

Дмитро Вікторович Рєзнік

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ ПЛАНУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ

У статті визначено належність завдання планування взаємодії сил і засобів угруповання протиповітряної оборони (ППО) до класу задач календарного планування з обмеженими ресурсами. Для вирішення цього завдання обґрунтовано використання евристичного методу з використанням генетичного алгоритму. Запропонована математична формалізація задачі календарного планування взаємодії сил і засобів угруповання ППО дає можливість вирішити завдання розробки планової таблиці взаємодії сил і засобів угруповання ППО за трьома критеріями оптимізації.

Перший критерій - мінімальний час виконання завдання ППО, другий - мінімальні витрати ресурсів для виконання завдання ППО та третій критерій - мінімальний час дії сил і засобів угруповання ППО в бойовому режимі.

Запропонований автором генетичний алгоритм дозволяє розробити майже оптимальний варіант планової таблиці взаємодії сил і засобів угруповання ППО за усіма визначеними критеріями, а також проводити його уточнення, при зміні обстановки, в реальному часі.

Ключові слова: взаємодія; планова таблиця взаємодії; генетичний алгоритм.

Вступ

Постановка проблеми. Взаємодія є одним з важливих елементів в системі управління військами (силами). Аналіз досвіду сучасних воєнних конфліктів та результатів проведених командно-штабних навчань [1] показали високу ефективність від впровадження систем управління військами за рахунок управління взаємодією. Система управління військами (силами) вирішує завдання організації та здійснення взаємодії під час ведення бойових дій [1, 8]. Одним з важливих завдань організації взаємодії є завдання планування (розроблення плану та планової таблиці) взаємодії (ПТВ) сил і засобів що виконують завдання в угрупованні ППО.

Залежно від періоду планування виділяють два виду плану взаємодії: на операцію (бойові дії) та на етап операції (бойових дій). План взаємодії на операцію складають на підставі інформації про склад сил і засобів, що взаємодіють, та складу противника, що очікується. План взаємодії на етап операції (бойових дій) складається на основі плану взаємодії на операцію та враховує поточний стан сил і засобів своїх військ та військ противника, а також зміну кількості усіх видів ресурсів за попередній етап.

Опишемо основні параметри для завдання планування взаємодії сил і засобів угруповання ППО. Задана система, яка складається з множини вогневих одиниць та множини цілей, які потрібно знищити. Для системи задаються наступні параметри: початок цілерозподілу не раніше її виявлення засобами розвідки; цикли стрільби (повітряного бою) кожної вогневої одиниці; рубіж виконання завдання (РВЗ) повітряним противником, до якого необхідно знищити цілі; вагові коефіцієнти, що характеризують відносну важливість цілей; функція, що визначає вартість знищення цілі за умови, що ЗПН буде знищений до рубежу виконання ним завдання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Керівними документами визначено завдання щодо розроблення ПТВ, але тільки завданням та прикладом ПТВ все і закінчується. Вирішення завдання розробки ПТВ покладено на штаб, що організує взаємодію, але відсутність методики та алгоритму розробки ПТВ приводить до низької інформативності її відображення. Отже ПТВ, що не уточнюється в ході ведення операції (бойових дій) так і залишається "зайвим" документом, на розробку якого витрачається багато часу. Планова таблиця взаємодії, за своїм змістом, належить до розкладів, і завдання її розробки відноситься до класу завдань, що вивчає теорія розкладів (з'явилася в 50-і роки ХХ століття) [7]. Розвитком цього напрямку займаються відомі вчені: Танаев В. С. [2], Джонсон С. М. [3], Конвей Р. В. [6], та ін.

Тому **метою статті** є запропонувати генетичний алгоритм для розробки та уточнення планової таблиці взаємодії сил і засобів угруповання ППО в реальному часі.

Методи дослідження

У ході дослідження використовувалися методи: аналізу теоретичних джерел з проблем організації взаємодії та теорії розкладів та метод синтезу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Завдання розробки ПТВ є завданням календарного планування з обмеженими ресурсами. У завданні календарного планування з обмеженими ресурсами задана множина робіт, пов'язаних один з одним умовами передування. Для кожної роботи задана тривалість її виконання і об'єм використаних ресурсів. Сумарний об'єм кожного ресурсу вважається відомим в кожен момент часу. Вимагається знайти розклад виконання робіт який задовольняє умовам

передування, обмеженням по ресурсах і мінімізації сумарного відхилення фактичного часу виконання робіт від директивних термінів.

Здійснимо математичну постановку завдання календарного планування [7] взаємодії сил і засобів зенітних ракетних військ (ЗРВ) та винищувальної авіації (ВА), що діють в угрупованні ППО та виконують завдання протиповітряної оборони військ (сил).

Введемо позначення періоду планування :

$$t \in [0, T],$$

де t - момент часу на інтервалі планування;

T - тривалість періоду планування.

Дана множина родів військ в угрупованні ППО:

$$CE = \{CE_c\}, c = \overline{1, C},$$

де CE_c - c -й род військ в угрупованні ППО;

C - кількість родів військ в угрупованні ППО.

Множина військових частин (підрозділів) що виконують завдання щодо знищення засобів повітряного нападу (ЗПН):

$$LI = \{LI_{cl}\}, l = \overline{1, L}, \sum_{c=1}^C L_c = L,$$

де LI_{cl} - l -а військова частина (підрозділ) в c -му роді військ;

L_c - кількість військових частин (підрозділів) в c -му роді військ;

L - кількість військових частин (підрозділів) в угрупованні ППО.

Множина типів вогневих одиниць (зенітних ракетних комплексів, винищувачів):

$$MO = \{MO(c, l, m)\}, m = \overline{1, M_{cl}}, \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{L_c} M_{cl} = M,$$

де $MO(c, l, m)$ - m -й тип вогневої одиниці в l -й військовій частині (підрозділу) c -го роду військ;

M_{cl} - кількість типів вогневих одиниць в l -й військовій частині (підрозділу) c -го роду військ;

M - кількість типів вогневих одиниць.

Множина вогневих одиниць військових частин (підрозділів) в угрупованні ППО:

$$OV = \{OV(c, l, m, i)\}, i = \overline{1, I(c, l, m)}, \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{L_c} \sum_{m=1}^{M_{cl}} I(c, l, m) = I,$$

де $OV(c, l, m, i)$ - i -а вогнева одиниця m -го типу l -ї військової частини (підрозділу) c -го роду військ;

$I(c, l, m)$ - кількість вогневих одиниць m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

M_{cl} - кількість типів вогневих одиниць в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

I - кількість вогневих одиниць в угрупованні ППО.

Введемо опис ресурсів, необхідних для знищення ЗПН. Множина ресурсів наявних в угрупованні ППО:

$$RT = \{RT_v\}, v = \overline{1, V},$$

де RT_v - кількість ресурсу виду v ;

v - номер виду ресурсу (вид ресурсу – кількість зенітних керованих (авіаційних) ракет, набоїв, палива тощо);

V - кількість видів ресурсів.

Множина видів станів вогневих одиниць (технічне обслуговування, відновлення, готовність №2, 3, тренування, марш (перельоти) тощо) для кожної вогневої одиниці:

$$VS = \{VS(c, l, m, i, n)\}, n = \overline{1, N(c, l, m, i)},$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{L_c} \sum_{m=1}^{M_{cl}} \sum_{i=1}^{I(c, l, m)} N(c, l, m, i) = N,$$

де $VS(c, l, m, i, n)$ - n -й вид стану для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

$N(c, l, m, i)$ - кількість видів стану для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

N - загальна кількість видів станів.

Множина станів для усіх вогневих одиниць визначимо як:

$$SO = \{SO(c, l, m, i, n, z)\}, z = \overline{1, Z(c, l, m, i, n)},$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{L_c} \sum_{m=1}^{M_{cl}} \sum_{i=1}^{I(c, l, m)} \sum_{n=1}^{N(c, l, m, i)} Z(c, l, m, i, n) = Z,$$

де $SO(c, l, m, i, n, z)$ - z -й стан n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

$Z(c, l, m, i, n)$ - кількість станів n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

Z - загальна кількість станів на періоді планування.

Множина ресурсів потрібних для знищення ЗПН при виході з станів різного виду для кожної вогневої одиниці (нормативні дані):

$$RTO = \{RTO(c, l, m, i, n, v)\},$$

де $RTO(c, l, m, i, n, v)$ - кількість ресурсу v -го виду потрібного для знищення ЗПН після стану n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Множина директивного (нормативного) часу виходу з стану для усіх вогневих одиниць:

$$TD = \{TD(c, l, m, i, n, z)\},$$

де $TD(c, l, m, i, n, z)$ - нормативний час виходу з z -го стану n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Множина міжстанових інтервалів (тривалість бойового режиму) (нормативні дані):

$$MI = MI(c, l, m, i, n, z),$$

де $MI(c, l, m, i, n, z)$ - міжстановий інтервал після z -го стану n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Далі опишемо змінні параметри.

Множина моментів початку бойового режиму:

$$TN = \{TN(c, l, m, i, n, z)\},$$

де $TN(c, l, m, i, n, z)$ - момент початку бойового режиму після завершення z -го стану n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Множина моментів закінчення бойового режиму:

$$TK = \{TK(c, l, m, i, n, z)\},$$

де $TK(c, l, m, i, n, z)$ - момент закінчення бойового режиму та початок z -го стану n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Формула розрахунку моменту закінчення бойового режиму:

$$TK(c, l, m, i, n, z) = TN(c, l, m, i, n, z) + f_1(RTO(c, l, m, i, n, v), SO(c, l, m, i, n, z)),$$

де $f_1(RTO(c, l, m, i, n, v), SO(c, l, m, i, n, z))$ - функція розрахунку витрат кількості ресурсів на знищення ЗПН після z -го стану n -го виду для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Формула розрахунку моменту початку бойового режиму:

$$TN(c, l, m, i, n, z) = TK(c, l, m, i, n, z - 1) + MI(c, l, m, i, n, z),$$

Опишемо множину груп, що одночасно знаходяться в бойовому режимі на усьому періоді планування:

$$SO^* = \{SO_w^0\}, w = \overline{1, W}, SO^* \subseteq SO,$$

де SO_w^0 - w -а група (множина) одночасних бойових режимів вогневих одиниць;

W - загальна кількість груп що знаходяться в бойовому режимі на усьому періоді планування.

Множина одночасних бойових режимів групи w , які знаходяться в період часу $[t_{w1}, t_{w2}]$, описується:

$$SO_w^0 = \{SO_w^0(c, l, m, i, n, z)\}, \forall SO_w^0(c, l, m, i, n, z) \Rightarrow \\ \Rightarrow (TN(SO_w^0(c, l, m, i, n, z)) \in [t_{w1}, t_{w2}] \vee \\ \vee TK(SO_w^0(c, l, m, i, n, z)) \in [t_{w1}, t_{w2}]), \\ t_{w1} \in [0, T], t_{w2} \in [0, T]$$

де $SO_w^0(c, l, m, i, n, z)$ - бойовий режим в групі w одночасних бойових дій після z -го стану n -го виду i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

t_{w1} - початок періоду w -ї групи одночасних бойових дій;

t_{w2} - кінець періоду w -ї групи одночасних бойових дій.

Для вирішення завдання календарного планування взаємодії сил і засобів угруповання ППО можуть бути використані наступні критерії оптимізації.

Першим критерієм оптимізації буде мінімізація функції вартості, тобто суми відхилень нормативного і фактичного часу на знищення цілі

що призначена для кожної вогневої одиниці:

$$Fl(SO) = \min_{SO} \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^{M_{cl}} \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N I(c, l, m) N(c, l, m, i)$$

$$Z(c, l, m, i, n) \sum_{z=1}^Z f_2(SO(c, l, m, i, n, z), TD(c, l, m, i, n, z),$$

$$TN(c, l, m, i, n, z)),$$

де $Fl(SO)$ - критерій оптимізації по функції вартості;

$f_2(SO(...), TD(...), TN(...))$ - функція, яка визначає величину вартості знищення цілі $SO(...)$ залежно від різниці між директивним часом початку бойового режиму $TD(...)$ і фактичним часом початку бойового режиму $TN(...)$, чим менше відхилення, тим менше значення функції вартості;

SO - множина усіх бойових режимів.

Другим критерієм оптимізації, буде мінімальне використання наявних ресурсів щодо знищення ЗПН, вогневими одиницями, що знаходяться в бойовому режимі. Сутність критерію полягає в мінімізації витрат вогневої одиниці на знищення цілі.

$$F2(SO) = \sum_{SO_w^0 \subseteq SO} \min_{RTO} \sum_{SO_w^0(c, l, m, i, n, z) \in SO_w^0}$$

$$\sum_{v=1}^V RTO_v(SO_w^0(c, l, m, i, n, z)), v = \overline{1, V}, w = \overline{1, W},$$

де $F2(SO)$ - критерій оптимізації по ресурсах;

$RTO_v(SO_w^0(c, l, m, i, n, z))$ - кількість ресурсу v -го виду, що виділено для знищення цілі в бойовому режимі $SO_w^0(c, l, m, i, n, z)$;

SO_w^0 - w -а група (множина) одночасних бойових режимів.

Третім критерієм оптимізації буде мінімізація загальної тривалості простою вогневої одиниці в бойовому режимі без роботи по цілі:

$$F3(SO) = \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^L \sum_{SO} \min f_3(SO(c, l, m, i, n, z), TN(c, l, m, i, n, z),$$

$$TK(c, l, m, i, n, z)), m = \overline{1, M_{cl}}, i = \overline{1, I(c, l, m)},$$

$$n = \overline{1, N(c, l, m, i)}, z = \overline{1, Z(c, l, m, i, n)},$$

$$SO(c, l, m, i, n, z) \in SO,$$

де $F3(SO)$ - критерій оптимізації по тривалості простою в бойовому режимі без знищення цілей;

$f_3(SO(...), TN(...), TK(...))$ - функція, яка визначає тривалість простою i -ї вогневої одиниці l -ї військової частини (підрозділу) c -го роду військ на усьому періоді планування, за рахунок підсумовування часу бойових режимів $SO(...)$;

M_{cl} - кількість типів вогневих одиниць в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

$I(c, l, m)$ - кількість вогневих одиниць m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

$N(c, l, m, i)$ - кількість виду станів для i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ;

$Z(c, l, m, i, n)$ - кількість станів n -го виду i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Обмеження по ресурсах для усіх груп, що одночасно здійснюють бойову роботу, можна описати:

$$\forall SO_W^0 \subseteq SO \Rightarrow \Rightarrow \sum_{SO_W^0(c, l, m, i, n, z) \in SO_W^0} \sum_{v=1}^V RTQ_v(SO_W^0(c, l, m, i, n, z)) \leq$$

$$\leq RTV, v = \overline{1, V}, w = \overline{1, W},$$

де $SO_W^0(c, l, m, i, n, z)$ - бойовий режим в групі w одночасних бойових дій що став після z -го стану n -го виду i -ї вогневої одиниці m -го типу в l -й військовій частині (підрозділі) c -го роду військ.

Для вирішення поставленого завдання потрібно обрати метод її реалізації [5]. Відомі наступні методи рішення задачі календарного планування (рис. 1): математичне програмування, комбінаторні методи, статистичні методи і евристичні методи.



Рис. 1. Методи календарного планування

Аналіз приведених методів показав, що складність використання як комбінаторного методу, так і методу динамічного програмування пов'язана з експоненціальним зростанням тривалості обчислень від розмірності завдання. До того ж в завданнях календарного планування на кожному кроці планування змінюється система обмежень, що ускладнює застосування симплекс-методу, як частини методу гілок і меж. Для використання імітаційного моделювання потрібний великий об'єм статистичних даних, доступ до яких зазвичай ускладнений. Таким чином, найбільш перспективним буде вибір евристичних методів. Зараз розроблена безліч евристичних методів, заснованих на застосуванні генетичних алгоритмів і їх модифікацій [1-5], що дозволяють знаходити близьке до оптимального рішення задачі календарного планування з обмеженими ресурсами за невеликий час [6]. На підставі проведеного аналізу для вирішення завдання планування взаємодії сил і засобів ЗРВ та ВА був розроблений алгоритм побудови раціональної планової таблиці взаємодії на основі генетичного алгоритму. Блок-схема роботи генетичного алгоритму стосовно розглянутого завдання представлена на рис. 2.

На початку виконання алгоритму випадковим

чином формується множина планів (планових таблиць взаємодії) (початкова популяція - блок 1). Далі створена множина перевіряється на наявність планів, що повторюються, і виконується видалення дублікатів (блок 2). Наступний етап - це випадковий вибір з рівною імовірністю двох планів з початкової популяції (блок 4) і на їх основі створюються два нові плани ідентичних початковим (блок 5). У блоках 6, 7 виконується пошук розбіжності в створених планах і обмін заходами між планами - операція кросингвер. Спочатку виконується попарне порівняння заходів в планах і при знаходженні першої розбіжності в послідовності виконується обмін заходів між планами. Якщо в отриманих розкладах утворюються дублюючі заходи, то продовжується виконання обміну заходами до зникнення їх дублювання в кожному плані. У блоці 8 проводиться перевірка допустимості розкладу, тобто для усіх бойових одиниць, що є в плані, перевіряється виконання умови передування заходів.

Якщо умова не виконується, то виробляється "мутація" плану (блок 9). Стани, які не задовольняють умові передування, змінюються місцями до тих пір, поки план не стане допустимим.

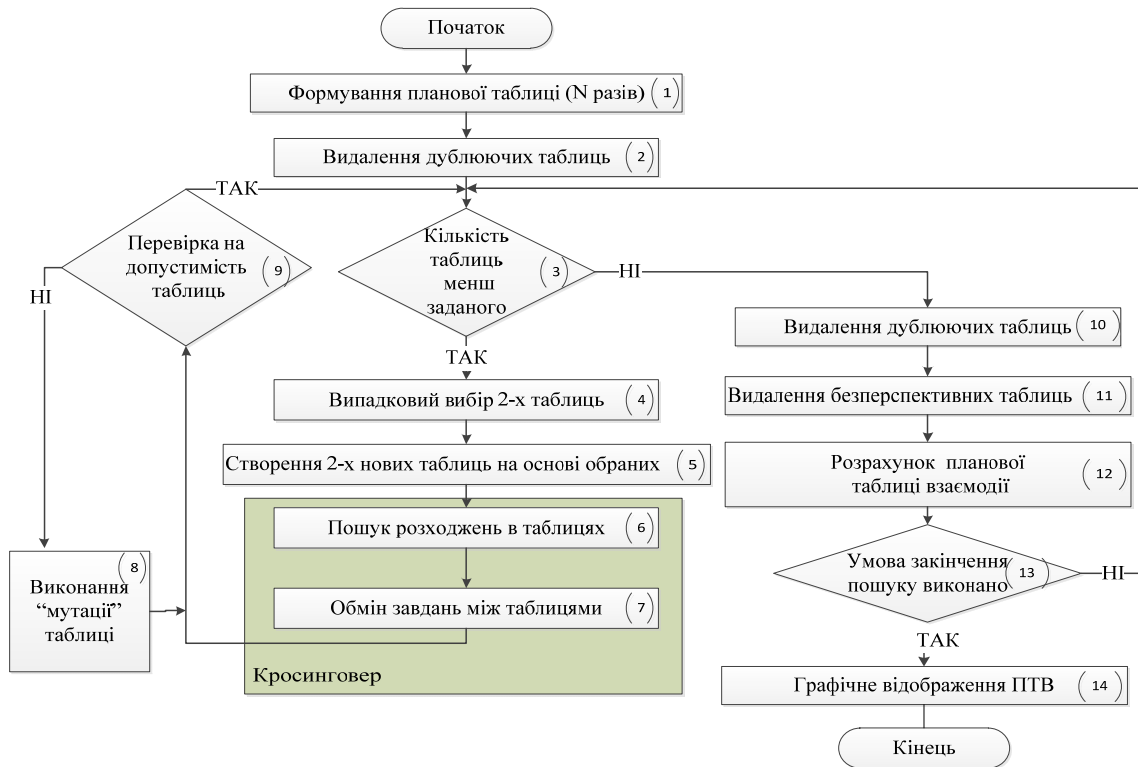


Рис. 2. Блок-схема генетичного алгоритму розробки планової таблиці взаємодії

Приклад: за умовами передування захід 1.1 (для першої вогневої одиниці перший захід (стан)) повинен передувати захід 1.2 (для першої вогневої одиниці другий захід). Тоді, якщо після перевірки допустимості плану (блок 9) захід 1.2 буде знаходитися перед заходом 1.1, то виконується перестановка цих заходів між собою місцями. Після виконання заданої кількості операцій кросингверу виконується видалення дублюючих планів (блок 10).

Далі виробляється сортування і відсіювання неперспективних планів (блок 11). Число неперспективних планів визначається так, щоб отримана популяція (репродукційна група) мала кількість початкової популяції. У блоці 12 виконується розробка ПТВ у вигляді діаграми Ганта та визначається сума відхилень термінів фактичного початку бойової роботи від директивних. Виконання блоків 3-12 повторюється до тих пір, поки не буде виконано умову закінчення пошуку рішення завдання: значення критеріїв оптимізації кращого плану не змінюються в десяти наступних "поколіннях".

Результатом розрахунків є візуальне відображення раціональної ПТВ сил і засобів угруповання ППО у вигляді діаграми Ганта (рис. 3) що проводиться у блоці 14 (рис. 2).

Література

1. **Ярош С. П.** Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія / С. П. Ярош; за ред. І. О. Кириченка. // Х. :

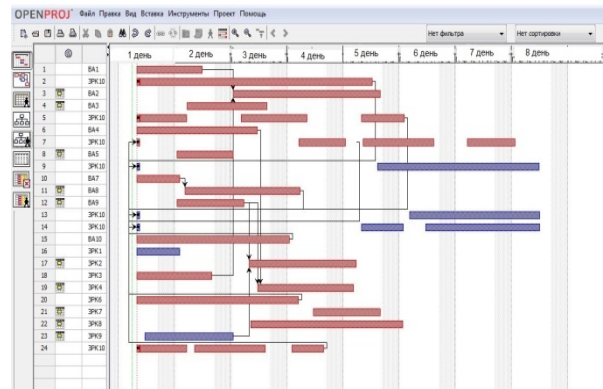


Рис. 3. Приклад побудованої планової таблиці взаємодії у вигляді діаграми Ганта

Висновки й перспективи подальших досліджень

Застосування запропонованого алгоритму надає можливість розробки раціонального варіанту планової таблиці взаємодії сил і засобів угруповання ППО та проводити її уточнення, при зміні обстановки, в реальному часі.

У подальшому, розроблений алгоритм потрібно вдосконалити блоком перевірки розробленої ПТВ на практичну реалізацію імітаційним моделюванням.

ХУПС, 2012. – 512 с. 2. **Танаєв В. С.** Введение в теорию расписаний / В. С. Танаєв, В. В. Шкурба. // М. : Наука, 1975. - 256 с. 3. **Johnson S. M.** Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included // Nav.

res. log. quart. – 1954. – Vol. 1. – No. 1. **4. Hartmann S. A.** Self-Adapting Genetic Algorithm for Project Scheduling under Resource Constraints. // Naval Research Logistics – 2002. – Vol. 49.– pp. 433–448. **5. Holland H. J.** Adaptation in Natural and Artificial Systems. // University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975. **6. Конвей Р. В.** Теория расписаний / Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Миллер Л.В. // М. : Наука, 1975. – 359 с. **7. Мышенков К. С.** Постановка задачи составления

календарного плана ремонта оборудования предприятия / К. С. Мышенков, А. Ю. Романів // Системный анализ в проектировании и управлении : Сб. науч. тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. СПбГПУ. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, - 2010. - Ч. 1. - С. 240-243. **8. Резнік Д. В.** Можливості використання моделі узгодженої взаємодії для оцінки ефективності взаємодії військ / Д. В. Резнік, О. М. Чернобривченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2014. - №2(20). – С. 88-92.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Дмитрий Викторович Резник

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В статье определена принадлежность задачи планирования взаимодействия сил и средств группировки противовоздушной обороны (ПВО) к классу задач календарного планирования с ограниченными ресурсами. Для решения этой задачи обосновано использование эвристического метода с использованием генетического алгоритма. Предложенная математическая формализация задачи календарного планирования взаимодействия сил и средств группировки ПВО даёт возможность решить задачу разработки плановой таблицы взаимодействия сил и средств группировки ПВО по трём критериями оптимизации.

Первый критерий – минимальное время выполнения задачи, второй – минимальные затраты ресурсов для выполнения задачи ПВО и третий – минимальное время действия сил и средств группировки ПВО в боевом режиме.

Предложенный автором генетический алгоритм позволяет разработать почти оптимальный вариант плановой таблицы взаимодействия сил и средств группировки ПВО по всем трём критериям, а также провести его уточнение, при изменении обстановки, в реальном времени.

Ключевые слова: взаимодействие; плановая таблица взаимодействия; генетический алгоритм.

THE USE OF THE GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING THE COOPERATION PLANNING TASK

Dmytro V. Rieznik

National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The article defines the air defense units' interaction planning task as a scheduling problem with limited resources. Offered solution is based on a heuristic method, namely on the genetic algorithm. Suggested mathematical formalization of the task concerning scheduling the interaction of air defense units. It allows to tackle the task aiming to develop the schedule table that reflects the interaction of air defence forces and facilities by three optimization criteria.

The first criterion is the minimum time needed to accomplish the task; the second one is the minimum resources involved in task fulfillment; and the third relates to the minimum duration of the air defense units in active mode.

Genetic algorithm suggested by the author of the article allows to develop near optimal variant of the schedule table showing interaction of air defense units by three criteria, as well as make alterations in compliance with occurred changes in real time.

Key words: interaction; interaction schedule table; genetic algorithm

References

1. Jarosh S.P., Kyrychenko I.O. (2012), The theoretical basis of construction and application intelligence and control air defense information systems: monograph. [Teoretichni osnovy pobudovi ta zastosuvania rozviduvalno-upravljajuchih informacijnih sistem protipovitrjanoi oboroni. Monohrafiia.], KhAFU, Kharkiv, 512 p. **2. Танаев V.S.,** Shkurba V.V. (1975), Introduction to the scheduling theory. [Vvedenie v teoriju raspisanii], Nauka, Moscow, 256 p. **3. Johnson S.M.** (1954), Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included, Nav. res. log. Quart., Vol. 1. **4. Hartmann S.A.** (2002), Self-Adapting Genetic Algorithm for Project Scheduling under Resource Constraints, Naval Research Logistics, Vol. 49, pp. 433–448. **5. Holland H.J.** (1975), Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor.

6. Konvei R.V., Maksvel V.L., Miller L.V. (1975), The scheduling theory. [Teorija raspisanii], Nauka, Moscow, 359 p. **7. Mishenkov K.S.,** Romanov A.U. (2010), Problem statement preparation schedule equipment repair companies. [Postanovka zadachi sostavlenija kalendarnogo plana remonta oborudovanija predpriyatija], Sistemni analiz v proektyrovanyi i upravlenyi. XIV Mejdunarodnaja nauch.-prakt. Konf., №1, StP. PTU, St.Petersburg. pp. 240–243. **6. Rieznik D.V.** (2014), Possibility of using coordinated interaction model for evaluation of troops interaction efficiency. [Mojlyvist vykorystanja modeli uzgojenoj vzaemodyi dlia ocinky efektyvnosti vzaemodyi viisk], Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence, No. 2(20), pp. 88-92.

Отримано: 29.10.2015 року