

О.Є. Мавренков, С.В. Матвійчук, В.І. Улізько

*Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ*

## **УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**

*Представлено результати аналізу практичного застосування методики розрахунку коефіцієнта військово-технічного рівня тактичного бойового літака, яка наразі використовується в науково-дослідних установах Міністерства оборони України. Показано, що за певних умов оцінювання коефіцієнта військово-технічного рівня зразка може відбуватися зі значною похибкою за причини некоректного врахування показників технічної досконалості зразка, які мають різний напрям впливу на його технічний рівень (якість). Запропоновано удосконалення зазначеної методики у напрямі модифікації її формального (математичного) апарату, що дозволяє підвищити точність отримуваних оцінок за рахунок коректного врахування впливу негативних показників технічної досконалості зразка. За результатами апробації удосконаленої методики виконано розрахунок коефіцієнта військово-технічного рівня сучасних тактичних бойових літаків та оцінено результати підвищення точності відповідних розрахунків у порівнянні з відомою методикою.*

**Ключові слова:** *якість, технічний рівень, коефіцієнт військово-технічного рівня, кваліметрія, зразок озброєння та військової техніки, показники технічної досконалості, тактико-технічні характеристики.*

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Військово-технічний рівень є категорією, яка характеризує якість зразка озброєння та військової техніки (ОВТ) як складної технічної системи військового призначення. За аналогією з загальновідомим поняттям технічного рівня продукції військово-технічний рівень є відносною характеристикою якості зразка ОВТ, яка ґрунтується на порівнянні значень показників технічної досконалості (ПТД) (тактико-технічних характеристик (ТТХ) оцінюваного зразка з базовими значеннями відповідних ПТД (ТТХ) [1, с. 7]. Але, як показує практика, таке порівняння може супроводжуватися похибкою розрахунків за причини потреби врахування різного напрямку впливу ПТД (ТТХ) на технічний рівень (якість) зразка. Тому актуальним є усунення такої похибки, насамперед, за рахунок удосконалення формальної частини методичного апарату оцінювання технічного рівня продукції (виробів, зразків тощо).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні методики оцінювання (розрахунку) КВТР різних типів (видів) зразків ОВТ знайшли широке застосування у науково-дослідних установах Міністерства оборони України при вирішенні завдань обґрунтування технічних обрисів нових перспективних та / або модернізованих зразків ОВТ, оцінюванні технічних рішень з їх

удосконалення (модернізації), порівнянні альтернативних зразків ОВТ при виборі кращого (найбільш технічно досконалості) з них [2, с. 358...362; 3, с. 106...110; 4, с. 131...146; 5, с. 188...194; 6, с. 33...36; 7, с. 27...34; 8, с. 79...87; 9, с. 69...78; 10, с. 42...51].

Як показує аналіз, в основу таких методик, як правило, покладається математичний апарат комплексного методу кваліметричного оцінювання технічного рівня продукції, який знайшов широке застосування серед інших методів кількісного оцінювання рівня якості об'єктів (виробів, процесів тощо) та описання якого можна знайти в багатьох джерелах наукової інформації, зокрема в [11, с. 84; 12, с. 125...127; 13, с. 64...69; 14, с. 65...71; 15, с. 105...117; 16, с. 46...54].

Однак дослідження авторів показує, що на практиці оцінювання технічного рівня продукції може стикатися з певною некоректністю відповідного формального апарату, що призводить, в окремих випадках до появи похибки в розрахунках.

**Мета статті** – представлення результатів дослідження авторів щодо удосконалення методики розрахунку коефіцієнта військово-технічного рівня літального апарату на основі модифікації її формального апарату.

### Виклад основного матеріалу

Комплексним показником військово-технічного рівня зразка ОВТ є коефіцієнт військово-технічного рівня (КВТР).

Відома методика розрахунку КВТР тактичного бойового літака засновується на математичному апараті кваліметричного оцінювання рівня якості складної технічної системи по співвідношенню визначальних ПТД (ТТХ) оцінюваного й базового (еталонного) літаків з урахуванням відносної важливості цих показників / характеристик [17, с. 3]:

$$K_{BTP} = \overset{M}{\underset{k=1}{\overset{N_k}{\dot{a}}}} \overset{N_k}{\underset{ki=1}{\dot{a}}} d_k g_{ki} \frac{\bar{c}_{ki}}{\bar{c}_{ki}^{\bar{\sigma}az}}, \quad (1)$$

де  $d_k$  – коефіцієнт вагомості  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного літака, такий, що

$$\overset{M}{\underset{k=1}{\dot{a}}} d_k = 1;$$

$g_{ki}$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го ПТД (ТТХ)  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного літака,

такий, що  $\overset{N_k}{\underset{ki=1}{\dot{a}}} g_{ki} = 1$ ;  $M$  – кількість функціональних підсистем оцінюваного літака;  $N_k$  – кількість визначальних ПТД (ТТХ)  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного літака;  $\bar{c}_{ki}, \bar{c}_{ki}^{\bar{\sigma}az}$  –

приведені значення  $i$ -го ПТД (ТТХ)  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного та базового літаків, відповідно, такі, що:

$$\bar{c}_{ki}(\bar{c}_{ki}^{\bar{\sigma}az}) = \begin{cases} X_{ki}(X_{ki}^{\bar{\sigma}az}), & \text{якщо збільшення } i\text{-го ПТД} \\ & \text{(ТТХ) } k\text{-ої функціональної} \\ & \text{підсистеми літака відповідає} \\ & \text{збільшенню його технічного} \\ & \text{рівня (якості);} \\ 1 \\ X_{ki} \left( \frac{1}{X_{ki}^{\bar{\sigma}az}} \right), & \text{якщо збільшення } i\text{-го ПТД} \\ & \text{(ТТХ) } k\text{-ої функціональної} \\ & \text{підсистеми літака відповідає} \\ & \text{зменшенню його технічного} \\ & \text{рівня (якості).} \end{cases}$$

$X_{ki}, X_{ki}^{\bar{\sigma}az}$  – натуральні значення  $i$ -го ПТД (ТТХ)  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного та базового літаків, відповідно.

Однак, як показала практика, розрахунок КВТР за формулою (1) супроводжується певною некоректністю результатів оцінки. Розглянемо це твердження більш детально.

Як відомо з теорії кваліметрії, кожен ПТД характеризується напрямом його впливу на технічний рівень (якість) продукції: якщо підвищенню технічного рівня (якості) продукції

відповідає збільшення значень показників, то їх називають “позитивними”, якщо зменшення – “негативними” [18, с. 249]. Так, для літального апарата (ЛА) можна стверджувати, що позитивними ПТД (ТТХ) є, наприклад, максимальна маса корисного (бойового) навантаження, максимальна швидкість польоту; динамічна та статична стелі, дальність польоту, а негативними – витрата палива за годину польоту, потрібна довжина злітно-посадкової смуги, середньоквадратична похибка визначення навігаційних координат.

У відомих кваліметричних методах кількісного оцінювання рівня якості вплив позитивних і негативних ПТД на кількісне значення технічного рівня враховується через вигляд формульної залежності, зокрема, це видно з аналізу складових формули (1). При цьому КВТР, з урахуванням поділу ПТД на позитивні та негативні, в загальному вигляді може бути представлено такою формулою:

$$K_{BTP} = \overset{P}{\underset{p=1}{\dot{a}}} a_p \frac{X_p}{X_p^{\bar{\sigma}az}} + \overset{N}{\underset{n=1}{\dot{a}}} b_n \frac{X_n^{\bar{\sigma}az}}{X_n}, \quad (2)$$

де  $P, N$  – кількість позитивних і негативних ПТД, відповідно;  $a_p, b_n$  – коефіцієнти вагомості позитивних і негативних ПТД, відповідно;  $X_p, X_n$  – значення позитивних і негативних ПТД оцінюваного зразка ОВТ, відповідно;  $X_p^{\bar{\sigma}az}, X_n^{\bar{\sigma}az}$  – значення позитивних і негативних ПТД базового зразка ОВТ, відповідно.

Як видно, формула (2) за своїм змістом є аналогічною формулі (1) з тією різницею, що в ній відсутній поділ ПТД на функціональні підсистеми зразка.

Для наочності розуміння некоректності результатів оцінки КВТР за формулами (1) і (2), про що було сказано вище, розглянемо спрощений випадок, коли технічний рівень гіпотетичного зразка ОВТ визначається двома рівноважливими (мають однакові коефіцієнти вагомості  $a = b = 0,5$ ) ПТД, один з яких є позитивним, інший – негативним. При цьому розглянемо два випадки: перший – коли і позитивний, і негативний ПТД покращилися у 2 рази по відношенню до базового значення; другий – коли позитивний ПТД покращився у 2 рази, а негативний – погіршився у 2 рази по відношенню до базового значення.

У результаті рішення зазначеної задачі логічно очікувати, що при рівній важливості ПТД в першому випадку КВТР повинен збільшитися у 2 рази по відношенню до базового зразка (тому що і

позитивний, і негативний ПТД покращуються у 2 рази), а у другому випадку – КВТР повинен залишитися незмінним по відношенню до базового зразка, оскільки позитивний ПТД покращується у 2 рази, а негативний – погіршується на таку ж величину, тобто відбувається взаємокомпенсація зміни величин двох показників.

Подивимось, що відбувається на практиці при застосуванні формули (2). Вихідні дані для розрахунку КВТР зведено в табл. 1.

Використовуючи формулу (2) для варіанту розрахунку № 1, отримаємо:

$$K_{BTP} = 0,5 \frac{1000}{500} + 0,5 \frac{100}{50} = 2,0 \quad (3)$$

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку КВТР

Найменування ПТД (ТТХ)	Коефіцієнт вагомості ПТД	Варіант розрахунку № 1		Варіант розрахунку № 2	
		Оцінюваний зразок	Базовий зразок	Оцінюваний зразок	Базовий зразок
Максимальна швидкість польоту, км/год	0,5	1000	500	1000	500
Витрата палива на крейсерському режимі польоту, л/год	0,5	50	100	100	50

Джерело: розроблено авторами

Як і очікувалося, при покращенні обраних ПТД у 2 рази – КВТР зразка також збільшився у 2 рази по відношенню до базового зразка.

Використовуючи формулу (2) для варіанту розрахунку № 2 отримаємо:

$$K_{BTP} = 0,5 \frac{1000}{500} + 0,5 \frac{50}{100} = 1,25 \quad (4)$$

Тобто КВТР зразка зріс на 0,25 одиниці (на 25 %), хоча очікувано повинен був залишитися незмінним на рівні КВТР базового зразка ( $K_{BTP}^{baz} = 1$ ). Такий результат свідчить про некоректність формального апарату зазначеної методики, викладеної у [17, с. 1...17].

Авторами було проведено удосконалення методики у напрямку корегування її математичного (формального) апарату. За результатами проведених досліджень запропоновано розглядати КВТР оцінюваного зразка ОБТ у вигляді суми значень КВТР базового зразка ОБТ ( $K_{BTP}^{baz}$ ) та приросту КВТР оцінюваного зразка ОБТ за рахунок зміни його ПТД (ТТХ) по відношенню до базового зразка:

$$K_{BTP} = K_{BTP}^{baz} + DK_{BTP} = 1 + DK_{BTP} \quad (5)$$

Розкриваючи зміст  $DK_{BTP}$ , можемо записати:

$$K_{BTP} = 1 + \sum_{k=1}^M \sum_{ki=1}^{N_k} d_k g_{ki} c_{ki} \quad (6)$$

де  $d_k$  – коефіцієнт вагомості  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного зразка, такий, що

$$\sum_{k=1}^M d_k = 1;$$

$g_{ki}$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го ПТД (ТТХ)  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного зразка, такий, що  $\sum_{ki=1}^{N_k} g_{ki} = 1$ ;  $M$  – кількість

функціональних підсистем оцінюваного зразка;  $N_k$  – кількість визначальних ПТД (ТТХ)  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного зразка;

$$c_{ki} = \begin{cases} \frac{X_{ki} - X_{ki}^{baz}}{X_{ki}^{baz}} & , \text{ для позитивних ПТД (ТТХ);} \\ \frac{X_{ki}^{baz} - X_{ki}}{X_{ki}} & , \text{ для негативних ПТД (ТТХ) за умови якщо } X_{ki} < X_{ki}^{baz}; \\ \frac{X_{ki}^{baz} - X_{ki}}{X_{ki}^{baz}} & , \text{ для негативних ПТД (ТТХ) за умови якщо } X_{ki} > X_{ki}^{baz}. \end{cases}$$

$X_{ki}, X_{ki}^{baz}$  – значення  $i$ -го ПТД (ТТХ)  $k$ -ої функціональної підсистеми оцінюваного та базового зразків, відповідно.

Проведемо оцінювання КВТР за формулою (6) для варіантів розрахунку, наведених в табл. 1.

Використовуючи формулу (6) для варіанту розрахунку № 1, отримаємо:

$$K_{BTP} = 1 + 0,5 \frac{1000 - 500}{500} + 0,5 \frac{100 - 50}{50} = 1 + 0,5 + 0,5 = 2,0 \quad (7)$$

Тобто для зазначених варіантів розрахунку отримуємо коректні значення КВТР. При цьому на практиці легко переконатися, що формула (6) коректно працює і для інших варіантів розрахунку з іншими вихідними даними.

Для оцінювання ефекту від удосконалення методики розрахунку КВТР ЛА було виконано

порівняння результатів оцінювання КВТР десяти тактичних бойових літаків, розрахованих за формулами (2) і (6). За базовий зразок приймався

літак МиГ-29 (виріб 9-13). Дані щодо такого оцінювання зведено в табл. 2.

Таблиця 2

Оцінювання КВТР тактичних бойових літаків

Найменування літака	Розрахункове значення КВТР, од.		Абсолютна похибка, од.	Відносна похибка, %
	за формулою (2)	за формулою (6)		
EF-2000	2,03	1,93	0,10	5,2
Rafale C	2,04	1,96	0,08	4,1
L-159A	1,15	1,13	0,02	1,8
F-16C Block 52	1,87	1,79	0,08	4,4
JAS-39C	1,89	1,83	0,06	3,3
JAS-39E	2,04	1,96	0,08	4,1
F/A-18A	1,56	1,52	0,04	2,6
F/A-18E	1,94	1,83	0,11	6,0
F-15EX	2,68	2,51	0,17	6,8
F-35A	2,44	2,25	0,19	8,4
Середнє значення похибки			0,09	4,7

Джерело: розроблено авторами

Аналіз даних, наведених в табл. 2, показує, що розрахунок за формулою (2) видає дещо завищені значення КВТР у порівнянні зі значеннями, отриманими за формулою (6).

Середня абсолютна похибка розрахунків КВТР за відомою методикою складає 0,09 од., середня відносна похибка – 4,7 %.

### Висновки

Таким чином, представлена удосконалена методика розрахунку КВТР ЛА дозволяє підвищити точність отримуваних оцінок за рахунок модифікації її формального (математичного) апарату.

Застосування цієї методики в системах підтримки прийняття рішень щодо розвитку ОВТ очікувано підвищить якість та ефективність таких рішень.

**Напрями подальших досліджень.** Подальші дослідження щодо удосконалення методики оцінювання військово-технічного рівня зразків ОВТ доцільно зосередити на розробленні (адаптації) аналітичних методів визначення коефіцієнтів вагомості ПТД (ТТХ) з метою мінімізації негативного впливу суб'єктивного фактору, притаманного експертним оцінкам.

### Список літератури

1. ДСТУ 2925-94. Якість продукції оцінювання якості. Терміни та визначення. Чинний від 1994-12-14. Вид. офіц. Київ, 1994. – 34 с.
2. Семенов С., Харчев В., Иоффин А. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники. Москва : Радио и связь, 2004. – 552 с.
3. Мавренков О., Жуков А. До питання визначення пріоритетних напрямків модернізації бойового літального апарату. // Зб. наук. праць ДНДІА, вип. 10. – К.: ДНДІА, 2007. – С. 106-110.
4. Методика оцінки технічного рівня систем озброєння Збройних Сил / В.А. Єфіменко, А.І. Крикуненко, П.І. Нор, О.Д. Мельник // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. – 2010. – № 15(37). – С. 131-146.
5. Нор П., Горський О., Павленко А. Методика оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки. Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. 2012. № 34. – С. 188–194.
6. Сланський О. Оцінка досконалості авіаційного навчально-бойового комплексу на попередніх етапах його проектування або подальшої модернізації. Системи озброєння і військова техніка. 2014. № 3. – С. 33–36.
7. Артюшин Л., Мірненко В., Мавренков О. Методика оцінювання технічної досконалості авіаційних тренажерних комплексів. Зб. наук. праць ДНДІА. 2016. № 19. – С. 27–34.
8. Кваліметричні моделі ступеню придатності навчально-бойового літака до використання в базовій навчальній льотній підготовці курсантів / В. Єрошенко та ін. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2019. № 2 (35). – С. 79–87. URL: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.10> (дата звернення: 03.09.2022).
9. Леонтьев О., Науменко М. Напрями удосконалення науково-методичного апарату обґрунтування основних напрямів розвитку системи озброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України. Наука і техніка Повітряних Сил

Збройних Сил України. 2020. № 3 (40). – С. 69–78. URL: <https://doi.org/10.30748/nitps.2020.40.08> (дата звернення: 26.08.2022).

10. Харченко О., Зіатдінов Ю., Мавренков О. Методика оперативного розрахунку технічного рівня керованих авіаційних засобів ураження. Зб. наук. праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. 2022. № 74. – С. 42–51. URL: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/74-05> (дата звернення: 26.09.2022).

11. Азгальдов Г., Райхман Э. О кваліметрії. М.: Изд. стандартов, 1973. – 198 с.

12. Чекмарев А. Кваліметрія и управление качеством. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2010. – 172 с.

13. Шапошников В. Кваліметрія. Российский государственный профессионально-педагогический университет. URL: <http://elag.rsvpu.ru/handle/123456789/20925> (дата звернення: 02.10.2022).

14. Романов В., Орлов Ю., Ромодановская М. Кваліметрія. Владимир: Владим. гос. университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2017. – 135 с.

15. Хамханова Д. Основы кваліметрії. Улан-Удэ: Восточ.-сибирс. государственный технологичес. университет, 2003. 142 с.

16. Варжапетян А. Кваліметрія. Санкт-Петербург: Санкт-Петербург. государственный университет аэрокосмичес. приборостроения, 2005. – 176 с.

17. Методика розрахунку коефіцієнта військово-технічного рівня тактичного бойового літака (затверджено заступником Міністра оборони України, реєстр. № 10694/з від 02.06.2016). – 17 с.

18. Бутко М., Задорожна С., Іванова Н. Виробничий менеджмент. К.: Центр навч. літ., 2020. – 424 с.

*Надійшла до редакції 05.10.2022*

*Схвалена до друку 30.11.2022*

***Відомості про авторів:***

**Мавренков Олексій Єфремович**

доктор технічних наук  
старший науковий співробітник  
начальник науково-дослідної лабораторії  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6578-4833>

**Матвійчук Сергій Віталійович**

старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-2774-0378>

**Улізько Вячеслав Іванович**

старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4553-7752>

***Information about the authors:***

**Oleksii Mavrenkov**

Doctor of Technical Sciences  
Senior Researcher  
Head of Research Laboratory  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6578-4833>

**Serhii Matviichuk**

Senior Researcher  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2774-0378>

**Viacheslav Ulizko**

Senior Researcher  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4553-7752>

**IMPROVED METHOD FOR CALCULATING THE COEFFICIENT OF THE MILITARY-TECHNICAL LEVEL OF AIRCRAFT**

*O. Mavrenkov, S. Matviychuk, V. Ulizko*

*The results of the analysis of the practical application of the methodology for calculating the coefficient of the military-technical level of a tactical combat aircraft, which is currently used in research institutions of the Ministry of Defense of Ukraine to justify the technical outlines of new promising and / or modernized samples of weapons and military equipment, and to evaluate technical solutions for their improvement (modernization), comparison of alternative samples of weapons and military equipment when choosing the best (most technically perfect) of them.*

*As you can see, under certain conditions, the evaluation of the coefficient of the military-technical level of a sample can occur with a significant error due to incorrect consideration of indicators of technical excellence (tactical and technical characteristics) of the sample, which have a different direction of influence on its technical level (quality).*

*The authors proposed the improvement of the specified method in the direction of modification of its formal (mathematical) apparatus, which allows to increase the accuracy of the received estimates due to the correct consideration of the influence of negative indicators of technical perfection (tactical and technical characteristics) of the sample.*

*According to the results of the approbation of the improved methodology, the calculation of the coefficient of the military-technical level was performed for ten modern tactical combat aircraft, and the results of increasing the accuracy of the corresponding calculations in comparison with the known methodology were evaluated. The average relative error of calculations of the coefficient of the military-technical level according to the known method is up to 5%.*

*It is expected that the use of improved methods in decision support systems for the development of armaments and military equipment is guaranteed to increase the quality and effectiveness of such decisions.*

*Keywords: quality, technical level, coefficient of military-technical level, qualimetry, sample of weapons and military equipment, indicators of technical excellence, tactical-technical characteristics.*