

УДК 355.40

В.Ф. Курдюк, О.С. Заблоцький

Військова частина А1906

## ПОГЛЯДИ ЩОДО АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ СИЛ І ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА

*Стаття присвячена аналітичній моделі оцінювання ефективності бойового застосування сил і засобів розвідки повітряного противника. Запропонована математична постановка вирішення задачі багатокриптеріальної ідентифікації у класі поліноміальних моделей, параметри яких розраховуються за допомогою методу найменших квадратів у мінімакській постановці задачі.*

**Ключеві слова:** розвідка повітряного противника, функціональна стійкість, бойове застосування, математична аналітична модель.

### Вступ

У ХХІ столітті з'явилася тенденція щодо стирання відмінностей між станом війни і миру. Війни не оголошуються, а почавшись – ідуть не за відомими шаблонами. Досвід воєнних конфліктів у Північній Африці та на Близькому Сході свідчить, що досить успішна держава за місяці, навіть тижні, може перетворитися в арену збройної боротьби, стати жертвою іноземної інтервенції, поринути у хаос гуманітарної катастрофи та громадянської війни. Ідеологія ведення війн суттєво змінилася. Зросла роль невоєнних способів досягнення політичних цілей, які за своєю ефективністю значно перебільшують силу зброї. Підтвердженням тому є ситуація в нашій державі, що пов'язана з анексією та окупацією Російською Федерацією Криму і ведення асиметричної збройної боротьби у східних областях.

Прийняття рішень на вибір раціонального варіанта способу бойового застосування угруповання сил та засобів розвідки повітряного противника у різних умовах безпосередньо залежить від ступеня адекватності аналітичної й імітаційної моделі оцінювання ефективності бойового застосування угру-

повання сил і засобів розвідки повітряного противника (РПП). Тому завдання розробки аналітичної моделі оцінювання ефективності сил і засобів РПП, максимально сучасній обстановці і застосування сучасних засобів повітряного нападу і є досить важливим. Результати вирішення даного завдання обумовлюють кінцевий результат вибору раціонального варіанта способу бойового застосування РПП. Загальною властивістю реальних угруповань сил і засобів РПП є наявність складної ієрархічної структури, а також наявність причинно-наслідкових зв'язків між підсистемами, розрахунок функціональних залежностей між якими вирішується методами теорії ідентифікації. Інколи реальне угруповання може бути представлене лінійними функціональними залежностями. Тому побудувати математичну модель оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП, що ізоморфно відображає всі її характеристики і властивості, фактично неможливо. На практиці досить обмежитися такою моделлю, що у заданих умовах відображає з достатньою для вирішення задач оптимізації способів бойового застосування угруповання сил і засобів РПП точністю лише ту частину властивостей реального

угруповання, що мають відношення до вирішення поставленої задачі [1, 2].

**Метою статті** є побудова математичної моделі оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП

### Основний матеріал

Модель, в якій всі критерії якості отримані з прийнятною точністю являє собою досить складну математичну, багатокритеріальну задачу. При цьому одні критерії можуть розраховуватися порівняно достовірно, у інших похибки можуть сягати багатьох десятків відсотків. Саме така ситуація найбільш типова і правдоподібна. Важливо знати кількісну оцінку адекватності аналітичної й імітаційної моделей оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП, щоб нікого не вводили в оману отриманими результатами оптимізації способів бойового застосування угруповання сил і засобів РПП. Слід зазначити, що аналітична модель може розраховуватися різними математичними методами, адекватність яких оцінюється різними критеріями, що не дає змогу порівняти різні моделі і вибрати найбільш прийнятну за суб'єктивно обраним дослідником критерієм чи за їх сукупністю деяку аналітичну згортку [3].

Для реального угруповання сил і засобів РПП збіг аналітичної моделі з експериментальними даними за одним показником не дає підстави довіряти моделі за іншими показниками.

Вирішення питання, наскільки повно математична модель оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП відповідає експериментальним даним, отриманим за імітаційною методикою, може забезпечити вирішення задачі ідентифікації на основі багатокритеріальної оцінки адекватності теоретичних і експериментальних даних, для різних структурних варіантів побудови математичної моделі оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП.

Вирішення цієї задачі дає змогу вибрати кращий структурний варіант моделі, а, отже, вирішити задачу структурного синтезу аналітичної моделі. Параметричний синтез вирішує досить важливу, але тільки одну задачу – підборі параметрів вже обраної структури моделі відповідно до заданого критерію (наприклад, мінімум квадрата відхилення експериментальних даних від теоретичної поліноміальної моделі, що розраховується).

Розглянемо основні особливості багатокритеріальної постановки задачі вирішення проблеми ідентифікації моделі оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП.

Більшість публікацій, присвячених питанням теорії ідентифікації [3, 4], описує порівняно прості

задачі, де викладено методи їхнього вирішення, засновані на однокритеріальних підходах. У них, як правило, передбачається, що досліджувана система адекватно описується математичною моделлю, у якій частина параметрів невідома. Необхідно мінімізувати деякий функціонал вигляду

$$\psi = \psi[\varepsilon(a)],$$

де  $\varepsilon(a)$  – узагальнена помилка аналітичної моделі, що описує ефективність бойових дій угруповання сил і засобів ППО,  $\alpha$  – вектор оцінюваних параметрів. Для цих цілей можуть використовуватися такі критерії, як мінімум зваженого середньоквадратичного значення  $\varepsilon(a)$ , критерій максимальної правдоподібності, мінімум середнього ризику тощо. Слід зазначити, що значення функціонала  $\varepsilon(a)$  може виявитися як завгодно малою величиною, водночас неузгодженість з важливих локальних критеріїв – значного, а то і просто неприпустимого. Виходом з цього становища є використання багатокритеріального підходу до оцінювання адекватності теоретичних і експериментальних даних шляхом урахування декількох, найбільш важливих локальних критеріїв близькості, кількість яких може доходити до десяти, залежно від складності угруповання сил і засобів РПП, що досліджується.

Такий багатокритеріальний підхід необхідний, насамперед для об'єктивного, багатокритеріального визначення ступеня адекватності аналітичної й імітаційної моделі оцінювання ефективності бойових дій угруповання сил і засобів ППО, його також слід використовувати для оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП, як складової частини.

У загальному випадку математична аналітична модель, яка одержана в процесі вирішення задачі ідентифікації імітаційної моделі оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП, характеризується двома видами параметрів: структурними і внутрішньоструктурними.

Позначимо через  $G_{iq} = \{R_{sq}, A_{psi} \mid$  вектор параметрів, що цілком описують аналітичну модель в  $q$ -му класі аналітичних моделей для  $i$ -го варіанта моделі, де  $R_{sqi} = \{r_{1si}, r_{2si}, \dots, r_{rsi} \mid$  – вектор структурних параметрів  $i$ -го варіанта аналітичної моделі в  $q$ -м класі;  $A_{sqi} = \{a_{1si}, a_{2si}, \dots, a_{rsi} \mid$  – вектор внутрішньоструктурних параметрів  $i$ -го варіанта аналітичної моделі для  $s$ -ї структури в  $q$ -му класі аналітичних моделей.

Нехай  $F_k(G_i)$  – експериментальне значення  $k$ -го показника ефективності бойових дій угруповання сил і засобів ППО, значення якого обмірювані експериментально за допомогою математичного моделювання за розглянутою вище імітаційною мо-

деллю,  $F_k^a(G_i)$  – значення  $k$ -го показника ефективності бойових дій угруповання сил і засобів ППО, значення якого розраховані аналітично для  $i$ -го варіанта моделі. Нехай

$$\left| \begin{array}{l} S_1[F_1(G_i) - F_1^a(G_i)], \\ S_2[F_2(G_i) - F_2^a(G_i)], \dots, S_k[F_k(G_i) - F_k^a(G_i)] \end{array} \right| -$$

векторний критерій адекватності показників ефективності, отриманих експериментально і шляхом обчислення на  $i$ -му варіанті аналітичної моделі.

Функції  $S_k^*$  можуть виступати як статистичні, так і евристичні функції, що характеризують ступінь збігу експериментальних і розрахункових критеріїв ефективності.

Математична постановка вирішення задачі багатокритеріальної ідентифікації у класі поліноміальних моделей, параметри яких розраховуються за допомогою методу найменших квадратів у міні-максній постановці задачі має такий вигляд:

$$G_{opt} = \{G_i \mid G_i \in R_n^{n_0} \wedge G_i = \arg \{ \max_i \{ \sum_{j=1}^{k_1} \lambda_j \zeta[S_j(G_i)] \} \wedge \sum_{j=1}^{k_1} \lambda_j = 1 \} \}, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_b, j = 1, 2, \dots, k_1$$

$$A_{popt} = \arg \left\{ \sum_{i_1=0}^{N-1} \left[ \sum_{r=0}^k F_k(G_{i_1}) - F_k^a(G_{i_1}) \right]^2 \Rightarrow \min \right\}; \quad (2)$$

$$S_k[F_k(G_i) - F_k^a(G_i)] < \Phi_u^*, u = 1, 2, \dots, U, \quad (3)$$

$$a_s^* r_{si} < a_s^{**}, \quad (4)$$

$$r_a^* < R_u(r_{si}) < r_a^{**}; \quad (5)$$

$$F_k^a(G_i) = a_0 + a_1 w_1^{g_1} + a_2 w_2^{g_2} + \dots + a_n w_n^{g_n}, \quad (6)$$

де  $a_j^*, a_j^{**}$  – обмеження на структурні параметри аналітичної моделі;  $\Phi_u^*$  – припустимі критеріальні обмеження, що визначаються в процесі ідентифікації параметрів аналітичної моделі оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП. Вони визначають ступінь адекватності експериментальних даних імітаційній моделі (чи реальній системі) і результатів, отриманих за допомогою аналітичної моделі;  $r_a^* < R_u(r_{si}) < r_a^{**}$  – функціональні обмеження на структурні параметри.

Безліч варіантів побудови аналітичної моделі, що задовольняють умови [5], відноситься до припустимої безлічі варіантів  $D_\partial$ . Відповідно до принципів багатокритеріальної оптимізації та частина безлічі  $D_\partial$ , структурні параметри  $R_{si} = \{r_{1si}, r_{2si}, \dots, r_{rsi}\}$  для якого не можуть бути поліпшені критерії адекватності  $\Delta S_k(G_i)$  без погіршення хоча б одного

критерію складають множину оптимальних за Парето варіантів вирішення задачі ідентифікації  $D_n$ .

Якщо вирішення задачі ідентифікації визначено коректно, то в результаті має бути отримана непорожня множина  $D_n$ . Інакше  $D_n$  порожня множина. Це може бути в тому випадку, якщо синтезована модель не відбиває основних властивостей угруповання сил і засобів ППО, тобто хоча б за одним чи декількома основними критеріями адекватності значення вектора  $S_k(G_i)$  неприпустимо більше вектора  $\Phi_u^*$ , що дає змогу уникнути результат ідентифікації як незадовільний.

Тому найважливішою задачею багатокритеріальної ідентифікації є знаходження аналітичних моделей, для яких множина  $D_n$ , непорожня, а також вибір такого варіанта, адекватність якого в якомусь (суб'єктивному) сенсі як найкраще відповідала експериментальним даним.

Вектор параметрів моделі  $G_{iopt} \mid R_s A_p \in D_n$ , належний множині Парето і визначений за допомогою деякого вирішальною (суб'єктивного) правила  $\psi$  як найкращий, будемо вважати адекватно оптимальним варіантом вирішення задачі ідентифікації імітаційної моделі оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП.

Слід зазначити, що неоднозначність синтезу параметрів моделі (якщо в паретооптимальну множину входить більше одного варіанта) потрібно розглядати, як плату за бажання синтезувати аналітичну модель, якість якої оцінюється різноманітними критеріями, а також за неповноту представлення угруповання сил і засобів РПП у вигляді спрощеної аналітичної моделі.

Як критерії  $S_k(G_i)$  можуть використовуватися статистичні непараметричні критерії згоди Колмогорова, Смирнова, Реньї і Мізеса.

## Висновки

Ці критерії можуть використовуватися для вирішення багатокритеріальної ідентифікації імітаційних моделей оцінювання ефективності бойового застосування угруповання сил і засобів РПП чи реальних угруповань, що дає змогу оцінити адекватність експериментальних і розрахункових даних і вибрати такий варіант вирішення задачі ідентифікації, що за сукупністю показників адекватності є найкращим.

Досвід практичного використання алгоритмів, що реалізують даний підхід до вирішення задачі дасть можливість підвищити ефективність бойового застосування угруповання сил і засобів РПП у 1.5 – 1.7 рази в порівняно з однокритеріальними методами ідентифікації.

## Список літератури

1. Уроки и выводы войны в Ираке / Г.А. Березкин, В.В. Барвиненко, В.А. Мельшиков, М.А. Гареев, А.Д. Цыганюк, А.Л. Корабельников, В.В. Чебан // Военная мысль. – 2003. – № 7-9.
2. Ситнік В.Ф. Системи підтримки прийняття рішень [Текст] / В.Ф. Ситнік – К.: КНЕУ, 2004. – 614 с.
3. Загорка О.М. Визначення форм і способів застосування військ (сил) у локальних війнах і збройних конфліктах: методологічний аспект [Текст] / О.М. Загорка, І.О. Кириченко // Честь і закон. – 2006. – № 4. – С. 17–21.
4. Тихомиров Н.П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: Учебное пособие для вузов / Н.П. Тихомиров, И.М. Потравний, Т.М. Тихомирова [под ред. Н.П. Тихомирова]. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 596 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель – М. Наука, 1969. – 576 с.

Надійшла до редколегії 19.09.2014

Рецензент: д-р військ наук, доц. О.А. Ілляшов, військова частина А 1906.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА

В.Ф. Курдюк, О.С. Заболотский

*Статья посвящена аналитической модели оценки эффективности боевого применения сил и средств разведки воздушного противника. Предложенная математическая постановка решения задачи многокритериальной идентификации в классе полиномиальных моделей. Параметры рассчитываются при помощи метода наименьших квадратов в минимаксной постановке задачи.*

**Ключевые слова:** разведка воздушного противника, функциональная стойкость, боевое применение, математическая аналитическая модель.

## ANALYTICAL MODEL OF THE ESTIMATION TO EFFICIENCY OF THE COMBAT USING OF POWER AND FACILITIES OF THE EXPLORING THE AIR ENEMY

V.F. Kurdyuk, O.S. Zabolotsky

*The Article is dedicated to analytical model of the estimation to efficiency of the combat using of power and facilities of the exploring the air enemy.. It Is Offered mathematical stating the decision of the problem multi-criterial to identifications in class of the polynomial models. Parameters pay at method least square in minimum statement of the problem.*

**Keywords:** exploring the air enemy, functional stability, combat using, mathematical analytical model.