

УДК 355.45

І.А. Таран

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## МЕТОДИКА ГЕНЕТИЧНОГО ПОШУКУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ ПІДСИСТЕМИ РОЗВІДКИ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

*В роботі запропонована методика генетичного пошуку раціональної просторової структури підсистеми розвідки системи протиповітряної оборони. Просторова структура підсистеми розвідки представляється у вигляді бінарної матриці інцидентності, елементи якої набувають значення одиниці при знаходженні засобу розвідки на відповідній позиції. Матриці інцидентності використовуються як хромосоми операторами генетичного пошуку. Розрахунок значень ефективності ведення бойових дій для кожного варіанту просторової структури пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму.*

**Ключові слова:** генетичний пошук, штучний інтелект, оптимізація, маршрут, система розвідки, вогневий засіб, засіб розвідки, пункт управління.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Ефективне функціонування системи протиповітряної оборони (ППО) залежить від її структури та структури її підсистем, а також від відповідності цих структур умовам навколишньої обстановки, насамперед, замислу дій повітряного противника (ПП). Методики синтезу раціональних структур системи ППО, розроблені до теперішнього часу, в основному використовують як вихідні дані обмежену кількість можливих варіантів дій противника, які визначаються, як правило, на основі суб'єктивних оцінок осіб, що приймають рішення. Дослідження всього простору рішень при визначенні раціональних структур, як правило, ускладнене із-за занадто великого обсягу необхідних розрахунків і неможливості аналітичного описання цільової функції. В останні роки набувають розвитку методи штучного інтелекту, які дозволяють з достатньою швидкістю знаходити квазіоптимальні рішення у системах, цільові функції яких не мають аналітичного опису. Це робить актуальним проведення досліджень щодо застосування вказаних методів для пошуку раціональних підструктур системи протиповітряної оборони.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження питань визначення раціональної структури системи ППО та її підсистем ґрунтовно розкриті в [1, 2]. В [1] систематизовані сучасні методи оцінки ефективності бойових дій військ (сил) ППО, узагальнена сукупність показників та критеріїв ефективності. В [2] викладені теоретичні основи синтезу адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття. Але в проаналізованій літературі мало уваги приділяється питанням синтезу раціональної просторової структури підсистеми розвідки. В [3] наведені методичні підходи щодо

оптимізації просторової структури розвідувальної підсистеми системи ППО. При цьому небезпека нападу ПП з кожного напрямку вважається однаковою, що дещо зменшує межі застосування отриманих в [3] результатів.

В [4, 5] запропонована методика генетичного пошуку раціональної структури підсистеми розвідки як сукупності зв'язків між засобами розвідки, пунктами управління та споживачами інформації – вогневими засобами. При цьому просторове розташування засобів розвідки вважалось відомим.

**Метою даної статті** являється розробка методики генетичного пошуку раціональної просторової структури підсистеми розвідки системи протиповітряної оборони.

### Виклад основного матеріалу

**Основні визначення.** В межах статті використовувались наступні визначення.

Підсистема розвідки системи протиповітряної оборони (далі – система розвідки) – це організоване та узгоджене за метою, завданнями, простором та часом поєднання зон виявлення засобів розвідки (ЗР), пунктів управління, що розгорнуті в бойовий порядок і поєднані в єдину мережу для виконання бойового завдання, яке полягає у виявленні повітряного противника і наданні бойової інформації вогневим засобам (ВЗ) ППО. Пункт управління (ПУ) здійснює збір розвідувальних даних від ЗР, їх обробку та видачу бойової інформації на ВЗ.

Структура системи розвідки – це сукупність елементів системи розвідки (ЗР, ПУ), а також управляючих та інформаційних зв'язків: внутрішніх – між ЗР та ПУ, та зовнішніх – між ПУ та ВЗ, а також між елементами системи розвідки та їх можливими позиціями, які будуть визначати взаємне розташування елементів системи розвідки. В межах даної

роботи будемо розрізняти *організаційну структуру* системи розвідки як сукупність елементів системи розвідки (ЗР, ПУ) та зв'язків між ЗР, ПУ та ВЗ, та *просторову структуру* системи розвідки як сукупність зв'язків між ЗР та їх позиціями.

На рис. 1 наведений варіант структури системи розвідки, елементами якої є два ЗР (1,2) та два ПУ (3,4). Елементи системи розвідки поєднані зв'язками (показані пунктирними стрілками) між собою та з трьома вогневыми засобами (5-7). Просторова структура системи розвідки визначається зв'язками між ЗР та позиціями (показані суцільними стрілками).

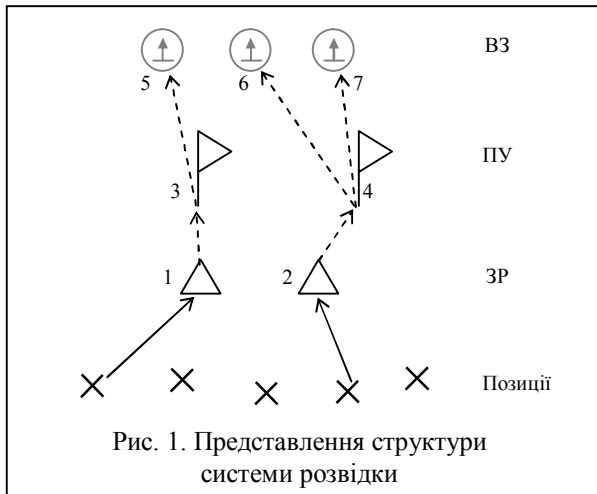


Рис. 1. Представлення структури системи розвідки

### Представлення структури системи розвідки у вигляді хромосоми

При генетичному пошуку раціональної просторової структури системи розвідки необхідно представити цю структуру у вигляді хромосоми, яка по суті являє собою математичну модель інформаційної системи з відображенням її елементів та суттєвих зв'язків між ними.

Як і в [1, 2, 4, 5] організаційну структуру системи розвідки представимо у вигляді бінарної матриці інцидентності  $S$ , у якій номери рядків відповідають номерам джерел інформації, номери стовпців – номерам споживачів інформації, а елементи на перетині рядків та стовпців визначають наявність чи відсутність інформаційного зв'язку, що з'єднує відповідне джерело інформації з відповідним споживачем. Приклад бінарної матриці інцидентності для організаційної структури системи розвідки, наведеної на рис. 1, має такий вигляд:

$$S = \begin{matrix} & \text{споживачі інформації} & & & & & \\ & & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \begin{matrix} \text{джерела} \\ \text{інформації} \end{matrix} & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & 4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{matrix} \quad (1)$$

Просторову структуру системи розвідки представимо у вигляді бінарної матриці інцидентності  $P$ , у якій номери рядків відповідають номерам позицій, номери стовпців – номерам засобів розвідки, а елементи на перетині рядків та стовпців набувають значення одиниці, якщо відповідний ЗР знаходиться на відповідній позиції, та нуль – в протилежному випадку.

Для просторової структури системи розвідки, наведеної на рис. 1, матриця  $P$  має вигляд:

$$P = \begin{matrix} & \text{засоби розвідки} & & & \\ & & 1 & 2 & \\ \begin{matrix} \text{позиції} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 1 \\ 5 & 0 & 0 \end{pmatrix} & & & \end{matrix} \quad (2)$$

Матриці інцидентності (1, 2) являються дво-мірними бінарними хромосомами і можуть використовуватись для представлення структури системи розвідки при генетичному пошуку. В загальному випадку структура хромосоми може бути і іншою.

Це буде визначатись змістом задачі, що вирішується.

При визначенні числового значення характеристики зв'язків між елементами структури необхідно використовувати числові хромосоми, якщо ж визначається значення декількох характеристик зв'язку, необхідно використовувати векторну хромосому.

### Схема генетичного пошуку просторової структури системи розвідки

На рис. 2 наведена схема генетичного пошуку просторової структури системи розвідки.

Як видно з рис. 2, генетичний пошук раціональної просторової структури (далі –  $p$ -структури) здійснюється у  $Q$  циклах для кожного  $t$  циклу ( $t = 1, \dots, T$ ) генетичного пошуку організаційної структури (далі –  $o$ -структури).

Після вводу вихідних даних створюється початкова множина (у генетичному пошуку – популяція)  $o$ -структур  $\Omega^{b(t)}$  (крок 2) чисельністю  $N_b$ .

У ході застосування операторів схрещування (крок 3) та мутації (крок 4) отримуються нові  $o$ -структури  $\Omega^{c(t)}$ , та  $\Omega^{m(t)}$ .

В результаті виконання кроків 2-4 створюється популяція  $o$ -структур

$$\Omega^{\Sigma(t)} = \Omega^{b(t)} \cup \Omega^{c(t)} \cup \Omega^{m(t)}$$

У кроках 6-8 для кожної  $o$ -структури створеної раніше популяції створюється популяція  $p$ -структур. У першому циклі ( $q=1$ ) створюється початкова популяція  $p$ -структур  $\Psi^{b(q)}$  (крок 6) чисельністю  $K_b$ . На

кроках 7-8 у кожному q-циклі в результаті виконання операторів схрещування та мутації створюється популяція п-структур

$$\Psi^{\Sigma(q)} = \Psi^{b(q)} \cup \Psi^{c(q)} \cup \Psi^{m(q)}$$

На кроці 9 для кожної пари структур

$$S \in \Omega^{\Sigma(t)}, P \in \Psi^{\Sigma(q)}$$

здійснюється розпізнавання варіанту дій повітряного противника та оцінка ефективності ведення бойових дій з використанням мультиагентного алгоритму [6], після чого в результаті селекції (крок 10) вибираються  $N_b$  кращих (найбільш ефективних) о-структур та відповідних їм  $K_b$  кращих п-структур системи розвідки, які будуть використовуватись як початкові популяції структур у наступних циклах генетичного пошуку.

Цикли генетичного пошуку повторюються до виконання критерію зупинки, у якості якого може використовуватись виконання заданої кількості циклів пошуку о-структур ( $t > T$ ) та п-структур ( $q > Q$ ), або досягнення заданого ступеню ефективності ведення бойових дій.

По закінченню останнього циклу генетичного пошуку визначена множина раціональних о-структур  $\Omega^{b(T)}$  та відповідних їм п-структур  $\Psi^{b(Q)}$  (крок 15).

### Особливості застосування операторів схрещування та мутації

Особливості застосування операторів схрещування та мутації для о-структур наведені в [4, 5]. Аналогічно, але з деякими обмеженнями, застосовуються оператори схрещування та мутації для п-структур.

При схрещуванні матриці інфідентності з поточної початкової популяції п-структур  $\Psi^{b(q)}$  випадковим чином розбиваються на пари. Оператор схрещування здійснює обмін елементів матриць кожної пари.

В результаті формується популяція хромосом-нащадків  $\Psi^{c(q)}$  чисельністю  $K_c$ . Схрещування і мутацію потрібно виконувати з урахуванням обмеження на вигляд матриці (2), щоб в результаті не отримати матриці, відповідні яким п-структури створити неможливо.

Такими обмеженням, очевидно, є неможливість знаходження двох або більше ЗР на одній позиції (або на позиціях, відстань між якими менше заданого значення).

Також у ході виконання кроків 6-8 слід виключити створення п-структур, які не забезпечать просторове узгодження зон розвідки ЗР та зон вогню ВЗ для відповідних о-структур, що, очевидно, приведе до низької ефективності ведення бойових дій створеним угрупованням.

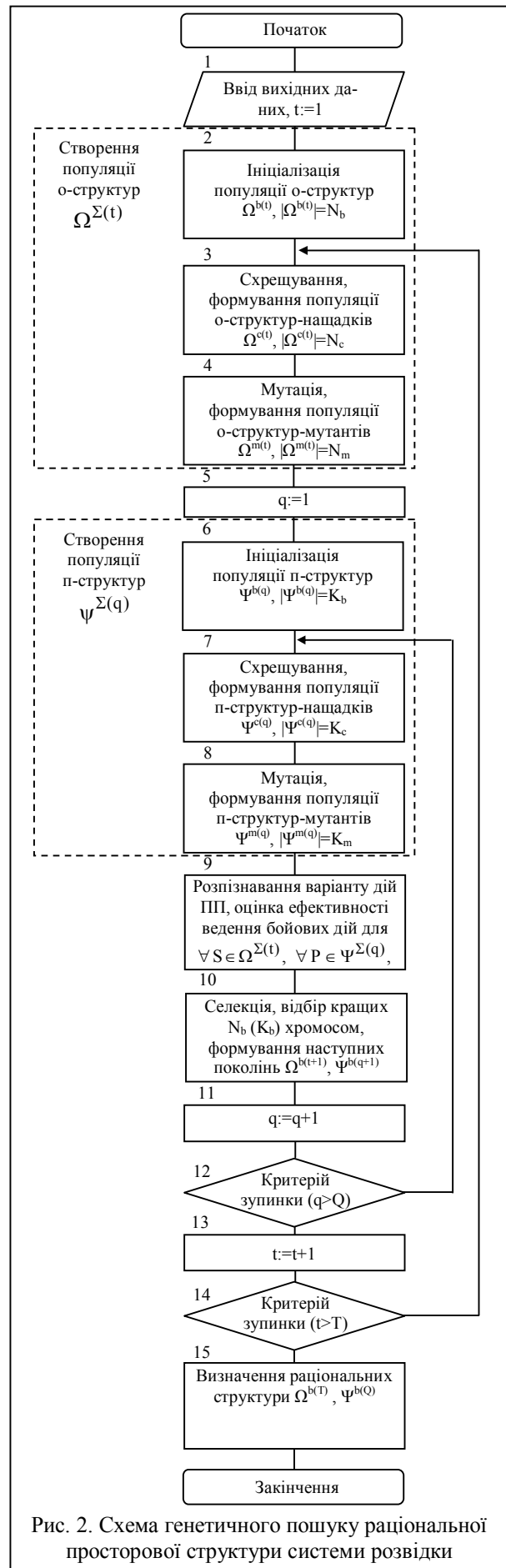


Рис. 2. Схема генетичного пошуку раціональної просторової структури системи розвідки

Такі ж обмеження на вигляд матриць інцидентності повинні враховуватись при застосуванні оператора мутації, який полягає в заміні положення одиниці у одному або декількох стовбцях матриці (2), вибраної випадковим чином з множини  $\Psi^{b(q)}$ , що стосовно досліджуваної п-структури системи розвідки означає зміну позиції відповідних ЗР.

В результаті у кожному q-му циклі генетичного пошуку формується популяція п-структур-мутантів  $\Psi^{m(q)}$ .

## Висновки

Таким чином, у статті запропонована методика генетичного пошуку раціональної просторової структури підсистеми розвідки системи протиповітряної оборони.

У структурі виділені підструктури: організаційна – як сукупність зв'язків між елементами системи розвідки та споживачами розвідувальної (бойової) інформації, та просторова, яка визначає місцеположення елементів системи розвідки на місцевості.

Просторова структура системи розвідки представляється у вигляді двовірної бінарної матриці інцидентності. Ця матриця використовується як хромосома операторами генетичного пошуку. В циклах генетичного пошуку здійснюється попарне схрещування хромосом, в ході якого здійснюється обмін частини елементів, що для досліджуваної просторової структури системи розвідки означає зміну просторового розташування елементів системи.

Розрахунок значень цільової функції (ефективності ведення бойових дій) пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної просторової структури поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій повітряного противника.

Подальші дослідження можуть бути направлені на розробку методики визначення заходів щодо нарощування існуючої структури системи розвідки з використанням генетичного пошуку.

## Список літератури

1. *Модельювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку). Монографія / [Городнов В.П., Дробаха Г.А., Єрмошин М.О., Смірнов Є.Б., Ткаченко В.І.] – Х.: ХВУ, 2004. – 410 с.*
2. *Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності (теорія, практика, тенденції розвитку): монографія / [Торопчин А.Я., Кириченко І.О., Єрмошин М.О., Дробаха Г.А., Долина М.П.] – Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.*
3. *Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: моногр. / С.П. Ярош; за ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.*
4. *Таран І.А. Методичні підходи щодо синтезу раціональної структури системи розвідки угруповання протиповітряної оборони з використанням генетичного алгоритму / І.А. Таран // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2016. – № 2. – С. 134-138.*
5. *Худов Г.В. Методика синтезу раціональної структури підсистеми розвідки системи протиповітряної оборони з використанням генетичного алгоритму / Г.В. Худов, І.А. Таран // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 2 (23). – С. 25-31.*
6. *Худов Г.В. Розпізнавання елементів замислу повітряного противника з використанням мінімаксного мультиагентного алгоритму / Г.В. Худов, І.А. Таран // Наука і оборона. – 2015. – № 3, 4. – С. 56-61.*

Надійшла до редколегії 8.04.2016

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

## МЕТОДИКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПОДСИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ СИСТЕМЫ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ

И.А. Таран

*В работе предложена методика генетического поиска рациональной пространственной структуры подсистемы разведки системы противовоздушной обороны. Пространственная структура подсистемы разведки представляется в виде матрицы инцидентности, элементы которой принимают значение единицы при нахождении средства разведки на соответствующей позиции. Матрица инцидентности используется как хромосома операторами генетического поиска. Расчет значений эффективности ведения боевых действий для каждого варианта структуры предлагается осуществлять с использованием мультиагентного алгоритма.*

**Ключевые слова:** генетический поиск, искусственный интеллект, оптимизация, маршрут, система разведки, огневое средство, средство разведки, пункт управления.

## METHOD OF SYNTHESIS OF RATIONAL STRUCTURE OF AIR DEFENSE GROUPING INTELLIGENCE SYSTEM WITH USING GENETIC ALGORITHM

I.A. Taran

*The paper proposed the use of genetic algorithm to synthesis of rational structure of air defense grouping intelligence system. Structure of intelligence system is made as chromosome for use by genetic algorithm operators. It is proposed to use multi-agent algorithm to estimate the effect of battle.*

**Keywords:** genetic algorithm, artificial intelligence, optimization, flight path, reconnaissance system, fire means, reconnaissance means, command operations center.