

УДК 004.825

Ю.В. Стасєв<sup>1</sup>, С.Б. Клімов<sup>2</sup>, М.А. Павленко<sup>1</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Штаб Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

## МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ УДАРУ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ НА ОПЕРАТИВНОМУ НАПРЯМКУ

*Запропонований метод формалізації процесу вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН на оперативному напрямку для підсистеми інформаційного забезпечення в перспективних автоматизованих системах керування складними об'єктами.*

*формалізація процесу управління, повітряний удар, оперативний напрямок*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Вирішення задачі визначення напрямків удару ЗПН противника на оперативному напрямку є однією зі складових процесу оцінки повітряної обстановки (ПО) як на етапі планування, так і в ході бойових дій. Основна складність вирішення даної задачі полягає в тому, що ініціатива у виборі напрямків і способів дій належить противникові. У зв'язку з цим необхідно враховувати [1]:

характер дій противника (його задум, цілі, задачі, можливі способи їх виконання);

фактичне положення засобів повітряного нападу (ЗПН) противника в просторі в теперішній момент часу, а також само накопичені дані про положення ЗПН за весь період спостереження, що дасть можливість проводити прогноз розвитку обстановки і 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.

Слід зазначити, 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 також само на осіб, відповідальних за збір, обробку й попередню оцінку інформації про повітряну обстановку.

Таким чином, розробка методу формалізації процесу вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН з метою автоматизації цього процесу є актуальною. Результати автоматизованого вирішення даної задачі можуть бути основою ухвалення рішення ОПР про найбільш імовірний напрямок дій противника на оперативному напрямку, а також само дозволять одержати дані для аналізу множини можливих варіантів розвитку обстановки на оперативному напрямку.

**Аналіз літератури.** Підходи до вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН були розглянуті в роботах [1 – 7]. У [1, 2] розглянутий підхід до визначення характеру дій ЗПН, що передбачає розподіл всіх ЗПН противника на тактичні групи за рядом

поведінкових ознак з урахуванням можливих об'єктів оборони, по яких можуть бути нанесені удари тактичними групами. При цьому всі ЗПН вважаються спостережуваними, інформація про просторове положення ЗПН не використовується, знання про цілі і задачі противника не враховуються. Спільна погоджена дія тактичних груп не розглядається, інформація про напрямок удару, про його просторове положення не визначається. Даний підхід дозволяє визначити наявність у повітряному просторі ЗПН противника й інформувати ОПР про необхідність вирішення задач оцінки ПО, при цьому задача збору й обробки інформації про повітряну обстановку, визначення напрямку удару покладається на ОПР. У [5] запропонований підхід до вирішення задачі визначення напрямків ударів ЗПН противника. Даний підхід базується на застосуванні методу кластерного аналізу для групування ЗПН, а також визначення узагальненого напрямку їх дій. Однак у роботі розглянутий спрощений двовимірний випадок, де всі ЗПН відображаються на екрані й мають площинні координати (x, y). Також вважається, що всі повітряні об'єкти перебувають у зоні спостереження засобів розвідки, що є спрощенням реальної повітряної обстановки. На жаль, у даній роботі не враховуються знання про тактику застосування ЗПН, правила побудови повітряних ударів, цілі і задачі, розв'язувані противником у кожному з повітряних ударів [6]. У [7] 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 методи визначення напрямків ударів ЗПН не дозволяють повною мірою описати процес вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН з урахуванням динаміки зміни повітряної обстановки, накопичення інформації про дії ЗПН, а також не повному обсязі використати знання про можливості противника, його можливі цілі і задачі, просторові

межі напрямків відповідальності. Зазначене свідчить на користь актуальності розробки методу формалізації процесу визначення напрямків ударів ЗПН на оперативному напрямку.

**Мета статті.** Викласти суть методу формалізації процесу вирішення задачі визначення напрямків ударів ЗПН на оперативному напрямку, що враховує просторове положення ЗПН, знання про правила побудови повітряних ударів, цілі і задачі, розв'язувані противником в ударі, динаміку зміни даних про повітряну обстановку та просторовий розподіл меж відповідальності.

### Результати досліджень

Для 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 розробці методу оцінки напрямку удару ЗПН введемо ряд припущень й обмежень [3]: 1) противник діє цілеспрямовано й прагне до досягнення своїх цілей; 2) основною метою дій ЗПН противника є знищення об'єктів ППО, об'єктів, що прикривають ППО, та авіації в повітрі; 3) 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; 4) противник намагається мінімізувати свої втрати в кожному повітряному ударі; 5) противник керується нормативами [1] при побудові повітряних ударів, і ці дані використовуються при визначенні напрямків повітряних ударів; 6) 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 методу визначення напрямків ударів ЗПН на оперативному напрямку, що буде містити в собі такі складові: про ЗПН відомі  $\bar{a}(x_a, y_a, z_a, Q_a, v_a)$ , де  $x_a, y_a, z_a$  – координати повітряного об'єкта,  $Q_a$  – курс повітряного об'єкта,  $v_a$  – швидкість повітряного об'єкта; відомі дані про ширину й глибину ділянки прориву ППО [1]  $S = (s_{ш}, s_r)$ . Тоді можна задати «габарити» просторового стропа, у якому можлива побудова одного удару  $M(m_{ш}, m_h)$ , при цьому  $m_{ш} = s_{ш}$ , а  $m_h$  визначається бойовими можливостями ЗПН. Значення даних параметрів вводяться в систему розпізнавання можливих напрямків ударів ЗПН на етапі її налаштування або безпосередньо при її використанні.

Використовуючи метод, запропонований в монографії [1], проведемо групування ЗПН з урахуванням того, що відомі інтервали й дистанції між

ЗПН ( $C = (c_{п}, c_3, c_{тг})$ ,  $D = (d_{п}, d_3, d_{тг})$ ), що діють як окремо, так і в складі пар, ланок і тактичних груп. Таким чином, надалі при визначенні спільної дії ЗПН у 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

$$\Gamma_1, \dots, \Gamma_g, \quad (2)$$

для яких будуть виконуватися умови:

$$\Gamma_k \cap \Gamma_l = \emptyset, \quad \text{якщо } k \neq l; \quad (3)$$

$$\bigcup_{i=1}^g \Gamma_i = A; \quad (4)$$

при цьому кожна підмножина  $\Gamma_i$  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 [7]. Для успішного прольоту авіації противник передбачає пробити в смузі оборони Повітряних Сил кілька коридорів шириною  $s_{ш}$  на глибину  $s_r$ .

Тоді при визначенні напрямків удару ЗПН необхідно враховувати такі фактори: ЗПН у масованому ударі діють у складі ТГ [1, 2]; ТГ діють у складі ешелону прориву або самостійно [1–3], що визначає необхідність вирішення задачі розпізнавання ешелонів удару, з урахуванням можливих інтервалів між ешелонами; напрямком удару ЗПН містить у собі ТГ, окремі ЗПН, ешелони різного призначення з урахуванням їх можливих просторових характеристик.

Аналіз даних, що характеризують повітряні об'єкти, показує, що при визначенні напрямків ударів ЗПН із урахуванням необхідності виконання умов (1) – (5) можливе застосування методів кластерного аналізу [3, 7], які ґрунтуються на критерії мінімуму відстані між об'єктами, з урахуванням просторових характеристик можливого повітряного удару й динаміки зміни повітряної обстановки. Надалі 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. Задамо процедуру розмежування множини ЗПН на кластери. Нехай задані параметри масованого удару  $M(m_{ш}, m_h)$  й параметри ешелонів в ударі  $E((e_{ш}^1, e_h^1), \dots, (e_{ш}^p, e_h^p))$ . При виявленні нового (першого) ЗПН  $\bar{a}_j$  вважаємо його як першим об'єктом кластера  $\Gamma_1$  із границями  $(e_{ш}^1, e_h^1) \in M(m_{ш}, m_h)$  (рис. 1), так і центром кластера. При виявленні наступних ЗПН перевіряємо можливість об'єднання їх у ТГ [7].

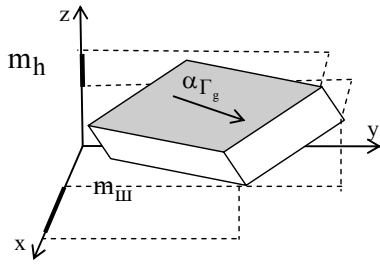


Рис. 1. Графічна інтерпретація принципу відбору об'єктів у склад кластера

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 кластера з використанням такого співвідношення:

$$r_{j,j+1} = \left| (\mathbf{f}_{1x}, \mathbf{f}_{1y}, \mathbf{f}_{1z}) - (a_{jx}, a_{jy}, a_{jz}) \right|, \quad (5)$$

де  $(\mathbf{f}_{1x}, \mathbf{f}_{1y}, \mathbf{f}_{1z})$  – геометричний центр кластера  $\Gamma_1$ .

Після цього знаходимо геометричний центр даного кластера ( $a_j \in \Gamma_1$ ):

$$\mathbf{f}_1(\mathbf{f}_{1x}, \mathbf{f}_{1y}, \mathbf{f}_{1z}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (a_{jx}, a_{jy}, a_{jz}), \quad (6)$$

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

$$\mathbf{f}_1(v) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (v_{a_j}), \quad (7)$$

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  $(e_{ш}^1, e_h^1)$ .

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

$$m_{ш \min} \leq a_{jx} \leq m_{ш \max}; \quad (8)$$

$$m_{h \min} \leq a_{jz} \leq m_{h \max}. \quad (9)$$

Якщо об'єкт  $\bar{a}_j$  не задовольняє умови (8) – (9), тоді утворюється новий кластер  $\Gamma_2$ , до якого й зараховується даний об'єкт. Об'єкти, які не задовольняють умову (8), але задовольняють умову (9), можна вважати приналежними до  $\Gamma_1$  й виконувачими демонстративні або відволікаючі дії, а в умовах постановки завдань на ділянці  $m_{ш}$  показують, що на даній ділянці можливе формування удару.

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

$$\alpha_{\Gamma_g} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_{a_j}, \quad (10)$$

який і приймається за напрямок рух даного кластера.

Така процедура виконується для всіх виявлених кластерів і підкластерів ЗПН. При виявленні декількох кластерів ЗПН перевіряється можливість їх об'єднання в рамках одного кластера (рис. 2). Якщо вектори, які характеризують узагальнений курс руху  $\alpha_{\Gamma_1}, \alpha_{\Gamma_2}$  і належать кластерам  $\Gamma_1, \Gamma_2$ , перетинаються до входу в зону ураження конфронтуючого об'єднання ПС, то дані кластери можуть об'єднатися або діяти спільно на двох сусідніх ділянках.

Для перевірки даної умови будується одиничний вектор  $\bar{e}_{\Gamma_g}$  [4] для кожного кластера:

$$\bar{e}_{\Gamma_g} (\cos(\alpha_{\Gamma_g}), \sin(\alpha_{\Gamma_g})). \quad (11)$$

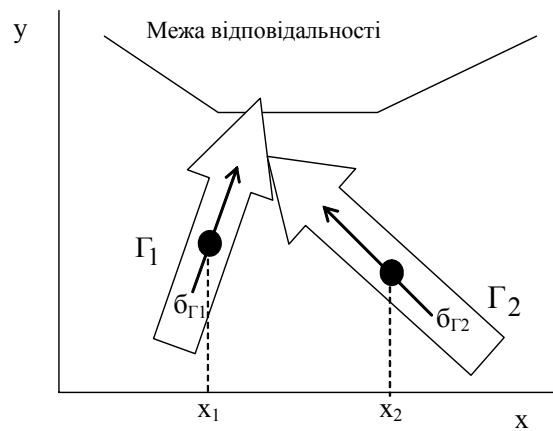


Рис. 2. Ілюстрація випадку можливості об'єднання двох кластерів

У випадку, якщо вектори колінеарні, а за умови урахування помилок виміру, якщо їх курси практично збігаються, то:

$$\theta_{\min} \leq \cos(\alpha_{\Gamma_1}) \cdot \sin(\alpha_{\Gamma_2}) - \sin(\alpha_{\Gamma_1}) \cdot \cos(\alpha_{\Gamma_2}) \leq \theta_{\max}. \quad (12)$$

При виконанні цієї умови приймається рішення про те, що кластери незалежні, при цьому значення  $\theta_{\min}, \theta_{\max}$  задаються експертами.

Якщо вектори не колінеарні, перевіряється умова можливості їх перетину. Для цього вираховується кут  $\tau$  між векторами  $\bar{e}_{\Gamma_g}$ . Якщо його значення лежить в інтервалі  $0^0 < \tau < 90^0$ , то перетин можливий:

$$\arccos(\tau) = \bar{e}_{\Gamma_1} \cdot \bar{e}_{\Gamma_2} / (|\bar{e}_{\Gamma_1}| \cdot |\bar{e}_{\Gamma_2}|). \quad (13)$$

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

Тоді, якщо пари векторів  $\bar{e}_{\Gamma_g}$  не задовольняють умову (13) і задовольняють умову (14), знаходяться координати точки перетину прямих, початком яких є координати центрів відповідних  $\Gamma_g$  і які по напрямку збігаються з  $\bar{e}_{\Gamma_g}$ .

Для перевірки умови можливості перетину узагальнених курсів ЗПН, що належать кластерам  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  (рис. 3), необхідно вирішити таку задачу: нехай відомі координати точок  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ , узагальнені курси ЗПН у розглянутих кластерах  $\alpha_{\Gamma_1}$  і  $\alpha_{\Gamma_2}$ . Необхідно знайти координати точки Р, якщо це можливо.

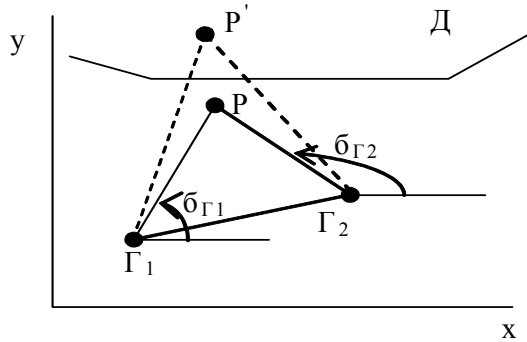


Рис. 3. Перевірка можливості перетину

Методи вирішення даної задачі наведені в [4].

Якщо координати точки Р' належать області Д (району оборони) (рис. 3), удари розглядаються як окремі. Якщо ж точка Р перебуває перед областю Д, можна розглядати два виявлених удари в рамках одного. Для більш повного врахування 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 множину задач Z таким чином:

$$Z(z_s), s = \overline{1, S}. \quad (14)$$

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

$$C(c_r), r = \overline{1, R}. \quad (15)$$

Множина об'єктів оборони представляється як

$$O(o_v), v = \overline{1, V}. \quad (16)$$

Множину задач, вирішення яких необхідно для досягнення цілі  $c_r$ , можна задати морфізмом  $\mu_{c_r}$  такого вигляду [5, 6]:

$$\mu_{c_r} : c_r \xrightarrow{s=1, S} z_s, \quad (17)$$

який породжує підмножину  $Z_1^{c_r} \in Z$ , що включає множину задач  $Z_1^{c_r}(z_1^{c_r}, \dots, z_k^{c_r})$ , вирішення яких необхідно для досягнення цілі  $c_r$  в розглянутому ударі й залежить від номера удару (перший, другий тощо), 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  $c_r$ :

$$\mu_{Z_u^{c_r}} : Z_t^{c_r} \xrightarrow{t=1, k} o_v. \quad (18)$$

Після чого 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 (рис. 4).

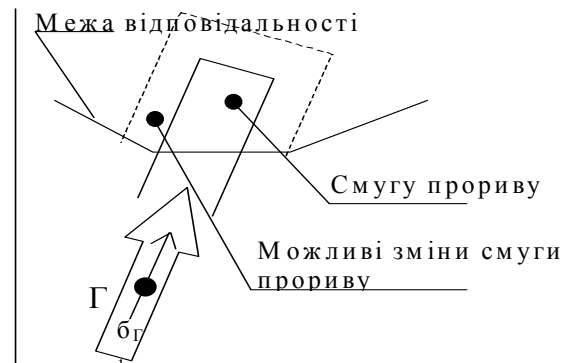


Рис. 4. Смуга прориву ППО

Розроблені правила визначення кластерів ЗПН із урахуванням даних про побудову ударів, а також знання цілей і задач, розв'язуваних противником в ударі, дозволяють провести формалізацію вирішення даної задачі з використанням підходів, запропонованих у [5 – 7]. Зважаючи на вимоги керівних документів щодо порядку побудови сил ППО [1] і динаміку зміни повітряної обстановки, доцільно весь повітряний простір розбити на оперативно-тактичні напрямки. У ряді робіт обґрунтоване використання як параметра оцінки повітряної обстановки кількості ЗПН на оперативно-тактичному напрямку (ОТН) [1 – 3].

Оперативно-тактичний напрямок у загальному випадку описується як деяка область у просторі, обмежена двома прямими. Для математичної формалізації пропонується описувати ОТН у вигляді 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  $[(x_{j1}, y_{j1}), (x_{j2}, y_{j2}), (x_{j3}, y_{j3}), (x_{j4}, y_{j4})]$  (рис. 5). Математично напрямок можна представити як:

$$\begin{cases} y(x_{j3} - x_{j2}) - x(y_{j3} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j3} + y_{j3}x_{j2} \geq 0; \\ y(x_{j1} - x_{j2}) - x(y_{j1} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j1} + y_{j1}x_{j2} \leq 0; \\ y(x_{j4} - x_{j3}) - x(y_{j4} - y_{j3}) - y_{j3}x_{j4} + y_{j4}x_{j3} > 0, \end{cases} \quad (19)$$

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 місцезнаходження ПО.

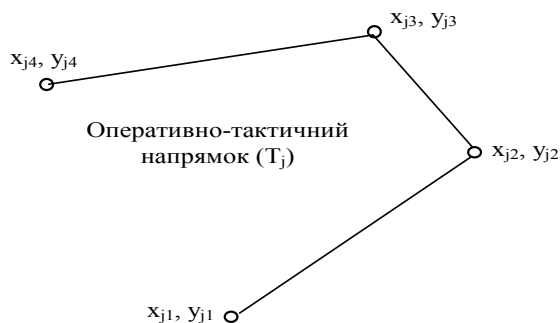


Рис. 5. Графічне представлення формального опису оперативно-тактичного напрямку

Таким чином, розподіл усього простору на ОТН необхідно виконати так, щоб прями, які його обмежують, одночасно були сторонами сусідніх напрямків. Приклад графічного представлення такого поділу наведено на рис. 6.

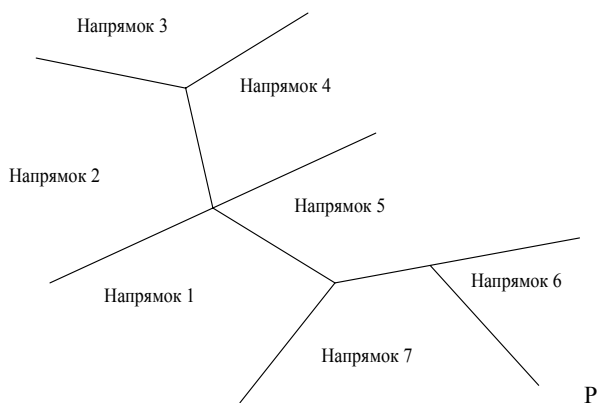


Рис. 6. Розбиття простору на ОТН

Повітряний простір можна описати як об'єднання всіх оперативно-тактичних напрямків

$$VP = \bigcup_i T_i, \quad (20)$$

де  $T_i$  –  $i$ -й оперативно-тактичний напрямок.

Задача визначення приналежності повітряного об'єкта (ПО) ОТН повинна вирішуватися при кожній зміні його положення.

Початковими параметрами, для вирішення задачі, є просторові координати ПО ( $x_{ПО}$ ,  $y_{ПО}$ ).

Необхідно визначити, якому ОТН належить точка місця знаходження ПО.

Вирішення задачі зводиться до перебору напрямків і визначення, для якого напрямку точка ( $x_{ПО}$ ,  $y_{ПО}$ ) задовольняє систему нерівностей:

$$\begin{cases} y_{ПО}(x_{j3} - x_{j2}) - x_{ПО}(y_{j3} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j3} + y_{j3}x_{j2} \geq 0; \\ y_{ПО}(x_{j1} - x_{j2}) - x_{ПО}(y_{j1} - y_{j2}) - y_{j2}x_{j1} + y_{j1}x_{j2} \leq 0; \\ y_{ПО}(x_{j4} - x_{j3}) - x_{ПО}(y_{j4} - y_{j3}) - y_{j3}x_{j4} + y_{j4}x_{j3} > 0, \end{cases} \quad (21)$$

де  $x_{ПО}$ ,  $y_{ПО}$  – координати повітряного об'єкта;

$x_{ji}, y_{ji}$ ,  $i = 1..4$  – координати точок меж ОТН.

Оцінка повітряної обстановки проводиться з метою одержання кількісних характеристик і формулювання висновків, необхідних для ухвалення рішення на бойові дії (бойове застосування).

Елементами оцінки повітряної обстановки є:

кількість своїх літаків;

кількість чужих літаків;

кількість літаків, висота яких менше 1 км;

кількість літаків, висота яких більше 17 км.

Таким чином, автоматизація процесу визначення кількості повітряних об'єктів, що діють на певному ОТН, є внеском в автоматизацію оцінки повітряної обстановки.

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

$$N_{T_j} = \sum_i (PO_i \in T_j), \quad (22)$$

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

$$S_{T_j} = \sum_i S_{PO_i}, \quad \text{при } PO_j \in T_j. \quad (23)$$

Отримані результати можуть бути представлені в вигляді, наведеному в табл. 1 (у чисельнику вказана кількість ПО, що діють на напрямку, а в знаменнику – загальна кількість літаків).

Формалізація процесу оцінки кількісного складу повітряного противника дозволяє перейти до розробки загальної формалізації процесу вирішення задачі визначення напрямку удару ЗПН.

Таблиця 1

Результати вирішення задачі визначення приналежності ПО ОТН

Напрямок	Усього	Чужих	Своїх	H<1км	H>17км
Напрямок 1	3/10	2/8	1/2		
Напрямок 2	5/20	5/20		4/18	
Напрямок 3	2/2		2/2		
...	...	...	...	...	...
Напрямок j	10/20	10/20		5/5	1/1

Представимо дії (5) – (23) у вигляді висловлень мовою вираховання предикатів першого порядку:

$$P_1, \dots, P_{23}, \quad (24)$$

де  $P_1(a_j, \Gamma_g, r_{a_j, \Gamma_g})$  – правило віднесення об'єкта  $a_j$  до кластера  $\Gamma_g$  за умови, що  $r_{a_j, \Gamma_g}$  не більше заданого. Інші правила  $P_1, \dots, P_{23}$  мають схожу конструкцію.

Остаточне вирішальне правило для визначення напрямку удару повітряного противника буде мати такий вигляд:

$$MP_{14} = P_1 \vee \dots \vee P_{23}. \quad (25)$$

Далі для формалізації знань, що використовуються при вирішенні задачі визначення напрямку

удару повітряного противника, скористаємося методикою, запропонованою в [5, 6].

При цьому як вихідні дані для вирішення задачі визначення напрямків масованого застосування ЗПН візьмемо такі:

$$\bar{a}(x_a, y_a, z_a, Q_a, v_a), S = (s_{ш}, s_{г}), M(m_{ш}, m_h),$$

$$C = (c_{п}, c_3, c_{тг}), D = (d_{п}, d_3, d_{тг}),$$

$$Z(z_s), s = \bar{1.S}, C(c_r), r = \bar{1.R}, O(o_v), v = \bar{1.V}, T_j, S_{T_j},$$

а також номер удару на даному напрямку, втрати противника в попередньому ударі й ін.

У результаті одержимо СЦУ вирішення задачі визначення напрямку дій повітряного противника, представлену на рис. 7.

## ВИСНОВКИ

Розроблений у даній статті метод формалізації процесу вирішення задачі визначення напрямків ударів ЗПН противника на оперативному напрямку, відрізняється від відомих врахуванням, поряд із просторовими характеристиками повітряних об'єктів, також знань про побудову ЗПН в ударі та про розподіл простору на межі відповідальності й інтенсивності дії на них ЗПН.

Також реалізовано врахування цілей, переслідуваних противником при нанесенні удару, розв'язуваних при цьому тактичних завдань, і одержання переліку можливих об'єктів оборони, до знищення яких буде прагнути противник.

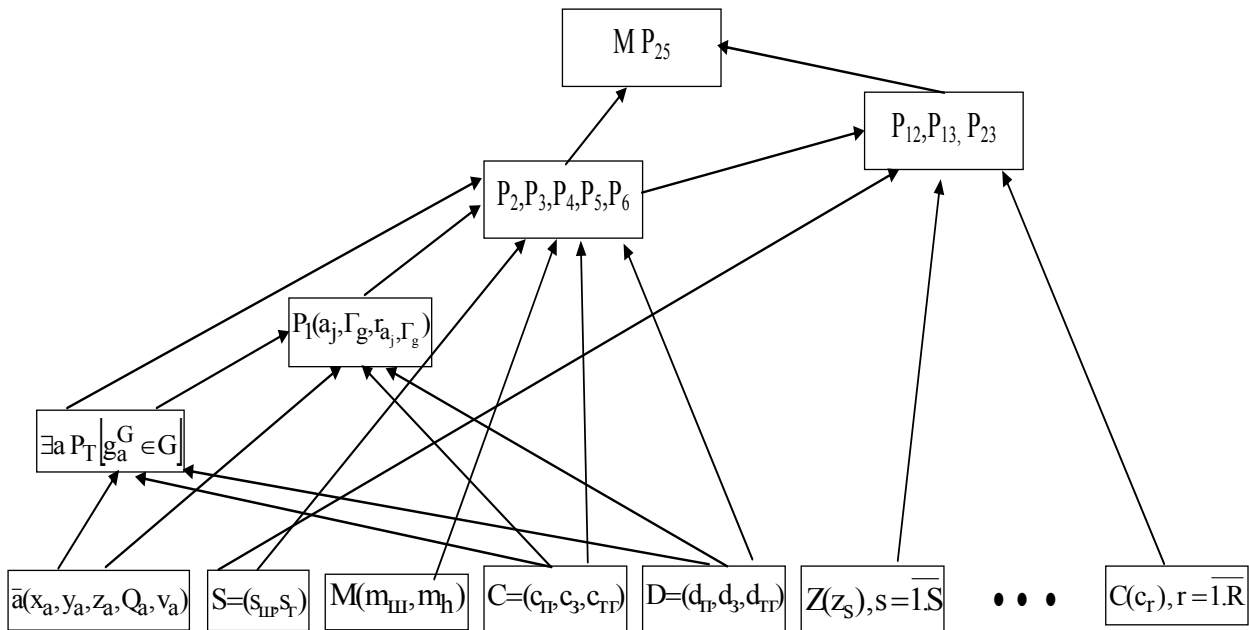


Рис. 7. Формалізована структура знань про процес визначення напрямку удару ЗПН

## Список літератури

1. Моделювання бойових дій військ (сил) проти повітряної 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., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. – М.: Высш. шк., 1983. – 295 с.
4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1972. – 872 с.
5. Низиенко Б.И., Павленко М.А., Бердник П.Г. Метод формализации знаний, содержащих модальности для экспертных систем реального времени // Системы

обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 10 (38). – С. 117-125.

6. Павленко М.А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 9 (37). – С. 124-133.

7. Павленко М.А., Сисков А.В., Перепелица А.В. Руденко В.Н. Метод определения направления удара ЗПН в границах оперативного направления // Моделювання та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ІПМЕ, 2005. – Вып. 33. – С. 112-121.

Надійшла до редколегії 9.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук проф. Є.І. Бобир, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.