

УДК 004.051::[355.40:623.4.025:623.618]

І.О. Кириченко¹, С.П. Ярош²¹Академія внутрішніх військ МВС України²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ І КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗВІДУВАЛЬНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

В статті обґрунтовуються показники та критерії для оцінювання ступеня ефективності виконання бойового завдання угрупованням ППО в залежності від ефективності функціонування розвідувально-управляючої інформаційної системи ППО.

Ключові слова: цілерозподіл; розвідувально-управляюча інформаційна система; протиповітряна оборона; вогневий комплекс; розвідка; показник; функція.

Вступ

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток засобів повітряно-космічного нападу (ЗПКН) в напрямку збільшення швидкостей польоту в ході їх бойового застосування при одночасному зменшенні їх геометричних розмірів і помітності для засобів виявлення свідчить про важливість досліджень пов'язаних з розвитком та удосконаленням підсистем розвідки та управління при організації ППО. Одним із напрямків такого розвитку є створення розвідувально-управляючих інформаційних систем, тобто систем типу С4ISR [2, 4]. Без наявності подібних систем, які створюються та функціонують в єдиному інформаційно-бойовому просторі, своєчасне забезпечення розвідувальною інформацією та здійснення управління бойовими діями не тільки міжвидових, а й видових угруповань ППО в ході протиповітряної оборони стає неможливим. Ця теза знайшла своє підтвердження і в ході проведеного в ЗС України комплексу дослідницьких та експериментальних командно-штабних навчань з органами військового управління та військами (силами) «Перспектива – 2012».

При проведенні досліджень теоретичних основ побудови та бойового застосування розвідувально-управляючих систем ППО як одне з пріоритетних завдань визначено обґрунтування показників і критеріїв ефективності функціонування даних систем [4].

Аналіз літератури. Питанням обґрунтування показників ефективності функціонування організаційно-технічних систем військового призначення присвячена значна кількість джерел [1, 5, 7, 9 – 11].

В [1] описуються організаційно-технічні підсистеми системи ППО такі, як система зенітного ракетного вогню, система розвідки, системи управління військами та бойовими засобами ППО, наводяться показники, що характеризують ефективність їх функціонування.

Автори [5] дають визначення показника ефективності (показника якості, цільової функції) та критерію відшукування найкращих рішень відносно операції (бойових дій), визначають основні вимоги, яким повинні відповідати показники ефективності. Крім того, обґрунтовується система показників для оцінки оперативнотактичної ефективності і бойових можливостей системи ППО та методи їх розрахунків.

В монографії [7] обґрунтовуються показники та критерії для синтезу адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ, здійснюється оцінка ефективності та стійкості структур систем розвідки, вогню та управління.

У статті [9] визначена система показників для оцінювання ступеня впливу інформаційних мереж, які розгортаються і використовуються при підготовці та в ході бойових дій, на організацію управління угрупованнями військ і сил в єдиному інформаційному просторі.

У [10] запропонований підхід до визначення ключових елементів систем військового управління, проаналізовані основні типові структури систем управління з використанням обґрунтованих показників, здійснено порівняння важливості центрів важкості ієрархічної та мережевої структур системи управління.

У [11] в якості показників для оцінювання архітектури систем класу С4ISR пропонується використовувати такі показники: коефіцієнт потоку інформації, який дозволяє оцінити оперативність проходження інформації від засобів розвідки до бойових модулів; коефіцієнт координації, який дозволяє оцінити перевагу координації між бойовими модулями і коефіцієнт розвідки, який дозволяє оцінити цінність інформації отриманої від різних джерел з урахуванням часу її проходження. Нажаль, жоден з запропонованих показників не може бути використаний для оцінювання ефективності функціонування об'єкту управління, підвищення якої і є кінцевою метою застосування систем С4ISR.

Таким чином, можливо стверджувати, що в жодній з проаналізованих робіт відсутнє обґрунтування показників для оцінювання ступеня ефективності виконання бойового завдання угрупованням ППО в залежності від ефективності функціонування інтегрованих систем розвідки та управління.

Метою статті є обґрунтування показників і критеріїв для оцінювання ступеня ефективності функціонування розвідувально-управляючої інформаційної системи протиповітряної оборони та її впливу на ефективність виконання бойового завдання угрупованням ППО.

Основна частина

Ефективність функціонування розвідувально-управляючої інформаційної системи як системи організаційно-технічного класу залежить від її структури та якості.

Під структурою РУІС розуміється сукупність складових елементів створеної системи та зв'язків між ними.

Під якістю функціонування РУІС розуміється ступінь відповідності значень показників ефективності функціонування системи в реальних умовах значенням тих самих показників отриманих для ідеальних умов функціонування системи. В свою чергу під ідеальними умовами функціонування системи розуміються умови, за яких значення факторів, які дестабілізують її функціонування дорівнюють або близькі до нуля.

Показники, значеннями яких можна оцінювати розвідувально-управляючі інформаційні системи поділяються на показники, що характеризують структуру та показники, що характеризують якість функціонування РУІС.

За показники для оцінювання структури РУІС ППО можуть бути прийняті: кількість типів засобів розвідки, що входять до складу РУІС ППО; кількість засобів розвідки кожного типу; кількість об'єктів управління, що підключаються одночасно для управління до РУІС; кількість модулів управління засобами ППО, на основі яких організовується управління угрупованням ППО; кількість і тип каналів зв'язку, на основі яких будується мережа, що використовується для функціонування РУІС та ін.

Основними показниками для оцінювання якості функціонування РУІС ППО є: площа та об'єм розвідувального простору (узагальненої зони розвідки), які створюють своїми зонами засоби розвідки РУІС для заданих характеристик польоту ЗПН; площа та об'єм вогневого простору (узагальненої зони поразення) угруповання вогневих засобів ППО, управління якими здійснюється з використанням даної РУІС для заданих характеристик польоту ЗПН; площа та об'єм простору електронної боротьби, сформованого засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ), взятими на управління РУІС; площа

операційного району визначеного для ведення бойових дій угрупованню ППО, управління яким здійснює РУІС; кількість виявлених повітряних об'єктів, інформація про які може одночасно оброблятися РУІС; кількість ліній для передачі команд управління авіацією та ВТЗ, навігаційної інформації поданих засобами РЕБ; середня кратність перекриття зон розвідки створених однотипними засобами розвідки РУІС; середня кратність перекриття зон розвідки створених різнотипними засобами розвідки РУІС; відношення площі розвідувального простору сформованого засобами РУІС до площі вогневого простору сформованого вогневими засобами ППО, управління якими здійснюється з використанням даної РУІС; максимальна дальність виявлення повітряних цілей на гранично малій висоті; робітний час РУІС – час від моменту виявлення цілі до моменту передачі інформації цілевказання на вогневі засоби; якість інформації про повітряні цілі; та ін.

Усі ці показники є частковими і можуть використовуватися на етапі планування застосування РУІС ППО для обрання найбільш раціонального варіанту побудови її структури.

Основною ж метою функціонування розвідувально-управляючої інформаційної системи ППО є складання, на основі виявленої картини повітряної обстановки, плану закріплення цілей із складу удару за боеготовими вогневими комплексами ППО із складу угруповання, управління яким здійснюється, тобто плану цілерозподілу (ЦР) [8]. Ступінь ефективності виконання бойового завдання угрупованням ППО при обраному плані ЦР визначається показником якості ЦР. Як правило, задачі ЦР вирішуються методами математичного програмування.

Задача математичного програмування у загальному вигляді формулюється так [3, 6].

Якість функціонування деякої системи описується функцією $F(V, S, X)$ залежно від вектора параметрів зовнішнього середовища V , вектора нерегульованих внутрішніх параметрів системи S і вектора керованих змінних X .

Набір векторів $\{V, S, X\}$ однозначно визначає стан системи.

У загальному випадку вектор керованих змінних може змінюватися у деякій області, що описується системою нерівностей

$$f_i(X) \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, d. \quad (1)$$

Метою управління системою є переведення її у такий стан $\{V, S, X^*\}$, при якому функція $F(V, S, X)$ набуває максимального (мінімального) значення.

Отже, задачу оптимізації функціонування системи можна сформулювати так: знайти вектор X^* , що максимізує (мінімізує) функцію $F(V, S, X)$ і задовольняє умовам (1).

Розглянемо математичне формулювання задачі ЦР за критеріями максимуму математичного споді-

вання кількості знищених цілей і максимуму ймовірності поразення всіх цілей.

Математичне формулювання задачі цілерозподілу за критерієм максимуму математичного сподівання кількості знищених цілей. Нехай у зоні вогню угруповання ППО у складі q вогневих комплексів (ВК), управління якими здійснюється з використанням РУІС, що об'єднує r розвідувальних засобів і n станцій наведення боеприпасів (СНБ), знаходиться m цілей, що підлягають знищенню.

Відома ймовірність P_{igjk} знищення i -ї цілі за розвідувальною інформацією отриманою від g -го розвідувального засобу k -м вогневим комплексом при використанні j -ї станції наведення боеприпасів (СНБ) ($i = 1, 2, \dots, m$; $g = 1, 2, \dots, r$; $k = 1, 2, \dots, q$; $j = 1, 2, \dots, n$).

Уведемо параметр

$$X_{igjk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k\text{-й ВК та } j\text{-та СНБ призначається} \\ & \text{для знищення } i\text{-ї цілі за даними від } g\text{-го} \\ & \text{засобу розвідки РУІС;} \\ 0, & \text{у протилежно му випадку.} \end{cases}$$

Параметр x_{igjk} називається параметром управління ЦР.

Набір $X = \{x_{igjk}\}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $g = 1, 2, \dots, r$; $j = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, q$ утворює матрицю, що складається з нулів та одиниць. Вона повністю визначає варіант ЦР і називається планом ЦР.

У сучасних умовах, коли противник \square промогний забезпечити нанесення ударів з високою щільністю цілей, доцільно обмежувати кількість вогневих впливів по кожній цілі з метою більш раціонального використання наявних боєкомплектів.

Розглянемо ситуацію, при якій вимагається, щоб кожна ціль виявлялася одним засобом розвідки із складу РУІС з метою забезпечення прихованості інших засобів і за результатами ЦР на кожну ціль була призначена одна станція наведення ракет та один ВК. Формальний запис цього обмеження має такий вигляд:

$$\sum_{g=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{igjk} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{igjk} \leq 1, \quad g = 1, 2, \dots, r; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{g=1}^r \sum_{j=1}^n x_{igjk} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, q; \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{g=1}^r \sum_{k=1}^q x_{igjk} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

де m – кількість цілей, що підлягають обстрілу; r – кількість розвідувальних засобів у структурі РУІС; q – кількість ВК; n – кількість СНБ у бойовій конфігурації вогневих засобів ППО.

Формально необхідно також висунути вимогу щодо не негативності значень параметра управління цілерозподілом

$$x_{igjk} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad g = 1, 2, \dots, r; \\ j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (6)$$

З урахуванням обмежень (2) – (6) вираз для розрахунку математичного сподівання кількості знищених цілей має вигляд

$$M(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{g=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q P_{igjk} x_{igjk}. \quad (7)$$

При таких припущеннях задачу ЦР за критерієм максимуму математичного сподівання кількості знищених цілей можна сформулювати так: знайти цілочисловий набір $X^* = \{x_{igjk}^*\}$, що максимізує функцію (7) і задовольняє обмеженням (2) – (6).

Як видно, модель (2) – (7) являє собою чотирихіндексну задачу призначення, методи розв'язання якої викладено у [6].

Математичне формулювання задачі цілерозподілу за критерієм максимуму ймовірності поразення всіх цілей. За умов попередньої задачі ймовірність поразення всіх цілей буде

$$P(X) = \prod_{i=1}^m \prod_{g=1}^r \prod_{j=1}^n \prod_{k=1}^q (P_{igjk})^{x_{igjk}}. \quad (8)$$

При цьому задача цілерозподілу формулюється так: знайти вектор $X^* = \{x_{igjk}^*\}$, що максимізує функцію (8) при обмеженнях (2) – (6).

Покажемо, що ця задача може бути зведена до чотирихіндексної задачі призначення [6]. Уведемо функцію

$$L(X) = \ln P(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{g=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{igjk} \ln P_{igjk}. \quad (9)$$

Оскільки логарифмічне перетворення є монотонним, то справедливим є співвідношення $L(X^{(1)}) > L(X^{(2)})$, якщо $P(X^{(1)}) > P(X^{(2)})$, де $X^{(1)} = \{x_{igjk}^{(1)}\}$ і $X^{(2)} = \{x_{igjk}^{(2)}\}$ – два різних плани ЦР, що задовольняють умовам (2) – (6).

Тому вихідна задача (2) – (6), (8) еквівалентна такій задачі: знайти вектор $X^* = \{x_{igjk}^*\}$, що максимізує функцію (9) при обмеженнях (2) – (6).

Модель (2) – (6), (9) також являє собою чотирихіндексну тетрапросторову задачу призначення, методи розв'язання якої викладено у [6].

Отже, розглянуто дві задачі **цілерозподілу** в угрупованні ППО під управлінням РУІС: за критерієм максимуму математичного сподівання кількості знищених цілей та за критерієм максимуму ймовірності поразення всіх цілей.

Загальною особливістю цих моделей є те, що вони трансформуються до цілочислової чотирихіндексної задачі лінійного програмування з адитивною

цільовою функцією. Така інтерпретація задачі є досить спрощеною і може використовуватися лише за певних умов. Не завжди метою протиповітряного бою є досягнення максимальної кількості знищених цілей. Наприклад, у системах ППО, що призначені для прикриття особливо важливих об'єктів, метою прикриття є недопущення завдання противником критичних ушкоджень об'єкту прикриття. Для виконання такого бойового завдання не обов'язково знищувати всі цілі противника, достатньо забезпечити поразення тих цілей, які безпосередньо загрожують об'єкту. Такими цілями можуть бути групи літаків чи окремі ЗПН противника, що досягли критичної дальності (рубежу виконання завдань), з якої вони можуть завдати удар по об'єкту. В іншому випадку може виникнути ситуація, коли потрібно забезпечити паралельний обстріл противника багатоканальним вогневим комплексом з метою якнайшвидшого його знищення, оскільки ступінь небезпеки цілей з часом, по мірі їх наближення до об'єкту, зростає.

Паралельна робота кількох стрільбових каналів системи по групі цілей, коли критерієм оптимізації є мінімальний час знищення кожної із них, також не дозволяє застосувати адитивні показники.

Разом з тим, у конкретних умовах можна визначити ступінь небезпеки кожної цілі противника і обирати для обстрілу найбільш небезпечні цілі. Однак ступінь загальної небезпеки двох ЗПН противника не може визначатися як сума значень ступенів небезпеки кожного із них. Тому для таких умов більш прийнятними є так звані мінімаксні показники ефективності ЦР.

Враховуючи ці міркування, розглянемо найбільш загальну мінімаксну модель оптимізації цілерозподілу

Мінімаксна модель оптимізації цілерозподілу. Нехай на момент початку циклу ЦР виявлено m цілей, кожна з яких на даний момент часу $t=0$ має цілком певне значення показника її важливості (небезпеки)

$$W_i(t) = W_i^{(0)} + w_i t, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (10)$$

де $W_i^{(0)}$ – початкова небезпека цілі; w_i – швидкість зростання небезпеки цілі.

Якщо ціль у даному циклі ЦР буде знищена k -м ВК та j -ю СНБ за даними g -го засобу розвідки РУІС, то її небезпека з імовірністю P_{igjk} стане рівною нулю. У протилежному випадку важливість (ступінь небезпеки) цілі з імовірністю $Q_{igjk} = 1 - P_{igjk}$ збільшиться залежно від інтенсивності росту значення показника небезпеки цілі w_i та часу, витраченого на її обстріл Δt_{igjk} , відповідно до прийнятого плану ЦР, на величину

$$\Delta W_{igjk} = w_i \Delta t_{igjk}. \quad (11)$$

Тоді апостеріорі математичне сподівання значення показника відверненої небезпеки i -ої цілі визначиться формулою

$$\begin{aligned} E_i(X) &= W_i^{(0)} + \sum_{g=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q Q_{igjk} w_i \Delta t_{igjk} x_{igjk} = \\ &= W_i^{(0)} + \sum_{g=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q (1 - P_{igjk}) w_i \Delta t_{igjk} x_{igjk}. \end{aligned} \quad (12)$$

Метою мінімаксного цілерозподілу є пошук такого плану ЦР $X^* = \{x_{igjk}^*\}$, при реалізації якого мінімальна із середніх відвернених небезпек від усіх цілей $\min_{i=1}^m \{E_i(X)\}$ буде найбільшою.

Отже маємо таку математичну модель оптимізації: знайти вектор $X^* = \{x_{igjk}^*\}$, що максимізує функцію

$$\begin{aligned} E(X) &= \min_{i=1}^m \{E_i(X)\} = \\ &= \min_{i=1}^m \left\{ W_i^{(0)} + \sum_{g=1}^r \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q (1 - P_{igjk}) w_i \Delta t_{igjk} x_{igjk} \right\}, \end{aligned} \quad (13)$$

при обмеженнях (2) – (6).

Розглянемо, для прикладу, ситуацію, коли $r = m = n = q = 2$. Тоді вихідні дані задач (2) – (6), (7), (9), (13) можна подати у вигляді табл. 1.

У виродженому випадку для прикладу, що розглядається, коли $m = r = n = q = 2$ нестрогі нерівності можна замінити на рівності. При цьому обмеження (2) – (6) набувають такого вигляду

$$\begin{aligned} x_{1111} + x_{1112} + x_{1121} + x_{1122} + x_{1211} + x_{1212} + \\ + x_{1221} + x_{1222} &= 1, \quad i = 1; \\ x_{2111} + x_{2112} + x_{2121} + x_{2122} + x_{2211} + x_{2212} + \\ + x_{2221} + x_{2222} &= 1, \quad i = 2; \\ x_{1111} + x_{1112} + x_{1121} + x_{1122} + x_{2111} + x_{2112} + \\ + x_{2121} + x_{2122} &= 1, \quad g = 1; \\ x_{1211} + x_{1212} + x_{1221} + x_{1222} + x_{2211} + x_{2212} + \\ + x_{2221} + x_{2222} &= 1, \quad g = 2; \\ x_{1111} + x_{1112} + x_{1211} + x_{2111} + x_{1212} + x_{2112} + \\ + x_{2211} + x_{2212} &= 1, \quad j = 1; \\ x_{1121} + x_{1122} + x_{1221} + x_{2121} + x_{1222} + x_{2122} + \\ + x_{2221} + x_{2222} &= 1, \quad j = 2; \\ x_{1111} + x_{1121} + x_{1211} + x_{2111} + x_{1221} + x_{2121} + \\ + x_{2211} + x_{2221} &= 1, \quad k = 1; \\ x_{1112} + x_{1122} + x_{1212} + x_{2112} + x_{1222} + x_{2122} + \\ + x_{2212} + x_{2222} &= 1, \quad k = 2; \end{aligned} \quad (14)$$

$$x_{igjk} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2; \quad g = 1, 2; \quad j = 1, 2; \quad k = 1, 2.$$

А задачі, у відповідності з введеними показниками, можуть бути сформульовані так.

Для показника математичного сподівання кількості знищених цілей: знайти цілочисловий набір $X^* = \{x_{igjk}^*\}$, що максимізує функцію

$$M(x_{1111}, x_{1112}, x_{1121}, x_{1122}, x_{1211}, x_{1212}, x_{1221}, x_{1222}, x_{2111}, x_{2112}, x_{2121}, x_{2122}, x_{2211}, x_{2212}, x_{2221}, x_{2222}).$$

Для показника ймовірності поразення всіх цілей: знайти цілочисловий набір $X^* = \{x_{igjk}^*\}$, що максимізує функцію

$$L(x_{1111}, x_{1112}, x_{1121}, x_{1122}, x_{1211}, x_{1212}, x_{1221}, x_{1222}, x_{2111}, x_{2112}, x_{2121}, x_{2122}, x_{2211}, x_{2212}, x_{2221}, x_{2222}).$$

Для показника відверненої небезпеки: знайти цілочисловий набір $X^* = \{x_{ijk}\}$, що максимізує функцію $E(x_{1111}, x_{1112}, x_{1121}, x_{1122}, x_{1211}, x_{1212}, x_{1221}, x_{1222}, x_{2111}, x_{2112}, x_{2121}, x_{2122}, x_{2211}, x_{2212}, x_{2221}, x_{2222})$.

Всі рішення сформульованих задач повинні задовольняє обмеженню (14).

Виходячи з умов (14) існує лише 8 потенційно ефективних варіантів цілерозподілу (табл. 2).

Тому для прийняття рішення потрібно порівняти значення цільових функції серед цих восьми варіантів і обрати варіант, для якого це значення є найбільшим.

Вихідні дані для складання формул розрахунків значень цільових функцій $M(X)$, $L(X)$, $E(X)$ наведені в табл. 3.

Таблиця 1

Вихідні дані задачі

| i | g | j | Імовірність пораження | | Імовірність непораження цілі | | Початкова важливість цілі | Швидкість зростання небезпеки цілі | Час, що витрачається на обстріл цілі | | Змінні | |
|---|---|---|-----------------------|------------|------------------------------|------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------|------------|
| 1 | 1 | 1 | P_{1111} | P_{1112} | Q_{1111} | Q_{1112} | $W_1^{(0)}$ | w_1 | Δt_{1111} | Δt_{1112} | x_{1111} | x_{1112} |
| 1 | 1 | 2 | P_{1121} | P_{1122} | Q_{1121} | Q_{1122} | $W_1^{(0)}$ | w_1 | Δt_{1121} | Δt_{1122} | x_{1121} | x_{1122} |
| 1 | 2 | 1 | P_{1211} | P_{1212} | Q_{1211} | Q_{1212} | $W_1^{(0)}$ | w_1 | Δt_{1211} | Δt_{1212} | x_{1211} | x_{1212} |
| 1 | 2 | 2 | P_{1221} | P_{1222} | Q_{1221} | Q_{1222} | $W_1^{(0)}$ | w_1 | Δt_{1221} | Δt_{1222} | x_{1221} | x_{1222} |
| 2 | 1 | 1 | P_{2111} | P_{2112} | Q_{2111} | Q_{2112} | $W_2^{(0)}$ | w_2 | Δt_{2111} | Δt_{2112} | x_{2111} | x_{2112} |
| 2 | 1 | 2 | P_{2121} | P_{2122} | Q_{2121} | Q_{2122} | $W_2^{(0)}$ | w_2 | Δt_{2121} | Δt_{2122} | x_{2121} | x_{2122} |
| 2 | 2 | 1 | P_{2211} | P_{2212} | Q_{2211} | Q_{2212} | $W_2^{(0)}$ | w_2 | Δt_{2211} | Δt_{2212} | x_{2211} | x_{2212} |
| 2 | 2 | 2 | P_{2221} | P_{2222} | Q_{2221} | Q_{2222} | $W_2^{(0)}$ | w_2 | Δt_{2221} | Δt_{2222} | x_{2221} | x_{2222} |
| k | | | 1 | 2 | 1 | 2 | | | 1 | 2 | 1 | 2 |

Таблиця 2

Можливі варіанти планів цілерозподілу в РУІС

| Змінні | | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 |
|------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| x_{1111} | x_{1112} | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| x_{1121} | x_{1122} | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| x_{1211} | x_{1212} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| x_{1221} | x_{1222} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| x_{2111} | x_{2112} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| x_{2121} | x_{2122} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| x_{2211} | x_{2212} | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| x_{2221} | x_{2222} | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Таблиця 3

Вихідні дані для складання формул розрахунків значень цільових функцій $M(X)$, $L(X)$, $E(X)$

| i | g | j | k | x_{igjk} | $P_{igjk}x_{igjk}$ | $x_{igjk} \ln P_{igjk}$ | $Q_{igjk} w_i \Delta t_{igjk} x_{igjk}$ |
|---|---|---|---|------------|--------------------|-------------------------|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | x_{1111} | $P_{1111}x_{1111}$ | $x_{1111} \ln P_{1111}$ | $Q_{1111} w_1 \Delta t_{1111} x_{1111}$ |
| 1 | 1 | 1 | 2 | x_{1112} | $P_{1112}x_{1112}$ | $x_{1112} \ln P_{1112}$ | $Q_{1112} w_1 \Delta t_{1112} x_{1112}$ |
| 1 | 1 | 2 | 1 | x_{1121} | $P_{1121}x_{1121}$ | $x_{1121} \ln P_{1121}$ | $Q_{1121} w_1 \Delta t_{1121} x_{1121}$ |
| 1 | 1 | 2 | 2 | x_{1122} | $P_{1122}x_{1122}$ | $x_{1122} \ln P_{1122}$ | $Q_{1122} w_1 \Delta t_{1122} x_{1122}$ |
| 1 | 2 | 1 | 1 | x_{1211} | $P_{1211}x_{1211}$ | $x_{1211} \ln P_{1211}$ | $Q_{1211} w_1 \Delta t_{1211} x_{1211}$ |
| 1 | 2 | 1 | 2 | x_{1212} | $P_{1212}x_{1212}$ | $x_{1212} \ln P_{1212}$ | $Q_{1212} w_1 \Delta t_{1212} x_{1212}$ |
| 1 | 2 | 2 | 1 | x_{1221} | $P_{1221}x_{1221}$ | $x_{1221} \ln P_{1221}$ | $Q_{1221} w_1 \Delta t_{1221} x_{1221}$ |
| 1 | 2 | 2 | 2 | x_{1222} | $P_{1222}x_{1222}$ | $x_{1222} \ln P_{1222}$ | $Q_{1222} w_1 \Delta t_{1222} x_{1222}$ |
| 2 | 1 | 1 | 1 | x_{2111} | $P_{2111}x_{2111}$ | $x_{2111} \ln P_{2111}$ | $Q_{2111} w_2 \Delta t_{2111} x_{2111}$ |
| 2 | 1 | 1 | 2 | x_{2112} | $P_{2112}x_{2112}$ | $x_{2112} \ln P_{2112}$ | $Q_{2112} w_2 \Delta t_{2112} x_{2112}$ |
| 2 | 1 | 2 | 1 | x_{2121} | $P_{2121}x_{2121}$ | $x_{2121} \ln P_{2121}$ | $Q_{2121} w_2 \Delta t_{2121} x_{2121}$ |
| i | g | j | k | x_{igjk} | $P_{igjk}x_{igjk}$ | $x_{igjk} \ln P_{igjk}$ | $Q_{igjk} w_i \Delta t_{igjk} x_{igjk}$ |
| 2 | 1 | 2 | 2 | x_{2122} | $P_{2122}x_{2122}$ | $x_{2122} \ln P_{2122}$ | $Q_{2122} w_2 \Delta t_{2122} x_{2122}$ |
| 2 | 2 | 1 | 1 | x_{2211} | $P_{2211}x_{2211}$ | $x_{2211} \ln P_{2211}$ | $Q_{2211} w_2 \Delta t_{2211} x_{2211}$ |
| 2 | 2 | 1 | 2 | x_{2212} | $P_{2212}x_{2212}$ | $x_{2212} \ln P_{2212}$ | $Q_{2212} w_2 \Delta t_{2212} x_{2212}$ |
| 2 | 2 | 2 | 1 | x_{2221} | $P_{2221}x_{2221}$ | $x_{2221} \ln P_{2221}$ | $Q_{2221} w_2 \Delta t_{2221} x_{2221}$ |
| 2 | 2 | 2 | 2 | x_{2222} | $P_{2222}x_{2222}$ | $x_{2222} \ln P_{2222}$ | $Q_{2222} w_2 \Delta t_{2222} x_{2222}$ |

Простота формул, які отримуються для розв'язання сформульованих в прикладі задач, зумовлена низькою розмірністю задач ($2 \times 2 \times 2 \times 2$). Для загального випадку потрібно будувати спеціальний обчислювальний алгоритм і реалізувати його на ЕОМ.

Сформульовані задачі належать до класу задач цілочислового лінійного програмування, які називаються чотирьохіндексними задачами призначення.

Алгоритми розв'язання перших двох задач розглянуто у [6]. Алгоритм розв'язання третьої задачі може бути побудований на основі методу гілок і меж, сутність якого також викладено у [6].

Висновки

Таким чином, часткові показники, значення яких дозволяють оцінити розвідувально-управляючу інформаційну систему ППО можливо розділити на показники, які характеризують структуру та показники, які характеризують якість створеної РУІС. Ефективність же функціонування розвідувально-управляючої інформаційної системи протиповітряної оборони повинна оцінюватись в залежності від ступеня ефективності виконання бойового завдання у групуванням ППО, управління яким здійснюється з використанням РУІС. При цьому ефективність виконання бойового завдання даним у групуванням може бути оцінена з використанням показників якості цілерозподілу, за які можуть бути прийняті математичне сподівання кількості знищених цілей, ймовірність поразення всіх цілей або мінімальна із середніх відвернених небезпек від усіх цілей. В якості критеріїв оптимальності функціонування РУІС ППО можуть бути обрані максимуми перелічених показників.

Список літератури

1. Довідник з протиповітряної оборони / А.М. Торопчин, І. О. Романенко, Ю. Г. Данник та ін. – К.: МО України; Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
2. Кириченко І.О. Визначення поняття “інформації

но-бойовий простір”, змісту та ролі його складових елементів для досягнення перемоги у воєнних конфліктах XXI століття / І.О. Кириченко, С.П. Ярош // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2011. – № 4 (28). – С. 102-108.

3. Кириченко І.О. Війна і математика: Елементи теорії складних бойових систем: моногр. / І.О. Кириченко, Ю.В. Наливайко. – Х.: Академія ВВ МВС України, 2012. – 260 с.

4. Кириченко І.О. Принципи створення та організації функціонування розвідувально-управляючих інформаційних систем ППО / І.О. Кириченко, С.П. Ярош // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2011. – № 1 (5). – С. 28-36.

5. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку) : монографія / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин та ін. – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.

6. Раскин Л.Г. Многоиндексные задачи линейного программирования (теория, методы, приложения) / Л.Г. Раскин, І.О. Кириченко. – М.: Радио и связь, 1982. – 240 с.

7. Синтез адаптивных структур систем зенитного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка їх ефективності (теорія, практика, тенденції розвитку): моногр. / А.Я. Торопчін, І.О. Кириченко, М.О. Єрмошин та ін. – Х.: ХУПС, 2006. – 348 с.

8. Ярош С.П. Алгоритмізація процесу управління воєнним / С.П. Ярош // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2010. – № 1(21). – С. 209-212.

9. Ярош С.П. Визначення показників для оцінювання ступеня впливу інформаційних мереж на організацію управління військами в єдиному інформаційному просторі / С.П. Ярош // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 4 (26). – С. 32-40.

10. Ярош С.П. Обґрунтування показників для оцінки важливості елементів структури системи управління / С.П. Ярош // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 1 (27). – С. 170-176.

11. Dekker A.H. Applying the FINC (Force, Intelligence, Networking and C2) Methodology to the Land Environment / A.H. Dekker. – Edinburgh: DSTO Information Sciences Laboratory, October 2002. – 52 p.

Надійшла до редколегії 27.04.2012

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ

И.А. Кириченко, С.П. Ярош

В статье обосновываются показатели и критерии для оценивания степени эффективности выполнения боевой задачи группировкой ПВО в зависимости от эффективности функционирования разведывательно-управляющей информационной системы ПВО.

Ключевые слова: целераспределение; разведывательно-управляющая информационная система; противовоздушная оборона; огневой комплекс; разведка; показатель; функция.

SUBSTANTIATION OF METRICS AND CRITERIA EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF THE INFORMATION SYSTEM OF INTELLIGENCE AND CONTROLLING OF ANTI-AIRCRAFT DEFENSE

I.O. Kirichenko, S.P. Yarosh

In article metrics and criteria for an estimation of degree of efficiency of performance of a combat mission by grouping of air defense depending on efficiency of functioning of information system of intelligence and controlling of air defense are proved.

Keywords: distribution of targets; the information system of intelligence and controlling, anti-aircraft defense, fire complex; intelligence; metric; function.