

УДК 629.7.017.0031

О.Б. Котов, О.Б. Леонтьєв, О.М. Компанієць, А.Г. Дмитрієв

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПЕРСПЕКТИВНИХ УДАРНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ТИХ, ЩО МОДЕРНІЗУЮТЬСЯ

Розроблена удосконалена методика оцінювання базується на основі методів факторного аналізу та дозволяє з достатнім для практики рівнем точності оцінювати узагальнені показники якості перспективних ударних авіаційних комплексів та тих, що модернізуються. Застосування методики оцінювання коефіцієнтів бойового потенціалу на розширеному факторному підпросторі за рахунок включення тактико – технічних характеристик комплексу авіаційного озброєння дає змогу більш повно описати функціональну залежність між узагальненим показником якості і визначаючими тактико – технічними характеристиками.

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

### Вступ

**Постановка задачі.** В ході розв'язування проблеми оновлення парків бойової авіаційної техніки (БАТ) на практиці виникає важлива задача оцінювання коефіцієнтів бойового потенціалу ( $K_{бп}$ ) перспективних ударних авіаційних комплексів та тих, що модернізуються. На ранніх етапах створення (модернізації) відповідних зразків виникають певні труднощі. Існуючі методичні підходи характеризуються суттєвим обмеженням щодо урахування властивостей перспективного ударного авіаційного комплексу (УАК). В той же час, особливо при проведенні модернізації, практика потребує розширення факторного простору, на якому базуються відповідні математичні моделі для оцінювання  $K_{бп}$ .

Таким чином, оцінка узагальненого показника якості зразка озброєння та військової техніки (ОВТ) є індикатором напрямку, в рамках якого доцільно створювати (модернізувати) технічні системи, тобто оцінка узагальненого показника якості зразка ОВТ дозволяє визначити перспективу розвитку зразку як об'єкту, який представляє сукупність окремих блоків, вузлів, агрегатів.

**Аналіз останніх матеріалів.** Для визначення ступеня пристосованості літального апарату (ЛА) до виконання типових бойових завдань використовують  $K_{бп}$ , який чисельно являє собою відношення необхідних для вирішення покладеного бойового завдання кількостей обраних еталонних засобів до кількості зразків, що оцінюються [1, 2]. Загально прийнято, що оцінювання якісних показників зразків ОВТ у кількісній формі здійснюється з використанням кваліметричних методів оцінювання [3], до складу яких відносять методи експертного оцінювання та методи, побудовані на основі факторного аналізу і математичної статистики.

Експертними методами оцінювання встановлено, що комплекс авіаційного озброєння (КАОз) УАК

вносить вагомий внесок в узагальнений показник якості ударного тактичного літака [2].

Аналіз існуючих методик визначення  $K_{бп}$  [2, 4] показує що вони не в повній мірі враховують тактико-технічні характеристики (ТТХ) КАОз у факторних підпросторах [4], що, в свою чергу, не дозволяє проводити повноцінну оцінку перспективних УАК та тих, що модернізуються на ранніх етапах їх розробки. Особливо коли модернізації піддається КАОз.

Тому, удосконалення методики оцінювання узагальнених показників якості бойових авіаційних комплексів (БАК) за призначенням є актуальною науковою задачею.

**Метою даної статті** є розробка удосконаленої методики оцінювання узагальнених показників якості перспективних УАК та тих, що модернізуються за рахунок комплексного застосування вже існуючих експертно-аналітичних процедур та методів факторного аналізу.

### Основний матеріал

Удосконалення існуючого методичного підходу щодо оцінювання узагальненого показника якості зразків БАТ [4] за рахунок часткової методики оцінювання узагальненого показника якості КАОз УАК в ході формування технічного обриса перспективних (модернізованих) літаків тактичної авіації на етапах порівняльної оцінки їх альтернативних варіантів є важливою задачею військової науки. Місце та роль часткової методики оцінювання узагальненого показника якості КАОз УАК в ході формування технічного обриса перспективних (модернізованих) літаків тактичної авіації представлено на рис. 1.

Необхідність визначення узагальнених показників якості зразків ОВТ для подальшого формування технічного обриса перспективних (модернізованих) виробів авіаційної техніки вказує на ключову роль методики оцінювання узагальнених показників якості зразків БАТ та їх подальше вдосконалення. Процес

вдосконалення методики необхідно проводити за рахунок врахування більш інформативної форми залежності узагальненого показника якості УАК від його визначаючих показників бойових властивостей.

Проведені дослідження, щодо розрахунку уза-

гальнених показників якості КАОз на прикладі УАК [5] дозволяють сформулювати удосконалену часткову методику оцінки узагальненого показника якості (УПЯ) КАОз літаків тактичної авіації, зміст якої схематично наведено на рис. 2.



Рис. 1. Формування технічного обриса перспективних (модернізованих) УАК

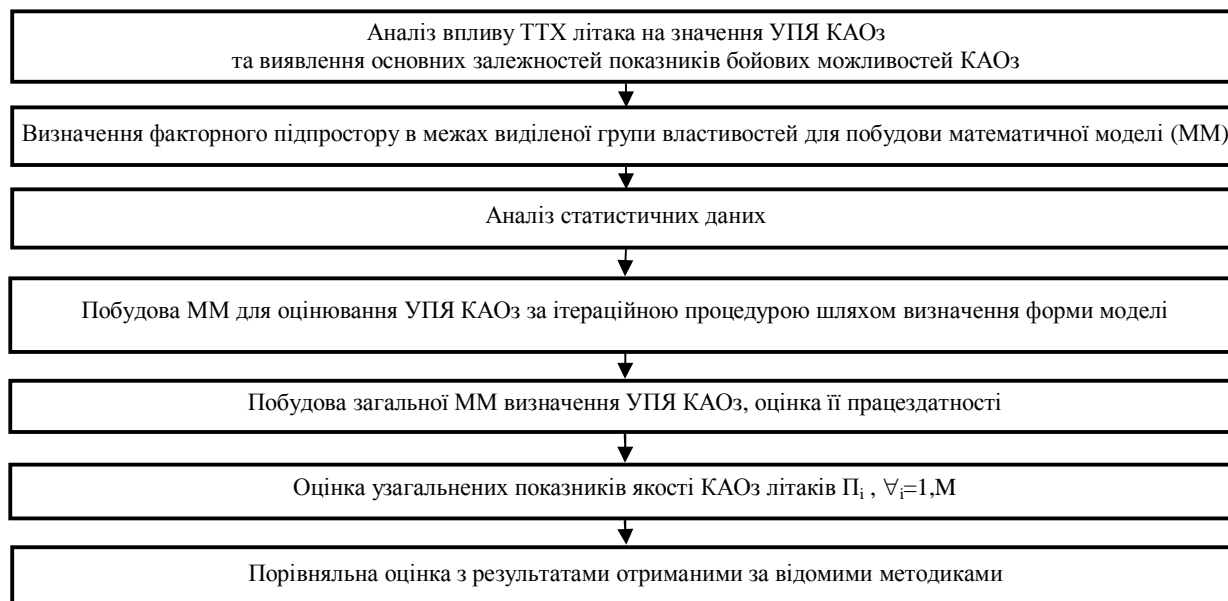


Рис. 2. Загальна схема часткової методики оцінки УПЯ КАОз літаків тактичної авіації

На попередньому етапі оцінювання узагальненого показника якості КАОз ударного літака необхідно здійснити аналіз призначення зразка та сукупності бойових завдань, що покладаються або будуть покладатися на БАК. На підставі цього аналізу визначається структура бойового потенціалу літака, якого необхідно оцінити, тобто при розгляді етапів виконання типової бойової задачі за призначенням, визначаються основні групи властивостей які описують бойового можливості, у відповідність яким виставляються складові  $K_{\text{бп}}$ . Після визначення властивостей, що описують бойовий потенціал зразка ОБТ, здійснюється аналіз впливу ГТХ літака

на значення узагальненого показника якості КАОз та виявлення основних залежностей показників бойових можливостей КАОз. В межах виділеної групи розглядаються та аналізуються існуючі зв'язки між кожною властивістю та характеристиками нижчого рівня, що забезпечують у конкретному конструктивному виконанні досягнення реалізованих характеристик бойових властивостей [5]. По результатах такого аналізу визначаються показники, які безпосередньо забезпечують реалізовані бойові властивості сучасного ударного літака та які можуть здійснити вплив на ці властивості.

Далі оцінюється можливість згортання виявле-

них характеристик у відомі комплекси з метою як найбільше скоротити кількість визначаючих характеристик у факторному підпросторі для побудови математичної моделі узагальненого показника якості КАОЗ. Останнє пов'язано з наявністю суттєво обмеженого статистичного матеріалу для отримання моделей з багатьма факторами та пасивним характером експериментів, за рахунок якого можливо отримати початкову інформацію. В результаті проведення вищезазначених заходів в межах складової узагальненого показника якості КАОЗ УАК визначається факторний підпростір характеристик літака для побудови відповідної математичної моделі (1):

$$\Pi_{\text{КАОЗ}} = f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n), \quad (1)$$

де  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$  – відповідні фактори що впливають на остаточний вигляд моделей для оцінювання узагальненого показника якості КАОЗ при вирішенні завдань по знищенню наземних об'єктів.

Слід зауважити, що доцільно провести процедуру зменшення обсягу факторів, якщо ретельний

аналіз зразка ОБТ дозволяє виявити залежність деяких показників бойових властивостей ЛА від одних й тих же технічних характеристик нижчого рівня. При наявності факторного підпростору в межах виділеної групи властивості БАК за призначенням, від значень характеристик в якій буде відшукуватися вигляд залежності оцінок  $i$ -ої групи властивості у внеску в узагальнений показник якості КАОЗ, здійснюється збір та аналіз статистичної інформації. При цьому необхідно, щоб кількість реалізацій відомих ЛА, на базі яких буде будуватися модель, була не менш ніж на одиницю більшою, ніж кількість факторів у складі моделі.

Подальшим етапом оцінки узагальненого показника якості КАОЗ є використання вже відомих оцінок узагальнених показників якості КАОЗ для відомих літаків тактичної авіації.

Побудова математичних моделей оцінювання внеску узагальненого показника якості КАОЗ ударного ЛА за методикою яка розроблена в [5] схематично представлена на рис. 3.

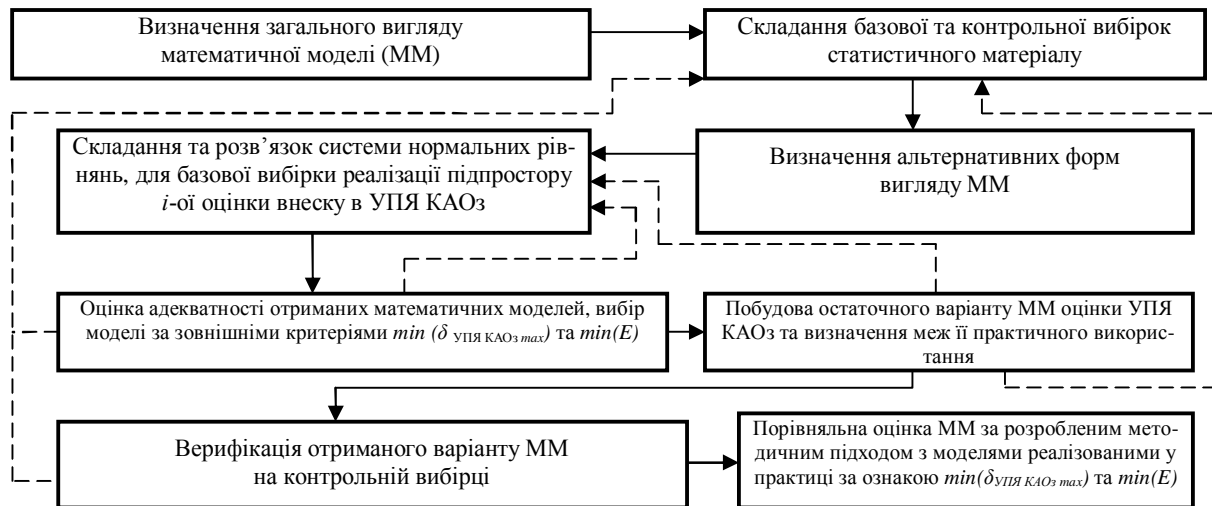


Рис. 3. Структурна схема моделі оцінювання внесків узагальненого показника якості КАОЗ УАК

Найвний статистичний матеріал групується у базову вибірку, загальний обсяг якої є достатнім для побудови моделі, та у контрольну вибірку – для верифікації побудованого варіанту математичної моделі за відомими статистичними даними та оцінки її якості. У випадку, коли загальна кількість відомих реалізацій незначна та її не вистачає для складання приблизно рівних за обсягом базової та контрольної вибірки, можливо включення одних й тих же реалізацій у обидві вибірки водночас, але у контрольній вибірці обов'язково повинні бути присутніми реалізації літаків, що не увійшли до складу базової вибірки [6]. 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 математичних моделей в такий спосіб рекомендації щодо ви-

бору вигляду моделі з множини можливих варіантів відносно простих їх форм – а саме лінійної, скороченої квадратичної, повної квадратичної та мультиплікативної форми, які мають вигляд (2) – (5):

$$\Pi_{\text{КАОЗ}} = b_0 + \sum_{k=1}^M b_k x_k; \quad (2)$$

$$\Pi_{\text{КАОЗ}} = b_0 + \sum_{k=1}^K b_k x_k^2 + b_j \prod_{j=1}^J x_j; \quad (3)$$

$$\Pi_{\text{КАОЗ}} = b_0 + \sum_{m=1}^M b_m x_m + \sum_{k=1}^K b_k x_k^2 + b_j \prod_{j=1}^J x_j; \quad (4)$$

$$\Pi_{\text{КАОЗ}} = \prod_{m=1}^M b_0 (x_m)^{b_m}, \quad (5)$$

де  $\Pi_{\text{КАОЗ}}$  – узагальнений показник якості КАОЗ;  $b_0, b_k, b_m, b_j$  – невідомі вільні члени та коефіцієнти при відповідних факторах, внесок яких у узагальнений

показник якості КАОз ударного літака у знищенні наземних об'єктів необхідно визначити.

Для кожної з обраних форм первинного вигляду моделі для згрупованого у базову вибірку статистичного матеріалу складається система нормальних рівнянь, розв'язок якої визначить невідомі коефіцієнти моделі (див. вирази (3) – (4)). При цьому, якщо за початковий вигляд обрано вираз (3) – (4) з включенням членів, що вносять нелінійність у модель, або виразу (5), то перед складанням системи нормальних рівнянь необхідно провести приведення факторів у обраній формі моделі до відповідного вигляду, що дозволяє використовувати процедуру методу найменших квадратів та коректно скласти таку систему.

Так, наприклад, якщо обрана модель у формі (3) або (4) з нелінійними членами, то відповідні множники характеристик літака у членах поза другим включно та третім відповідно повинні прийняти вигляд додаткових факторів:

$$\Pi_{\text{КАОз}} = b_0 + \sum_{k=1}^M b_k z_k + b_g ; \quad (6)$$

$$\Pi_{\text{КАОз}} = b_0 + \sum_{m=1}^M b_m x_m + \sum_{k=1}^M b_k z_k + b_g . \quad (7)$$

Відповідно змінні мають такий вигляд:

$$z_k = x_k^2 ; g = \prod_{m=1}^M x_m ; \forall i = 1, M \quad (8)$$

При цьому слід пам'ятати про вимоги до обсягу базової вибірки, що стануть більш жорсткими.

У разі, коли початковий вигляд моделі приймає форму (5), то здійснивши логарифмування обох сторін цього виразу отримаємо:

$$\ln(\Pi_{\text{КАОз}}) = \ln(b_0) + \sum_{m=1}^M b_m \ln(x_m) . \quad (9)$$

Після цього необхідно здійснити заміну змінних за виглядом (з врахуванням позначень при складанні системи рівнянь):

$$\Pi_{\text{КАОз}} = \ln(\Pi_{\text{КАОз}}) ; b_0 = \ln(b_0) ; x_m = \ln(x_m) , \forall i = 1, M . \quad (10)$$

Для визначення значень коефіцієнтів моделі у формі (10) після розв'язку системи нормальних рівнянь у нових позначеннях, необхідно провести зворотню заміну змінних. Послідовною ітераційною процедурою за кожним виглядом загальних форм математичних моделей обчислюється значення невідомих коефіцієнтів. Отримані попередні варіанти моделей перевіряються на узгодженість статистичним даним базової та контрольних вибірок за системою критеріїв виду (11) – (12):

– середнє квадратичне відхилення, що визначається виразом:

$$\sigma_{\varepsilon i} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\Pi_{\text{КАОз}ij\text{реал}} - \Pi_{\text{КАОз}ij\text{розн}})^2} , \quad (11)$$

де  $\Pi_{\text{КАОз}ij\text{реал}}, \Pi_{\text{КАОз}ij\text{розн}}$  – узагальнені показники якості КАОз у виконанні і-го бойового завдання відомої j-ої реалізації у контрольній вибірці обсягом N та розраховані для даної реалізації по отриманій моделі, відповідно;

– середнє абсолютне відхилення на інтервалі інтерполяції:

$$E_i = \sqrt{\sigma_{\varepsilon i}} ; \quad (12)$$

– максимальна відносна помилка розрахунків на інтервалі інтерполяції:

$$\delta_{\max i} = \max_{j=1, N} \left( \frac{\Pi_{\text{КАОз}ij\text{реал}} - \Pi_{\text{КАОз}ij\text{розн}}}{\Pi_{\text{КАОз}ij\text{реал}}} \right) . \quad (13)$$

На підставі виставленої системи критеріїв здійснюється висновок про якість моделі.

З всієї сукупності варіантів моделі, що отримані при незмінному її вигляді, визначаються ті, що відповідають найкращим значенням показників якості (12) – (13) за критеріями (14) – (15):

$$E_i = \min_{k=1, K} (E_{ik}) ; \quad (14)$$

$$\delta_{\max i} = \min_{k=1, K} (\delta_{\max ik}) , \quad (15)$$

де k- номер варіанту математичної моделі і-го виду із загальної чисельності K отриманих при незмінному обсязі факторів.

Для отриманого в такий спосіб вигляду моделі, процедура поступового скорочення базової вибірки на основі аналізу залишкових елементів яка описана в [1] не потребується, відшуковується найкращий варіант моделі із постійною чисельністю факторів.

Для остаточного визначення вигляду математичної моделі оцінки узагальненого показника якості КАОз тактичного ЛА проводиться аналіз показників узгодженості та якості отриманих варіантів, на підставі якого з них усіх, за критеріями виду (14) – (15), визначається найкращий та здійснюється висновок щодо адекватності і працездатності побудованої моделі, або необхідності пошуку нових форм її вигляду, якщо якість моделі не задовольняє вимогам до її точності.

Після визначення остаточного вигляду аналітичної залежності визначаються межі практичного використання побудованої моделі оцінювання узагальненого показника якості КАОз. Для перевірки адекватності розробленої моделі слід провести оцінку ЛА, що не увійшли до складу базової вибірки. Достатньо гостро постає питання при обранні значень ТТХ, що є визначальними для ЛА які увійшли до вибірки, тому слід приділити цьому достатню увагу при формуванні вихідних даних.

При наявності побудованої залежності узагальнених показників якості КАОз від визначаючих бойові можливості літака ТТХ шляхом проведення розрахунків здійснюється оцінка узагальненого показника якості КАОз нового або модернізованого

літака у одиницях вимірювання, для яких було побудовано дану математичну модель. Кінцевим етапом побудови математичної моделі є порівняльна оцінка математичної моделі за розробленим методичним підходом з моделями реалізованими у практиці за ознакою (12) – (13).

Слід відміти, що коли математична модель узагальненого показника якості КАОз вже існує та задовольняє за своєю якістю вимогам до розв'язку практичних задач, а також підтверджена можливість використання оцінок узагальнених показників якості КАОз літаків, на основі яких така модель будувалася, повторну побудову моделі необхідно буде здійснювати лише у випадку суттєвих змін або в умовах бойового застосування авіаційних угруповань, або при суттєвих змінах принципів фізичної дії основних підсистем та складових елементів майбутніх літаків [1].

За загальною моделлю узагальнений показник якості ударного літака при вирішенні ним задач знищення наземних об'єктів визначається виразом (16):

$$K_{\text{бпi}} = \sum_{i=1}^N w_i \Pi_i, \quad (16)$$

де  $\Pi_i$  – відповідні групи властивостей;  $w_i$  – ваговий внесок  $i$ -ої групи властивостей.

### ВИСНОВОК

Розроблена удосконалена методика оцінювання узагальнених показників якості перспективних УАК та тих, що модернізуються за рахунок комплексного застосування вже існуючих експертно-аналітичних процедур та методів факторного аналізу, дозволяє без погіршення точності розрахувати  $K_{\text{бп}}$ .

Застосування удосконаленої методики оцінювання узагальненого показника якості УАК в

основі якої закладено розширений факторний підпростір за рахунок включення ТТХ КАОз дає змогу більш повно описати функціональну залежність між узагальненим показником якості та визначаючими ТТХ.

### Список літератури

1. Леонтьев О.Б. *Побудова математичної моделі показників бойової ефективності вертольоту армійської авіації при вирішенні ним десантних задач* / О.Б. Леонтьев, Ю.І. Миргород, М.М. Момот // *Збірник наукових праць ОНДІ ЗСУ*. – Х., 2007. – Вип. 1(6). – С. 14-21.
2. Леонтьев О.Б. *Методика оцінки бойового потенціалу ударних авіаційних комплексів при вирішенні ним вогневих задач* / О.Б. Леонтьев, О.М. Компанієць, В.В. Шмаков // *Збірник наукових праць ХУ ПС*. – Х., 2008. – Вип. 2(17). – С. 20-23.
3. Мавренков О.Є. *Оцінювання коефіцієнту бойового потенціалу літального апарату, що модернізується* / О.Є. Мавренков // *Збірник наукових праць ДНДА*. – 2007. – Вип. 3(10). – С. 102-106.
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. Леонтьев, В.І. Нікітченко, А.Г. Дмитрієв, О.М. Компанієць // *Збірник наукових праць ДНДА*. – 2010. – № 6(13). – С. 79-86.
6. *Результати прогнозування визначаючих характеристик перспективних транспортних вертольотів* / О.Б. Леонтьев, В.І. Мясягін, М.М. Момот, О.М. Компанієць // *Вопросы проектирования и производства конструкций ЛА*. – 2008. – Вип. 1(52). – С. 29-35.

Надійшла до редколегії 14.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.А. Калкаманов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ УДАРНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ТЕХ, КОТОРЫЕ МОДЕРНИЗИРУЮТСЯ

А.Б. Котов, А.Б. Леонтьев, О.Н. Компанієць, А.Г. Дмитрієв

*Разработанная усовершенствованная методика оценивания базируется на основе методов факторного анализа и позволяет с достаточным для практики уровнем точности оценивать обобщенные показатели качества перспективных ударных авиационных комплексов и тех, которые модернизируются. Применение методики оценивания коэффициентов боевого потенциала на расширенном факторном подпространстве дает возможность более полно описать функциональную зависимость между обобщенным показателем качества и определяющими тактико-техническими характеристиками.*

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

### IMPROVED METHOD EVALUATION OF THE GENERALIZED INDEXES QUALITY PERSPECTIVE SHOCK AVIATION COMPLEXES AND THOSE WHICH ARE MODERNIZED

O.B. Kotov, A.B. Leont'ev, O.N. Kompaniec, A.G. Dmitriev

*The improved method of evaluation is based on the basis of methods of factor analysis and allows with a sufficient for practice level exactnesses to estimate the generalized indexes of quality of perspective shock aviation complexes and those which are modernized. Application of method of evaluation of coefficients of battle potential on the extended factor subspace enables more fully to describe functional dependence between the generalized index of quality and determining by technical descriptions.*

**Keywords:** generalized index of quality, coefficient of battle potential, battle aviation complex, factor analysis, mathematical model.