

УДК 629.7.017

А.Г. Дмитрієв

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РОЗРОБКА КВАЛІМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВІАЦІЙНОГО ОЗБРОЄННЯ ТАКТИЧНОГО ВИНИЩУВАЧА

Розроблена кваліметрична модель для оцінювання властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача за допомогою методу факторного аналізу. За допомогою відповідної моделі можливо оцінити внесок властивостей авіаційного озброєння у коефіцієнт бойового потенціалу тактичного винищувача при виконанні задач по знищенню повітряних цілей.

Ключеві слова: узагальнений показник якості, коефіцієнт бойового потенціалу, бойовий авіаційний комплекс, факторний аналіз, кваліметрична модель.

Вступ

Постановка задачі. Аналіз останніх матеріалів. Методи оцінювання бойових властивостей займають одне з ключових місць при розробці пропозицій щодо концепції та основних напрямів розвитку БАТ. При цьому, однією з найважливіших вимог до методів оцінювання бойових властивостей тактичного літака є їх спроможність враховувати основні відмінні риси альтернативних варіантів сукупності показників та ТТХ, які, у свою чергу, обумовлені впровадженням останніх досягнень науково-технічного прогресу у військово-авіабудування [1].

Існуючі методичні підходи характеризуються суттєвим обмеженням щодо урахування властивостей перспективного тактичного винищувача (ТВ) і недостатньою кількістю факторів, на яких базуються відповідні кваліметричні моделі для оцінювання коефіцієнтів бойового потенціалу $K_{\text{бп}}$ БАК у знищенні повітряних цілей [1 – 3].

Результати аналізу відомих кваліметричних моделей бойових літаків тактичної авіації, методик оцінювання бойових (і особливо, винищувальних) властивостей тактичних винищувачів, свідчать про наявність невідповідності між сучасним рівнем розвитку кваліметричних моделей винищувальних властивостей бойових літаків та відмінними рисами найсучасніших та перспективних зразків БАТ [2 – 5].

Внаслідок цього, методи оцінювання бойових властивостей тактичних літаків є нечутливими до їх відмінних рис та непридатними для використання при розв'язуванні практичних задач з обґрунтування раціональних типажу та кількості бойових літаків в складі парків БАТ тактичної авіації в ході формування напрямів розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил держави.

Тому, наявність названої невідповідності обумовлює актуальність та практичну значущість проведення досліджень по удосконаленню методу оцінювання винищувальних властивостей ТВ, а саме, розробки кваліметричної моделі для оцінювання

властивостей авіаційного озброєння, як складової відповідного методу.

Метою даної статті є розробка кваліметричної моделі для оцінювання показника властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача за допомогою методів факторного аналізу.

Основний матеріал

Формування груп властивостей ТВ, що визначають його спроможність діяти за призначенням проводилось в роботах [2, 4 – 8].

З урахуванням отриманих результатів, за даними вищезазначених джерел інформації, використовуючи вже отримані результати експертного оцінювання ваги часткових показників якості було отримано адитивну виважену згортку показників для розрахунку узагальненого показника якості – $K_{\text{бп}}$ ТВ у вирішенні задач знищення повітряних цілей [7]:

$$K_{\text{бпов}} = 0,33K_{\text{т-г}} + 0,11K_{\text{ат}} + 0,2688K_{\text{АОз}} + 0,2016K_{\text{маневр}} + 0,0896K_{\text{прнк}}, \quad (1)$$

де $K_{\text{т-г}}$ – показник просторово-часових властивостей літака;

$K_{\text{ат}}$ – показник властивостей літака, що визначає його здатність атакувати ціль;

$K_{\text{АОз}}$ – показник властивостей авіаційного озброєння літака;

$K_{\text{ман}}$ – показник маневрених властивостей літака;

$K_{\text{прнк}}$ – показник властивостей прицільно-навігаційного комплексу літака.

Відповідні показники за існуючим алгоритмом [2] складають групи властивостей, в межах яких будуються "гілки" дерева властивостей ТВ.

Значення показника властивостей авіаційного озброєння ТВ, у свою чергу, буде залежати від певного набору ТТХ нижчого рівня ієрархії.

Отже, група властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача, яка визначає його здатність уражати типові повітряні цілі, буде описувати-

ся бойовими характеристиками авіаційними засобами ураження (АЗУ) в складі відповідних варіантів озброєння літака.

До таких характеристик [4, 5, 9, 10] відносяться:

- кількість та номенклатура авіаційних керувань ракет класу "повітря-повітря" в варіантах озброєння (n_p);
- дальності результативного пуску авіаційних керувань ракет класу "повітря-повітря" (D^{n-p});
- кількість водночас обстрілюваних цілей ($n_{кат}$);
- бойовий комплект та калібр авіаційного гарматного озброєння ($N_{гарм}$, $D_{гарм}$).

Тоді можливо вважати, що визначена група властивостей ТВ, описуються набором невідомого вигляду функції, а саме:

$$K_{AO_3} = f_{AO_3}(n_p, D^{n-p}, n_{кат}, N_{гарм}, D_{гарм}). \quad (2)$$

Множина факторів для побудови кваліметричної моделі оцінювання властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача буде складатися з п'яти показників (елементів множини факторів), а саме:

$$F \in \{n_p, D^{n-p}, n_{кат}, N_{гарм}, D_{гарм}\}. \quad (3)$$

Для того, щоб отримати кількісну оцінку K_{AO_3} (показника властивостей авіаційного озброєння ТВ), необхідно встановити конкретний вигляд виразу (2). Здійснити це можна в декілька способів.

Одним з них є відповідна обробка накопиченого матеріалу про реалізовані в світовій практиці проекти тактичних винищувачів, за допомогою методів апроксимації кратними функціями [1, 2, 8].

Для побудови залежності показника властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача K_{AO_3} від визначених факторів складалась базова вибірка статистичного матеріалу за результатами аналізу ретроспективи відповідного парку літальних апаратів [2 – 10].

Паралельно з формуванням вибірок, визначаються варіанти вигляду форм моделей, які будуть розглядатися в якості претендентів на остаточні види залежностей. При цьому, необхідно звернути увагу на існуючі та обумовлені досвідом побудови кваліметричних моделей в такий спосіб рекомендації щодо вибору вигляду моделі з безлічі можливих варіантів відносно простих їх форм – а саме лінійної, та неповної квадратичної [2].

Було сформовано шістнадцять альтернативних форм кваліметричної моделі для оцінювання показника властивостей авіаційного озброєння ТВ для кожної з яких було визначено значення невідомих коефіцієнтів при факторах.

Результати перевірки точності апроксимації на контрольній вибірці за обраною системою критеріїв (максимальна відносна помилка розрахунків на інтервалі інтерполяції та вірність знаків часткових похідних по факторах) наведені на рис. 1.

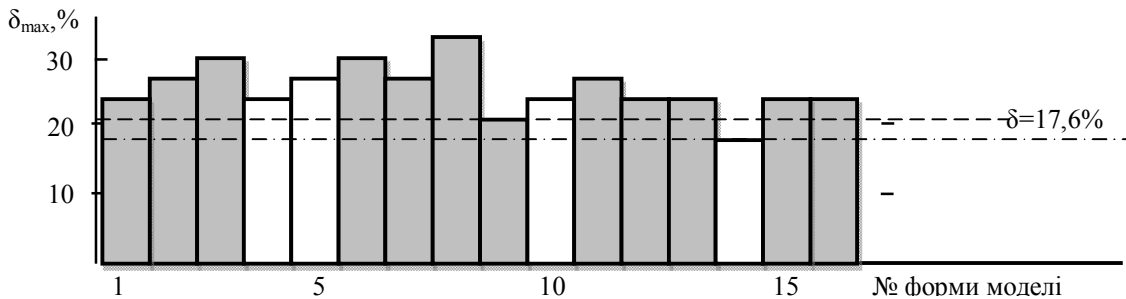


Рис. 1. Результати перевірки точності апроксимації різними формами моделі на контрольній вибірці

З наведених даних видно, що з всієї сукупності генерованих форм моделей критерію поведінки часткових похідних відповідає тільки 4 форми (не зафарбовані прямокутники). При цьому з них тільки одна характеризується на контрольній вибірці мак-

симальним значенням відносної похибки менше ніж 20% (форма 14).

Отже, доцільно рекомендувати наступний вигляд кваліметричної моделі для оцінювання показника властивостей авіаційного озброєння ТВ:

$$\begin{aligned}
 K_{AO_3} = & -0,096 + 0,324 \overline{n_p} + 0,282 \overline{D^{n-p}} + 0,01 \overline{\ln n_{кат}} - 0,0188 \overline{N_{гарм}} + 0,16 \overline{D_{гарм}} + 0,00005 \overline{n_p} \overline{D^{n-p}} + \\
 & + 0,00067 \overline{n_p} \overline{n_{кат}} + 0,0000002 \overline{n_p} \overline{N_{гарм}} + 0,0000008 \overline{\ln n_{кат}} \overline{D_{гарм}} + 0,0000043 \overline{D^{n-p}} \overline{n_{кат}} + \\
 & + 0,0000055 \overline{D^{n-p}} \overline{N_{гарм}} + 0,00000077 \overline{D^{n-p}} \overline{D_{гарм}} + 0,000000 \overline{\ln n_{кат}} \overline{N_{гарм}} + 0,00000023 \overline{n_{кат}} \overline{D_{гарм}} + \\
 & + 0,031 \overline{N_{гарм}} \overline{D_{гарм}} - 0,000004 \overline{n_p}^2 - 0,298 \overline{D^{n-p}}^2 - 0,00001 \overline{\ln n_{кат}}^2,
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{де } \overline{n_p} = \frac{n_p}{12}; \quad \overline{N_{гарм}} = \frac{N_{гарм}}{940}; \quad \overline{D_{гарм}} = \frac{D_{гарм}}{30}.$$

Аналіз внеску окремих членів зі складу моделі в показник властивостей авіаційного озброєння є

занадто малим і цими членами можна знехтувати. Тоді можна запропонувати остаточний вигляд кваліметричної моделі для оцінювання показника властивостей авіаційного озброєння ТВ:

– для нормованих факторів:

$$K_{AO_3} = -0,096 + 0,324\overline{n_p} + 0,282\overline{D^{n-p}} + 0,01\overline{n_{кат}} - 0,0188\overline{N_{гарм}} + 0,16\overline{D_{гарм}} + 0,031\overline{N_{гарм} D_{гарм}} - 0,298\overline{D^{n-p}{}^2}; \quad (5)$$

– для ненормованих факторів:

$$K_{AO_3} = -0,096 + 0,027n_p + 0,00166D^{n-p} + 0,00125n_{кат} - 0,00002N_{гарм} + 0,0053D_{гарм} + 0,0000011D_{гарм} N_{гарм} - 0,00001D^{n-p}{}^2. \quad (6)$$

Межі надійної працездатності моделі (6) визначаються діапазоном зміни значень відповідних фак-

торів для контрольної вибірки, а саме:

$$\begin{aligned} n_p &\in [2;12]; \\ n_{кат} &\in [2;8]; \\ n_{кобз} &\in [10;28]; \\ D^{n-p} &\in [18;170] \text{ км}; \\ N_{гарм} &\in [150;940]; \\ D_{гарм} &\in [20;30] \text{ мм}. \end{aligned}$$

Результати перевірки працездатності побудованої кваліметричної моделі (5) – (6) на базі контрольної вибірки наведені в табл. 2.

Максимальна відносна похибка на контрольній вибірці моделей виду (5) – (6) дорівнює 17,5% – у бік заниження розрахункових даних, та 6,5% – у бік завищення. Середня квадратична похибка на контрольній вибірці складає 0,00016, а вірогідна похибка $\pm 0,000108$.

Таблиця 2

Контрольна вибірка та показники точності моделі

Тип ЛА	n_p	$n_{кат}$	D^{n-p} , км	$N_{гарм}$	$D_{гарм}$	$K_{пов., од. МиГ-29}$	K_{AO_3}	$K_{AO_3розр}$	$\delta, \%$
F-15E	8	2	60	512	30	1,235	0,332	0,2872	-13,4%
МиГ-29	6	2	60	150	30	1,0	0,2688	0,286	6,5%
F-16E	8	2	18	515	20	1,015	0,273	0,2542	-6,8%
МиГ-29С	6	2	60	150	30	1,29	0,347	0,286	-17,5%
МиГ-29М	9	4	60	150	30	1,34	0,36	0,367	1,9%
Су-27	10	2	170	150	30	1,255	0,337	0,3204	-4,9%
F/A-18	9	8	50	570	20	1,19	0,3199	0,3185	-3,1%

Поведінка часткових похідних моделей (5) – (6) по факторах, при яких спостерігається негативні знаки коефіцієнтів також свідчить про відповідність закономірності зміни показника властивостей авіаційного озброєння за зміною значення відповідного фактору. Так, часткова похідна залежності показника властивостей (7) по обсягу бойового комплекту має вигляд:

$$\frac{\partial K_{AO_3}}{\partial N_{гарм}} = -0,00002 + 0,0000011D_{гарм}$$

В діапазоні зміни значень калібру авіаційної гармати [20; 30] мм, значення похідної змінюється від +0,000002 до +0,000013, тобто в області інтерполяції спостерігається зростання показника властивості за зростанням обсягу бойового комплекту, що відповідає уявленням про фізичну сутність залежності.

Зміна поведінки даної часткової похідної спостерігається поза межами області інтерполяції при $D_{гарм} \leq 18,2$ мм.

Часткова похідна залежності показника властивостей (6) по фактору дальності пуску ракет класу "повітря-повітря" має вигляд:

$$\frac{\partial K_{AO_3}}{\partial D^{n-p}} = 0,00166 - 0,00002D^{n-p}$$

Поведінка даної похідної свідчить, що зростання дальності пуску ракет класу "повітря-повітря" в умовах виконання завдань по знищенню повітряних цілей призводить до зростання значення показника властивостей авіаційного озброєння. В той же час, спостерігається наявність екстремуму функціональної залежності (6) по даному фактору приблизно при значеннях $D^{n-p} \approx 83$ км, який відповідає локальному максимуму функції (6). За фізичним змістом це може бути пояснено тим, що при масованому застосуванні авіації (для якого призначені відомі значення $K_{БП}$) суттєве зростання дальності пуску ракет дальньої дії (вище зазначеного значення) не надає суттєвої переваги, а лише демаскує групу винищувачів.

Результати перевірки свідчать про задовільну точність описання апроксимуючими залежностями (5) – (6) зміни значення показника властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача за зміною значень обраних факторів, а побудована кваліметрична модель може бути рекомендованою для практичного використання в ході порівняльного оцінювання властивостей авіаційного озброєння різних зразків тактичних винищувачів у визначених межах її працездатності.

ВИСНОВОК

Розроблена кваліметрична модель для оцінювання показника властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача має наступні характеристики точності - відносна похибка на контрольній вибірці не перевищує 17,5%, середня квадратична похибка на контрольній вибірці складає 0,00016, а вірогідна похибка $\pm 0,000108$.

Такі результати перевірки точності побудованої моделі дозволяють рекомендувати для оцінювання показника властивостей авіаційного озброєння тактичного винищувача на практиці, в тому числі для здійснення порівняльного оцінювання сучасних та перспективних тактичних винищувачів.

Список літератури

1. Демидов Б.А. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники: моногр. / Б.А. Демидов, М.И. Луханин, А.Ф. Величко, М.В. Науменко; под ред. Б.А. Демидова. – К.: "Стилос", 2011. – 464 с.
2. Сучасний метод бойових потенціалів в прикладних задачах планування розвитку та застосування тактичної авіації: моногр. / Б.І. Семон, О.Б. Леонтьєв, О.Б. Котов та ін. – К.: НАОУ, 2009. – 336 с.
3. Башиїнський К.В. Критеріальне структурування і формалізація оцінювання вибраної множини альтернатив багатофункціональних бойових авіаційних комплексів /

К.В. Башиїнський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: наук.-техн. ж. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. № 2(8). – С. 25-29.

4. Компанієць О.М. Методика оцінювання коефіцієнту бойового потенціалу літаків тактичної авіації / О.М. Компанієць // Збірник наукових праць ЦНДІ НУ. – 2009. – Вип. 3 (11). – С. 173-176.

5. Обґрунтування шляхів удосконалення методики оцінювання узагальненого показника якості авіаційного комплексу зі спеціальним обладнанням / О.Б. Леонтьєв, В.І. Нікітченко, А.Г. Дмитрієв, О.М. Компанієць // Збірник наукових праць ДНДІА. – 2010. – № 6(13). – С. 79-86.

6. Леонтьєв О.Б. Оцінка бойових можливостей і ефективності бойових авіаційних комплексів при рішенні винищувальних задач / О.Б. Леонтьєв, В.О. Туголуков, К.В. Башиїнський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: наук.-техн. ж. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. №1(7). – С. 25-28.

7. Туголуков В.О. До питання вибору критеріїв ефективності багатофункціонального тактичного винищувача при відбитті нальоту засобів повітряного нападу / В.О. Туголуков, К.В. Башиїнський // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. № 2(92). – С. 162-165.

8. Кондратюк В.К. Методологія оцінки технічного рівня зразків ОВТ на стадії розробки ТТЗ / В.К. Кондратюк, О.Н. Серебровський, В.О. Смірнов // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 1998. – Вип. 1. – С. 58-68.

9. Лисицький П.Е. Боевые авиационные комплексы и их боевая эффективность / П.Е. Лисицький. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1981. – 352 с.

10. Дуров В.Р. Боевое применение и боевая эффективность истребителей-перехватчиков. – М.: Воениздат, 1972. – 280 с.

Надійшла до редколегії 12.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Б. Леонтьєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАЗРАБОТКА КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ АВИАЦИОННОГО ВООРУЖЕНИЯ ТАКТИЧЕСКОГО ИСТРЕБИТЕЛЯ

А.Г. Дмитриев

Разработана кваліметрическая модель для оценивания свойств авиационного вооружения многофункционального тактического истребителя с помощью метода факторного анализа. С помощью данной модели возможно рассчитать коэффициент боевого потенциала многофункционального тактического истребителя.

Ключевые слова: обобщенный показатель качества, коэффициент боевого потенциала, боевой авиационный комплекс, факторный анализ, кваліметрическая модель.

THE DEVELOPMENT OF QUALITATIVE MODELS TO ESTIMATE THE PROPERTIES OF AIRCRAFT ARMAMENT TACTICAL FIGHTER

A.G. Dmitriev

Developed qualitative model for estimating the properties of aircraft armament multi-functional tactical fighter using the method of factor analysis. With the help of this model it is possible to calculate the coefficient of the military capabilities of multipurpose tactical fighter.

Keywords: generalized indicator of quality, the ratio of combat capability and combat aviation complex, factor analysis, qualitative model.