

Якщо координати точки Р' належать області Д (району оборони), удари розглядаються як окремі. Якщо ж точка Р перебуває перед областю Д, можна розглядати два виявлених удари в рамках одного.

Для більше повного обліку факторів, що впливають на вибір противником напрямків ударів ЗПН, необхідно, як було відзначено вище, врахувати задачі розв'язувані противником у кожному масованому ударі, а також цілі, які противник планує досягти в кожному ударі [1]. З'являється можливість визначити перелік об'єктів оборони, знищення яких дозволить противникові досягти поставлених цілей у кожному з ударів.

Для цього необхідно формалізувати знання про множину задач розв'язуваних противником. Задамо цю множину задач Z як

$$Z(z_s), s = \overline{1, S}. \quad (11)$$

Множина цілей, переслідуваних противником при проведенні масованих ударів, задається як:

$$C(c_r), r = \overline{1, R}. \quad (12)$$

Множина об'єктів оборони представляється як:

$$O(o_v), v = \overline{1, V} \quad (13)$$

Множину задач, рішення яких необхідно для досягнення цілі c_r , можна задати морфізмом μ_{c_r} наступного виду [6,7]:

$$\mu_{c_r} : c_r \xrightarrow{s=\overline{1, S}} z_s; \quad (14)$$

який породжує підмножину $Z_1^{c_r} \in Z$, що включає множину задач $Z_1^{c_r}(z_1^{c_r}, \dots, z_k^{c_r})$, рішення яких необхідно для досягнення цілі c_r в розглянутому ударі й залежить від номера удару, а також від результатів досягнутих противником у попередньому ударі.

Таким чином, можна задати морфізм, що визначає перелік об'єктів оборони до знищення яких противник буде прагнути, вирішуючи задачі $Z_u^{c_r}, u = \overline{1, U}$ для досягнення цілей c_r :

$$\mu_{Z_u^{c_r}} : Z_t^{c_r} \xrightarrow{t=\overline{1, k}} o_v. \quad (15)$$

Після цього визначається множина об'єктів оборони, які противник планує знищити при $Z_u^{c_r}$, як $O_f(o_1^{Z_u^{c_r}}, \dots, o_c^{Z_u^{c_r}})$. Далі перевіряємо, чи попадають об'єкти з множини O_f , у смугу прориву ЗПН.

Оперативно-тактичний напрямок у загальному випадку описується як деяка область у просторі, обмежена двома прямими. Для математичної формалізації пропонується описувати ОТН у виді деякого просторового сектора, обмеженого трьома прямими або чотирма точками $[(x_{j1}, y_{j1}), (x_{j2}, y_{j2}), (x_{j3}, y_{j3}), (x_{j4}, y_{j4})]$. При цьому з однієї сторони j – сектор є відкритим і обмежується тільки прямими утвореними точками $[(x_{j1}, y_{j1}), (x_{j2}, y_{j2}), (x_{j3}, y_{j3}), (x_{j4}, y_{j4})]$. Математично напрямок можна представити як:

$$\begin{cases} y(x_{j3} - x_{j2}) - x(y_{j3} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j3} + y_{j3}x_{j2} \geq 0; \\ y(x_{j1} - x_{j2}) - x(y_{j1} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j1} + y_{j1}x_{j2} \leq 0; \\ y(x_{j4} - x_{j3}) - x(y_{j4} - y_{j3}) - y_{j3}x_{j4} + y_{j4}x_{j3} > 0, \end{cases} \quad (16)$$

де $x, y \in T$; T – оперативно-тактичний напрямок.

Виходячи з задачі оцінки кількості ПО, що діють на ОТН, необхідно поділити повітряний простір таким чином, щоб можна було однозначно сказати до якого з напрямків належить місце знаходження ПО.

Таким чином, розподіл усього простору на ОТН необхідно виконати так, щоб прямі, які його

обмежують, одночасно були сторонами сусідніх напрямків. Повітряний простір можна описати як об'єднання всіх оперативно-тактичних напрямків

$$ВП = \bigcup_i T_i, \quad (20)$$

де T_i – оперативно-тактичний напрямок.

На основі результатів вирішення задачі визначення ОТН, на якому знаходиться ПО, може бути визначена кількість ПО й літаків на ОТН.

$$N_{T_j} = \sum_i (ПО_i \in T_j), \quad (21)$$

де $ПО_i$ – повітряний об'єкт, який знаходиться на T_j напрямку; N_{T_i} – загальна кількість $ПО_i$ які знаходяться на T_j напрямку.

Запропонована формалізація процесу оцінки кількісного складу повітряного противника дозволяє сформулювати математичну модель процесу вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН.

Висновки

Розроблена у даній статті математична модель процесу вирішення задачі визначення напрямків ударів ЗПН противника дозволяє оцінити спроможність об'єднання ПС щодо відбиття нападу повітряного противника, визначити проривонебезпечні напрямки з метою проведення завчасного розподілу вогневих засобів за напрямками для найбільш ефективного їх використання. Напрямок подальших досліджень – розробка моделей та методів, які дозволять отримати більш детальну оцінку повітряного противника.

Список літератури

1. *Моделирование бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.*
2. *Средства воздушно-космического нападения противника и их характеристик как целей для ПВО // Под редакцией В.К. Стрельникова. Х.: ВИРТА, 1987. – 372 с.*
3. *Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. – М.: Выш. шк., 1983. – 295 с.*
4. *Павленко М.А. Метод определения направления удара ЗПН в границах оперативного направления / М.А. Павленко, А.В. Сисков, А.В. Перепелица, В.Н. Руденко // Моделирование та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ІПМЕ, 2005. – Вип. 33. – С. 112-121.*

Надійшла до редколегії 13.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ УДАРА СРЕДСТВ ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ

Н.Н. Петрушенко, М.И. Литвиненко

В данной предложен метод формализации процесса решения задачи определения направления удара средств воздушного нападения на оперативном направлении для подсистемы информационного обеспечения АСУ. Использование такого подхода разрешит применять при планировании боевой подготовки не только требования руководящих документов, но и опыт, знание особенности подготовки специалистов разного профиля.

Ключевые слова: моделирование, информационное обеспечение, направление, воздушный удар.

MODELLING OF PROCESS THE PROBLEM OF DEFINITION OF DIRECTIONS BLOW OF MEANS OF THE AIR ATTACK

N.N. Petrushenko, M.I. Litvinenko

In article the method of formalisation of process of the decision of a problem of definition of a direction of blow on an operative direction for a supply with information subsystem in the perspective automated control systems of difficult objects is offered. Use of such approach will allow to apply at planning of combat training not only the requirement of supervising documents, but also experience, knowledge of feature of preparation of experts of a different profile.

Keywords: design, informative providing, direction, air blow.