

Д.В. Бердочник, Ю.І. Тригуб

## НАБЛИЖЕНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ШВИДКОСТЕЙ ЗЛЬОТУ ТА ПОСАДКИ НАВЧАЛЬНО-БОЙОВОГО ЛІТАКА ВІД ЙОГО ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

### *Анотація*

*Запропоновано шлях удосконалення існуючої методики порівняльного оцінювання альтернативних типів навчально-бойових літаків для заміни існуючого парку літаків Л-39 шляхом заміни факторів початкового простору кваліметричних моделей визначення навчальних властивостей літака на допоміжні залежності.*

**Ключові слова:** навчально-бойовий літак, порівняльне оцінювання, допоміжні залежності, швидкість зльоту, посадкова швидкість.

### *Abstract*

*A way to improve the existing methodology for comparative evaluation of alternative types of combat trainer aircraft to replace the existing fleet of L-39 aircraft by replacing the factors of the initial space of qualimetric models for determining the training properties of the aircraft with auxiliary dependencies is proposed.*

**Keywords:** combat trainer aircraft, comparative evaluation, auxiliary dependencies, take-off speed, landing speed.

На даний час строк служби існуючого парку навчально-бойових літаків Л-39 наближається до граничного стану після досягнення якого, за визначенням, подальша експлуатація даних літаків заборонена незалежно від їх технічного стану. Тому стає задача вибору альтернативного літака на заміну існуючого парку. Задля вирішення цієї задачі необхідно мати працюючу методику порівняльного оцінювання альтернативних варіантів реактивних навчально-бойових літаків (НБЛ). На даний час існує методика многокритеріального порівняльного оцінювання альтернативних варіантів НБЛ, яка враховує оцінку літака за його прямим призначенням, тобто кількісну оцінку ступеня придатності до використання у льотному навчанні курсантів. Існуюча на даний час методика побудована на використанні кваліметричної моделі навчальних властивостей НБЛ, як формалізованої залежності узагальненого показника ступеня пристосованості літака до базової підготовки курсантів від визначаючих тактико-технічних характеристик літального апарату [1].

Одними із важливих факторів початкового простору існуючих кваліметричних моделей навчальних властивостей є посадкова та злітна швидкості оскільки вони є вирішальними параметрами на важких, з точки зору безпеки польотів, етапів польоту, а саме зльоту на посадці літака. Тому, при виборі альтернативного типу літака на заміну існуючого парку літаків Л-39 більш привабливим буде літак з меншими швидкостями зльоту і посадки оскільки дають менший шанс зробити помилку на даних етапах польоту.

Але, виробник при оформленні технічної пропозиції зазвичай не надає значення даних параметрів літака, що суттєво ускладнює проведення порівняльної оцінки різних типів НБЛ. Дані труднощі можливо усунути шляхом побудови допоміжних залежностей швидкостей зльоту та посадки від параметрів літака які найсуттєвіше впливають на значення даних швидкостей.

З теорії динаміки польоту літака [2,3] відомо, що швидкості зльоту та посадки визначаються за наступними формулами:

$$V_{\text{відр}} = \sqrt{\frac{2\sigma(1 - \mu \sin \alpha_p)}{C_{y_a \text{ відр}} \cdot \rho}}; \quad (1)$$

$$V_{\text{пос}} = \sqrt{\frac{2m_{\text{пос}} \cdot g}{C_{y_a \text{ пос}} \cdot \rho \cdot S}}$$

де  $C_{y_a \text{ відр}}$  – коефіцієнт піднімальної сили під час відриву літака;  $C_{y_a \text{ пос}}$  – коефіцієнт піднімальної сили під час посадки літака;  $\sigma$  – питоме навантаження на крило;  $\mu$  – тягоозброєність;  $\alpha_p$  – кут між вектором тяги і горизонтальною площиною.

Також з теорії динаміки польоту літака відомі вирази для визначення довжини розбігу та пробігу літака, які мають вид, відповідно:

$$L_{\text{розб}} = \frac{V_{\text{відр}}^2}{2j_{x_a \text{ сер}}}; \quad (2)$$

$$L_{\text{проб}} = -\frac{V_{\text{пос}}^2}{2j_{x_a \text{ сер}}}$$

де  $j_{x_a \text{ сер}}$  – середнє прискорення літака;  $L_{\text{розб}}$  – довжина розбігу;  $L_{\text{проб}}$  – довжина пробігу.

З аналізу рівнянь (1) та (2) можна зробити висновок, що параметри швидкостей відриву та посадки можуть бути наближено описаними залежністю від значень тягоозброєності, довжин розбігу та пробігу літака та маси літака, який можна замінити більш інформативним параметром питомим навантаженням на крило.

Таким чином значення вищевказаних швидкостей можна представити як деякі функції від зазначених вище ТТХ літака:

$$V_{\text{відр}} = f(\sigma; \mu; L_{\text{розб}}); \quad (3)$$

$$V_{\text{пос}} = f(\sigma; L_{\text{проб}}; \mu)$$

Також з аналізу виразів (1) та (2) простежується тенденція впливу вхідних параметрів на результуючі параметри. При збільшенні значення одних факторів результуючий параметр в основному збільшується, а при збільшенні інших – зменшується. Тому для вірного відображення допоміжними моделями відомих тенденцій зміни вищеназваних швидкостей при зміні значень обраних факторів, часткові похідні при побудові відповідних апроксимуючих залежностей повинні виглядати наступним чином:

$$\frac{\partial V_{\text{відр}}}{\partial \sigma} > 0; \quad \frac{\partial V_{\text{відр}}}{\partial L_{\text{розб}}} > 0; \quad \frac{\partial V_{\text{відр}}}{\partial \mu} < 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial V_{\text{пос}}}{\partial \sigma} > 0; \quad \frac{\partial V_{\text{пос}}}{\partial L_{\text{проб}}} > 0; \quad \frac{\partial V_{\text{пос}}}{\partial \mu} < 0.$$

Наближені моделі невідомих функціональних зв'язків (3) встановлюються шляхом обробки наявної статистичної інформації про вже відомі значення параметрів реалізованих в світовій практиці НБЛ та їх ТТХ зі складу обраних факторних просторів, зібраних з наявних джерел технічної інформації[4–7], за допомогою методу групового урахування аргументів.

Таким чином, з урахування дотримання поставленої умови, а саме, по умові правильності поведінки впливу вхідних параметрів на результуючий признак, а також при умові меншої кількості початкових параметрів біли побудовані наступні допоміжні залежності визначення швидкостей зльоту та посадки[8]:

$$\bar{V}_{\text{відр}} = 0,515 + 0,068 \cdot \bar{\sigma} - 0,029 \cdot \bar{\mu} + 0,212 \cdot \bar{L}_{\text{розб}} + 0,211 \cdot \bar{\sigma}^2; \quad (5)$$

$$\bar{V}_{\text{пос}} = 0,3 + 0,806 \cdot \bar{\sigma} + 0,108 \cdot \bar{L}_{\text{проб}} - 0,175 \cdot \bar{\mu} \quad (6)$$

Межи надійної працездатності побудованих залежностей (5) та (6) будуть визначатися діапазоном зміни значень факторів зі складу моделі, а саме:

– для нормованих значень факторів:

$$\bar{\sigma} \in [0, 68; 1, 46]; \bar{\mu} \in [0, 69; 2, 84];$$

$$\bar{L}_{\text{розб}} \in [0, 59; 1, 63]; \bar{L}_{\text{проб}} \in [0, 58; 1, 37];$$

– для ненормованих значень факторів:

$$\sigma \in [164, 1; 352, 4] \text{ кг/м}^2; \mu \in [0, 26; 1, 08];$$

$$L_{\text{розб}} \in [300; 830] \text{ м}; L_{\text{проб}} \in [361; 850] \text{ м}.$$

Характеристики точності описання допоміжними моделями (5) та (6) вибірки наявного статистичного матеріалу, що відображує накопичений досвід ретроспективи розвитку реактивних НБЛ на світовому рівні, дозволяють рекомендувати побудовані моделі для практичного застосування при формуванні початкових даних в удосконаленій методиці порівняльного оцінювання різних типів літаків даного класу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліметричні моделі ступеню придатності навчально-бойового літака до використання в базовій навчальній льотній підготовці курсантів / В.П. Єрошенко, О.Б. Леонтєв, М.В. Науменко, І.Б. Ковтонюк // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2019. – № 2(35). – С. 79-87.
2. Григорьев Н.Г. Основы аэродинамики и динамики полета. – М.: Машиностроение, 1995. – 400 с.
3. Семенчин В.А. Аэродинамика и динамика полета / В.А. Семенчин, В.А. Захаренко, В.В. Чмовж. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2003. – 381 с.
4. Нор П.І. Реактивні навчально-тренувальні літаки: покоління; технічні характеристики; порівняльна оцінка / П.І. Нор, Л. Ю. Новосад. – К.: Фітон, 2012. – 160 с.
5. Нор П.І. Анализ развития учебно-тренировочных самолетов с турбореактивными двигателями / П.И. Нор // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – № 1(3). – С. 11-19.
6. Послевоенная вспомогательная авиация. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.airwar.ru/other.html>.
7. Современная вспомогательная авиация. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.airwar.ru/othernow.html>.
8. Леонтєв О.Б. Удосконалення методики порівняльного оцінювання різних типів реактивних навчально-тренувальних (навчально-бойових) літаків / О.Б. Леонтєв, Д.В. Бердочник, А.Д. Бердочник // Системи озброєння і військова техніка. – 2021. – №2 (66). – С. 73-86.

**Бердочник Дмитро Вадимович** — ад'юнкт науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: berdochnik92@gmail.com

**Тригуб Юрій Ігорович** — ад'юнкт науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: triguburii31@gmail.com

**Berdochnik Dmitro V.** — Adjunct of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, email: berdochnik92@gmail.com

**Trigub Yuriy I.** — Adjunct of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: triguburii31@gmail.com