

## МЕТОДИКА СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ПІДСИСТЕМИ РОЗВІДКИ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

В роботі запропонована методика синтезу раціональної структури підсистеми розвідки системи протиповітряної оборони з використанням генетичного алгоритму.

**Ключові слова:** генетичний алгоритм, штучний інтелект, оптимізація, маршрут, розвідувальна підсистема, 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 (далі – противника). Методики синтезу раціональних структур підсистем 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 синтезу 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 структури підсистеми розвідки системи ППО (далі – системи розвідки). В [3] наведені методичні підходи щодо оптимізації просторової структури системи розвідки. При цьому небезпека нападу з кожного напрямку вважається однаковою, що дещо зменшує межі застосування отриманих в [3] результатів.

Відома методика прогнозу ефективності бойового застосування угруповання розвідки [4] використовує для кількісної оцінки ефективності показник – коефіцієнт перекриття радіолокаційного поля, який визначається як

$$K_{\text{пром}} = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^I m_i \cdot D_{\text{сі}}^2}{L_{\text{фр}} \cdot L_{\text{гл}}} \quad (1)$$

де  $m_i$  – кількість ЗР  $i$ -го типу в бойовому порядку угруповання розвідки;

$I$  – кількість типів ЗР;

$D_{\text{сі}}^2$  – квадрат середнього значення дальності виявлення ЗПН ЗР  $i$ -го типу з урахуванням відомого дольового розподілу ЗПН по діапазнам висот;

$L_{\text{фр}}$ ,  $L_{\text{гл}}$  – розміри по фронту і в глибину району відповідальності угруповання розвідки (рис. 1).

Коефіцієнт (1) по суті являє собою відношення суми усереднених площ зон виявлення засобів розвідки до площі району відповідальності угруповання розвідки.

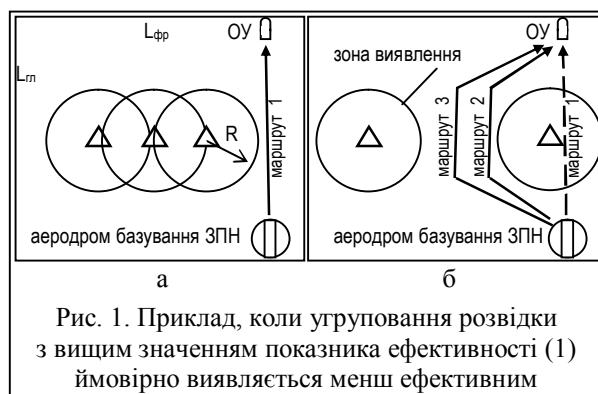


Рис. 1. Приклад, коли угруповання розвідки з вищим значенням показника ефективності (1) ймовірно виявляється менш ефективним

Значення показника ефективності (1) для угруповання розвідки, показано на рис. 1, а, пропорційне  $3 \cdot R^2$ , тобто в 1,5 рази вище аналогічного значення, отриманого для угруповання, показано на рис. 1, б, для якого значення  $K_{\text{пром}}$  пропорційне  $2 \cdot R^2$ .

Проте аналіз взаємного просторового розташування аеродрому базування ЗПН противника, об'єкту удару (ОУ) та зон виявлення засобів розвідки показує, що при однаковому впливі інших факторів та наявності вогневих засобів, що забезпечуються бойовою інформацією від засобів розвідки, варіант, показаний на рис.1б виявиться більш ефективним, оскільки вимагає від противника витрат більших ресурсів (польоту до ОУ по довшому маршруту).

Наведений приклад вказує на необхідність використання системного підходу при оцінюванні ефективності структури системи розвідки, врахування того, як система розвідки впливає на ефективність ведення бойових дій військами (силами) ППО. При цьому, головним фактором, який буде впливати на ефективність ведення бойових дій військами (силами) ППО, будуть дії противника. Саме варіант дій противника буде визначати, яка структура системи ППО і її підсистем буде раціональною.

**Метою** даної статті являється розробка методики синтезу раціональної структури підсистеми розвідки системи протиповітряної оборони з використанням генетичного алгоритму. Генетичний алгоритм, використання якого запропоноване в статті, дозволяє знайти раціональну структуру системи розвідки з урахуванням варіанту ведення бойових дій повітряного противника.

## Виклад основного матеріалу

### 1. Основні визначення

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, видачу бойової інформації на ВЗ.

Структура системи розвідки – це сукупність елементів системи розвідки (ЗР, ПУ), а також управляючих та інформаційних зв'язків між ЗР та ПУ (внутрішніх зв'язків), а також між ПУ та ВЗ (зовнішніх зв'язків).

На рис. 2 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 вогневими засобами (5-7).

Під поняттям "варіант дій повітряного противника" у межах даної статті розуміємо:

аеродроми базування і посадки, маршрути і профілі польоту груп ЗПН від аеродромів базування до об'єктів удару, розташування прямолінійних ді-

лянок профілів польоту, положення поворотних точок маршрутів, в яких групи ЗПН змінюють свої курси і висоти польоту;

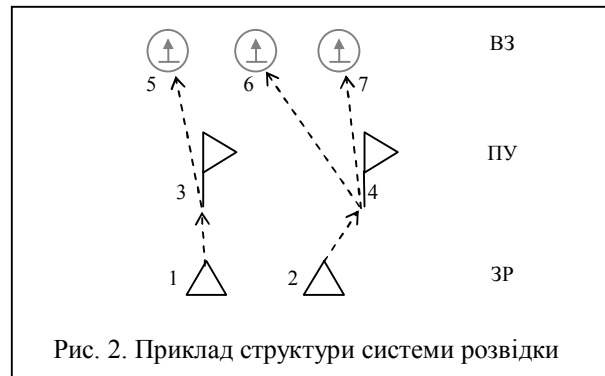


Рис. 2. Приклад структури системи розвідки

об'єкти системи ППО (що створюють зони вогню, виявлення, придушення на маршрутах польоту ЗПН до ОУ), які будуть поражені виділеними групами зі складу ешелону прориву ППО ПП. В подальшому ці об'єкти, які спочатку не входили до переліку ОУ, але "заважають" завдавати їм поразення, будемо називати об'єктами удару зі складу системи ППО (ОУ ППО). Сукупність ОУ ППО визначає просторове положення і розміри смуги прориву ППО;

аеродроми базування і посадки, маршрути і профілі польоту груп ЗПН від аеродромів базування до ОУ ППО, розташування прямолінійних ділянок профілів польоту, положення поворотних точок маршрутів, в яких групи ЗПН змінюють свої курси і висоти польоту;

послідовність поразення ОУ ППО та ОУ.

### 2. Підходи до оцінки ефективності варіанту ведення бойових дій повітряним противником

В межах даної статті вважаємо, що до початку активних бойових дій в ході ведення розвідки противник викриває склад, стан, положення елементів системи ППО та її підсистем. Тобто вважаємо, що на момент початку планування удару органам управління повітряного противника відома структура системи розвідки. Очевидно, що противник буде обирати варіант ведення бойових дій, який забезпечить досягнення мети з найменшими втратами ЗПН та з найменшими витратами ресурсів.

Вважаємо, що мета ведення бойових дій противника відома, відповідно, з використанням, наприклад, методик [5,6] визначений перелік ОУ та визначені їх пріоритети, тобто деяка числова характеристика важливості того чи іншого ОУ у досягненні мети ведення бойових дій противником. Для досягнення мети ведення бойових дій противник буде здійснювати поразення цих об'єктів з заданим ступенем, який також можна вважати відомим. Поразення визначеного переліку ОУ з заданим ступенем –

це найбільш важливий (для противника) показник ефективності ведення бойових дій, який визначає, буде, чи не буде досягнута мета бойових дій. Визначимо цей показник ефективності, як показник 1.

Визначимо інші показники ефективності ведення бойових дій з точки зору повітряного противника. В [4] вказується нормативний рівень втрат ЗПН в ударі - до 2%. Вивчення досвіду ведення бойових дій в зоні Перської затоки (1991 р., 2003 р.), в Югославії (1999 р.), в Лівії (2011 р.) [3, 7] дозволяє стверджувати, що в наш час допустимі втрати ЗПН значно менші і становлять десятки і соті долі процента від кількості літако-вильотів. Так під час операції "Непохитна свобода (2003 р.) авіацією США та їх союзників було здійснено понад 46000 літако-вильотів та поражено близько 20000 об'єктів [3, 7]. При цьому власні втрати склали 10 літаків, що складає 0,05% від кількості поражених об'єктів. Це вказує на те, що противник буде намагатись виконати завдання з мінімальними втратами ЗПН, тобто нарівні з показником ефективності 1 не менш важливим для противника при виборі варіанту ведення бойових дій буде і інший показник – кількість втрачених ЗПН або математичне сподівання цієї кількості. Визначимо цей показник ефективності як показник 2.

Запропоновані показники ефективності дозволяють використовувати як критерій ефективності ведення бойових дій противника забезпечення пораження об'єктів удару визначеного переліку з заданим ступенем при мінімальному рівні втрат ЗПН. Проте, при аналізі можливих варіантів дій противника може виникнути ситуація, коли декілька варіантів забезпечують досягнення зазначеного вище критерію. Наприклад, на рис.1б маршрути 2 і 3 забезпечують досягнення ОУ без входу в зону виявлення ЗР. Який з варіантів дій для противника більш ефективний? Цілком природно, що при виборі варіанту дій, якщо декілька варіантів забезпечують пораження ОУ при відсутності втрат ЗПН, повітряний противник буде обирати найдешевший варіант, який потребує мінімальних витрат ресурсів. Тому пропонується ввести наступний показник, який враховує витрати ресурсів противника, – показник 3.

Розглянемо підходи щодо розрахунку витрат ресурсів повітряним противником. Виходячи з того, що варіанти дій ПП порівнюються і вибирається найбільш оптимальний, можливо не враховувати постійну складову витрат противника, яка не залежить від варіанту його дій. Оскільки перелік ОУ та типовий наряд ЗПН на пораження ОУ вважаємо відомими, виключаємо з розгляду такі складові витрат противника, як витрата ракетно-бомбового озброєння С<sub>б</sub> на пораження ОУ. Враховуємо лише ті складові витрат ресурсів противника, які будуть залежати від варіанту його дій.

До них віднесемо наступні.

1. Витрати С<sub>М</sub> на подолання групами ЗПН зі складу ударного ешелону маршрутів аеродром базування–ОУ, які можуть визначатись як

$$C_M = \sum_{q=1}^Q n_q \cdot \left( c_q \cdot \sum_{g=1}^{G_q} D_{gq} + \sum_{r=1}^{R_q} C_{m,rq} \right), \quad (2)$$

де Q – кількість ОУ і, відповідно, кількість виділених груп ЗПН у складі ударного ешелону;

n<sub>q</sub> – кількість ЗПН у q-й групі;

c<sub>q</sub> – витрати на подолання одиниці довжини маршруту ЗПН q-ї групи;

G<sub>q</sub> – кількість горизонтальних ділянок маршруту q-ї групи ЗПН;

D<sub>gq</sub> – довжина g-ї горизонтальної ділянки маршруту q-ї групи ЗПН;

R<sub>q</sub> – кількість поворотних точок маршруту q-ї групи ЗПН;

C<sub>m,rq</sub> – витрати на здійснення r-го маневру зі зміни курсу і висоту польоту q-ї групи ЗПН.

2. Витрати С'<sub>М</sub> на подолання групами ЗПН зі складу ешелону подавлення ППО маршрутів аеродром базування–ОУ ППО, які можуть визначатись аналогічно по (2).

3. Витрати С'<sub>б</sub> ракетно-бомбового озброєння на пораження ОУ ППО.

Запропоновані вище показники ефективності ведення бойових дій повітряним противником дозволяють використовувати при порівнянні ефективності систем розвідки метод лексикографічного впорядкування [3, 8] у наступному порядку:

порівняння за показником 1 – з декількох варіантів побудови підсистеми розвідки більш раціональним буде той, при якому засоби пораження, що забезпечуються розвідувальною інформацією, здійснюють надійне прикриття об'єктів визначеного переліку;

порівняння за показником 2 – з декількох варіантів побудови підсистеми розвідки, для яких значення показника 1 однакове, більш раціональним буде той, при якому більшим є значення математичного сподівання кількості поражених ЗПН ПП;

порівняння за показником 3 – з декількох варіантів побудови підсистеми розвідки, для яких значення показників 1 і 2 однакове, більш раціональним буде той, при якому більшими є витрати ресурсів повітряним противником.

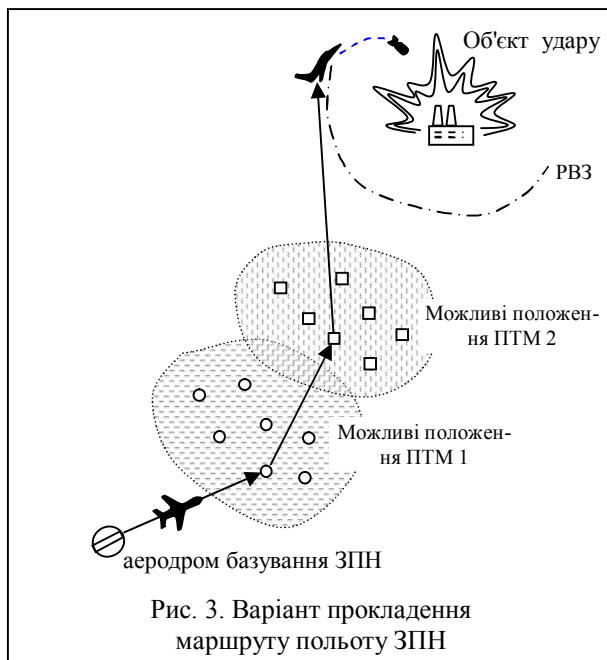
Зрозуміло, що при визначенні маршрутів і профілів польоту груп ЗПН противник буде враховувати можливість повернення ЗПН на аеродром посадки, внаслідок чого не всі маршрути і профілі польоту ЗПН від аеродрому базування до ОУ (ОУ ППО) і в зворотньому напрямку будуть припустимими. Окремий показник, що характеризує припустимість маршрутів і профілів польоту ЗПН вводити не будемо, оскільки вважаємо, що забезпечення можливості по-

вернення ЗПН на аеродром враховується при розрахунку показника ефективності 2. Також очевидно, що неприпустимим буде варіант дій противника, для реалізації якого у нього не вистачає ресурсів.

### 3. Підходи до розпізнавання варіанту ведення бойових дій повітряним противником

Як визначено в п. 1, можливим шляхом знаходження раціональної структури системи розвідки є попарне порівняння можливих варіантів структури системи за показниками 1-3 з використанням методу лексикографічного впорядкування. При цьому для кожного варіанту побудови системи розвідки необхідно визначити сукупність можливих варіантів дій противника, потім для кожної пари "варіант побудови підсистеми розвідки - варіант ведення бойових дій противником" визначити значення показників 1-3, і, аналізуючи значення показників 1-3, вибрати раціональний варіант побудови системи розвідки. На практиці використання такого підходу буде ускладнене із-за надзвичайно великої кількості варіантів ведення бойових дій противником.

На рис. 3 показаний можливий варіант прокладення маршруту польоту ЗПН (або групи ЗПН) від аеродрому базування до ОУ.



Маршрут проходить через дві поворотні точки маршруту (ПТМ1 та ПТМ2), в яких ЗПН може змінювати курс і висоту польоту. Якщо кількість можливих положень поворотних точок маршруту  $N_{ПТМ1} = N_{ПТМ2} = 10^3$ , то загальна кількість можливих варіантів прокладення маршруту складає  $10^6$ . Якщо ж на відміну від варіанту, показаного на рис.3, аеродромів базування ЗПН і ОУ декілька, кількість можливих маршрутів польоту декількох груп ЗПН збільшиться на порядок. Зауважимо, що тільки прокла-

денням маршрутів польоту вибір варіанту удару не обмежується, тому загальна кількість варіантів удару на декілька порядків більша, ніж  $10^6$ . Така велика кількість можливих варіантів ведення бойових дій противником виключає можливість використання методу перебору для оцінки ефективності цих варіантів. В [9] пропонується для визначення маршрутів польоту ЗПН використовувати метод динамічного програмування. Подальші дослідження авторів [10, 11] продемонстрували переваги розпізнавання замислу противника з використанням мультиагентного алгоритму. В даній роботі із-за обмеження на обсяг статті порядок розпізнавання варіанту ведення бойових дій повітряним противником з використанням мультиагентного алгоритму не приводиться.

### 4. Використання генетичного алгоритму для синтезу раціональної структури системи розвідки

#### 4.1. Сутність генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм [12] заснований на ідеї еволюції за допомогою природного відбору та являє собою штучну імітацію таких властивостей живої природи, як природний відбір, пристосованість до змінюваних умов середовища, спадкоємність нащадками властивостей батьків і т.ін.

Сутність генетичного пошуку полягає в циклічній заміні однієї популяції наступною, більш пристосованою. Можна вважати, що вся популяція складається в часі з дискретних поколінь  $\Omega^{(0)}, \Omega^{(1)}, \Omega^{(2)}, \dots, \Omega^{(T)}$ . Покоління  $\Omega^{(t+1)}$  – це сукупність особин, батьки яких належать поколінню  $\Omega^{(t)}$ . Покоління  $\Omega^{(0)}$  є початковою популяцією. Процес формування покоління  $\Omega^{(t)}$  називається *ініціалізацією*. Кожне наступне покоління є результатом циклу роботи генетичного алгоритму.

Для кожної особини поточного покоління визначається значення цільової функції, яке характеризує пристосованість особини. У ході *відбору (селекції)* найменш пристосовані особини гинуть, а найбільш пристосовані дістають можливість відтворити нащадків у ході попарного *схрещування*. Це приводить до появи нових особин, які наслідують від батьків деякі властивості. Таким чином, з покоління в покоління, гарні властивості розповсюджуються по всій популяції. Для підвищення різноманітності пошуку і більш повного дослідження простору пошуку застосовується *мутація* – введення в популяцію нових особин. Зрештою, популяція збагатиться до найбільш пристосованої особини (до оптимального рішення).

Для використання властивостей особин популяції у генетичному алгоритмі ці властивості подаються в закодованому вигляді – у вигляді *хромосоми*. Хромосома являє собою сукупність *генів*, кожний з яких зберігає певну властивість (ознаку, характеристику) особини. В залежності від того, які властивості необхідно закодувати і, відповідно, які значення можуть

приймати гени, розрізняють бінарні, числові та векторні хромосоми, а в залежності від структури простору пошуку хромосоми можуть бути одно-, дво- або багатомірними. Таким чином, генетичні оператори (схрещування, мутації, відбору) здійснюють перетворення хромосом без використання інформації про внутрішню структуру об'єкта досліджень.

#### 4.2. Представлення структури системи розвідки у вигляді хромосоми.

При застосуванні генетичного алгоритму для синтезу раціональної 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.

Відомо [1, 2], що достатньо адекватною для вирішення задачі дослідження структури інформаційної системи, якою є розвідувальна підсистема, є математична модель, яка зображується у вигляді матриці інцидентності, у якій номери рядків відповідають номерам джерел інформації, а номери стовпців — номерам споживачів інформації. Елементи  $a_{ij}$  на перетині рядків та стовпців набувають значення характеристики інформаційного зв'язку, що з'єднує відповідне джерело інформації з відповідним споживачем:

$$S = \begin{pmatrix} & \text{споживачі інформації} & & & & & \\ & & 1 & 2 & 3 & \dots & J \\ \text{джерела} & 1 & a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1J} \\ \text{інформації} & 2 & a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2J} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & I & a_{I1} & a_{I2} & a_{I3} & \dots & a_{IJ} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

(зауважимо, що одні і ті ж елементи структури можуть бути і джерелами, і споживачами інформації).

При числових розрахунках також виникає необхідність використання різновиду матриці інцидентності – ортонормованої матриці інцидентності, в якій значення елементів можуть набувати значення 0 або 1. Така матриця може бути використана у тому випадку, якщо для дослідження є необхідність визначити наявність інформаційних зв'язків між відповідними елементами структури системи без визначення характеристики зв'язку.

Приклад ортонормованої матриці інцидентності для структури розвідувальної підсистеми, наведеної на рис. 2, має вигляд:

$$S = \begin{pmatrix} & \text{споживачі інформації} & & & & & \\ & & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \text{джерела} & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{інформації} & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & 4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Нескладно побачити аналогію між відображенням розвідувальної підсистеми у матрицю виду (3) та відображенням точки простору рішень у двомірну хромосому, що має місце у генетичному алгоритмі. Ортонормована матриця інцидентності (3) являється двомірною хромосоною і може використовуватись для представлення структури системи розвідки в генетичному алгоритмі.

Розвиваючи наведену вище аналогію, назвемо елементи матриці (3) генами, а декілька реалізацій матриці (3) з різними значеннями елементів (генів) – сукупністю хромосом, або популяцією. Зауважимо, що 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.

На рис. 4 наведена методика генетичного пошуку раціональної структури системи розвідки.

Пояснимо роботу окремих складових методики докладніше.

#### 4.3. Ініціалізація початкової популяції.

При ініціалізації початкової популяції  $\Omega^{b(0)}$  випадковим чином створюються  $N_b$  хромосом – матриць виду (3). При цьому необхідно враховувати обмеження на вигляд матриць (3), що будуть визначатись характером задачі, що вирішується, наприклад:

на вогневий засіб поступає бойова інформація тільки від одного ПУ – це означає, що у відповідних стовбцях матриці може бути тільки одна одиниця, інші Також обмеження на вигляд хромосоми повинні враховуватись при застосуванні оператора мутації, який полягає в заміні одного або декількох генів хромосоми, вибраної випадковим чином з множини  $\Omega^{b(t)}$ , на протилежне значення, що стосовно досліджуваної структури системи розвідки означає створення або ж видалення зв'язків між її елементами.

В результаті у кожному циклі генетичного алгоритму формується популяція хромосом-мутантів  $\Omega^{m(t)}$ .

елементи стовбців – нулі;

засіб розвідки надає розвідувальні дані тільки на один ПУ – це означає, що у відповідних рядках матриці може бути тільки одна одиниця, інші елементи рядків – нулі;

пункт управління може отримувати і обробляти розвідувальні дані не більше ніж від  $N_{зрmax}$  засобів розвідки та надавати бойову інформацію не більше ніж  $N_{взmax}$  вогневим засобам.



Рис. 4. Схема генетичного алгоритму при визначенні раціональної структури системи розвідки

4.4. Застосування операторів схрещування та мутації.

При схрещуванні хромосоми поточної популяції  $\Omega^{b(t)}$  випадковим чином розбиваються на пари. Оператор схрещування здійснює обмін генів хромосом кожної пари. В результаті формується популяція хромосом-нащадків  $\Omega^{c(t)}$  чисельністю  $N_c$ . Схрещування потрібно виконувати з урахуванням обмежень на вигляд матриці (3), щоб в результаті не отримати хромосоми, відповідні яким структури створити неможливо. В прикладі, наведеному нижче (рис.5), застосований блочний оператор схрещування для двомірних хромосом. При схрещуванні хромосоми здійснюють обмін генами, розташованими на ділянці, положення якої визначається випадковим чином з врахуванням наведених вище обмежень.

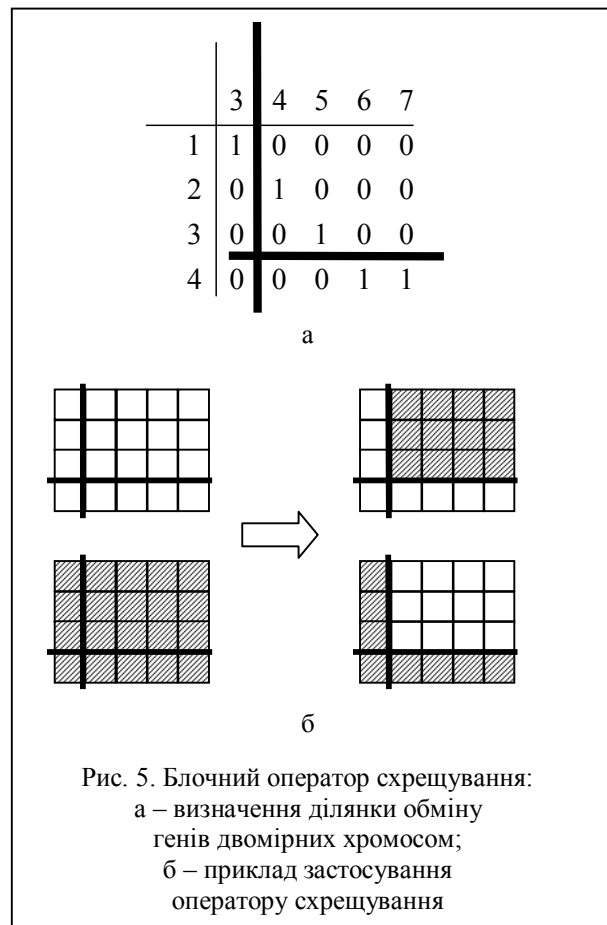


Рис. 5. Блочний оператор схрещування: а – визначення ділянки обміну генів двомірних хромосом; б – приклад застосування оператора схрещування

4.5. Розпізнавання варіанту дій ПП та оцінка ефективності ведення бойових дій при структурі системи розвідки  $S \in \Omega^{\Sigma(t)}$ , де  $\Omega^{\Sigma(t)} = \Omega^{b(t)} \cup \Omega^{c(t)} \cup \Omega^{m(t)}$ , здійснюється з використанням мультиагентного алгоритму, запропонованого в [10,11]. На кожному t-му циклі роботи генетичного алгоритму для кожної хромосоми S множини  $\Omega^{\Sigma(t)}$  розпізнається варіант дій противника та оцінюється його ефективність. Наступним кроком циклу генетичного алгоритму є *відбір* кращих  $N_b$  хромосом з популяції  $\Omega^{\Sigma(t)}$  за значенням цільової функції (1). Отримані хромосо-

ми утворюють нову популяцію  $\Omega^{b(t+1)}$ , яка являється початковою для наступного циклу генетичного алгоритму. Після виконання Т циклів робота генетичного алгоритму припиняється.

Аналіз значень цільової функції (1) для отриманої множини хромосом  $\Omega^{(T)}$  дозволяє визначити одну чи декілька раціональних структур підсистеми розвідки системи ППО.

## Висновки

Таким чином, у статті запропонована методика синтезу структури підсистеми розвідки системи ППО з використанням генетичного алгоритму. Структура системи розвідки представляється у вигляді двомірної матриці інцидентності. Ця матриця використовується як хромосома операторами генетичного алгоритму. Елементи матриці інцидентності, що описують зв'язки між елементами структури системи розвідки, у генетичному алгоритмі являються генами. В кожному циклі генетичного алгоритму здійснюється попарне схрещування хромосом, в ході якого здійснюється обмін частини генів, що для досліджуваної системи розвідки означає появу та зникнення відповідних зв'язків між елементами. Розрахунок значень цільової функції (ефективності ведення бойових дій) пропонується здійснювати з використанням мультиагентного алгоритму, при цьому для кожної хромосоми поточної популяції спочатку розпізнається варіант дій повітряного противника.

Подальші дослідження можуть бути направлені на розробку методики синтезу раціональної структури системи розвідки з визначенням складу елементів системи та їх розташування на місцевості.

## Список літератури

1. *Модельовання 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 / [Городчин 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: монографія / С.П.Ярош; за ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.*

4. *Городнов В.П. Методика прогноза ефективності групування родів військ ПВО / В.П. Городнов. – Х.: ХВУ, 1999. – 32 с.*

5. *Городнов В.П. Методика оцінки важливості об'єктів, прикриваемими силами і засобами ПВО / В.П. Городнов, С.В. Лазебник, В.Г. Малюга // Збірник наукових праць. – Х.: ХВУ, 2003. – Вип. 4(47). – С.8-12.*

6. *Таран І.А. Методика визначення важливості об'єктів прикриття з використанням методу аналізу ієрархій / С.Б. Смірнов, І.А. Таран, А.В. Тристан // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – Вип. 2(15). – С.21-24.*

7. *Дробаха Г.А. Розвиток тактики дій засобів повітряного нападу в локальних конфліктах ХХІ століття / Г.А. Дробаха, С.М. Піскунов, І.М. Тіхонов // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 1(21). – С. 6-10.*

8. *Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.*

9. *Таран І.А. Методика визначення оптимальної траєкторії польоту засобу повітряного нападу до об'єкту удару / І.А. Таран // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2015. – № 2(42). – С. 44-48.*

10. *Худов Г.В. Використання мультиагентного (мурашиного) алгоритму для розпізнавання елементів замислу повітряного противника / Г.В.Худов, І.А.Таран // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2015. – № 3(43). – С. 179-185.*

11. *Таран І.А. Методика визначення елементів системи протиповітряної оборони – об'єктів удару з використанням мінімаксного мурашиного алгоритму / І.А. Таран // Системи обробки інформації: Зб. наук. праць. – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 3 (140). – С. 136-140.*

12. *Суботін С.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечітко логічних і нейронних моделей : Монографія / С.О. Суботін, А.О. Олійник, О.О. Олійник. Під заг. ред. С.О. Суботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.*

Надійшла до редколегії 24.02.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. К.С. Васюта, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДИКА СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОДСИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ СИСТЕМЫ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Г.В. Худов, И.А. Таран

*В работе предложена методика синтеза рациональной структуры подсистемы разведки системы противовоздушной обороны с использованием генетического алгоритма.*

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

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

G.V. Khudov, I.A. Taran

*The paper proposed the use of genetic algorithm to synthesis of rational structure of air defence grouping intelligence system.*

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