

УДК 629.735.45

А.М. Алімпієв, В.П. Єрошенко, І.Б. Ковтонюк, О.Б. Леонтєв

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФАКТОРНОГО ПРОСТОРУ ДЛЯ ПОБУДОВИ КВАЛІМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ НАВЧАЛЬНО-БОЙОВОГО ЛІТАКА НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КУРСУ НАВЧАЛЬНОЇ ЛЬОТНОЇ ПІДГОТОВКИ КУРСАНТІВ

*На основі аналізу курсів навчальної льотної підготовки курсантів вищого військового навчального закладу побудовано ієрархічну структуру показників властивостей навчально-бойового літака, яка описує ступінь його пристосованості до вирішення завдань льотної навчання. Шляхом аналізу виявлених зав'язків основних тактико-технічних характеристик сформовано факторний простір для розробки кваліметричної моделі навчально-бойового літака.*

**Ключові слова:** властивості, навчально-бойовий літак, навчальна льотна підготовка, тактико-технічні характеристики, кваліметрична модель, факторний простір.

### Вступ

Літак Л-39 є основним літаком в Харківському національному університеті Повітряних Сил, що використовується для підготовки курсантів за спеціалізацією “Льотна експлуатація та бойове застосування літаків”.

Аналіз парку літаків Л-39 в Україні та в світі показує, що їх стан стрімко погіршується. Заміна парку навчальних авіаційних частин і підрозділів на такі ж самі літаки уявляється неможливим, оскільки серійне виробництво літаків Л-39 завершено ще у 1998 році. Вітчизняні авіаремонтні державні підприємства (ДП) “Чугуївський авіаційний ремонтний завод” та “Одеський авіаційний ремонтний завод” гарантують продовження ресурсу літакам Л-39 до 2025 року. Виходячи з міжнародного досвіду, на створення нових літаків такого класу витрачається час, який за статистикою дорівнює періоду від 8 до 10 років. Тому вже зараз гостро постає питання з визначенням перспективного літака на заміну застарілого Л-39.

**Постановка задачі.** Враховуючі те, що тактична авіація України в 2025 – 2030 роках буде переозброєна на нові сучасні літаки та трьохступенева підготовка курсантів – льотчиків, що впроваджується, потребує навчання на бойових літаках, вже сьогодні потрібно підбирати перспективний основний літак для льотної підготовки курсантів з характеристиками навчально-тренувального літака (НТЛ) та можливостями бойового літака.

Альтернативними варіантами можуть бути літаки виробництва країн ЄС. Це італійський навчально-бойовий літак (НБЛ) М346 “Майстер” або чеський НБЛ L159. Або навчально-бойові літаки розробки і виробництва країн Південно-східної Азії: південнокорейський T50 або китайський L-15. Також альтернативою може стати створення вітчизняного навчально-бойового літака, наприклад, який

пропонує Харківське державне авіаційне виробниче підприємство “ХАЗ”.

Основні характеристики такого літака повинні бути на рівні сучасних, які наведені в табл. 1. В той же час, порівняльний аналіз навчально-бойових літаків за окремими характеристиками не надає змоги остаточно визначитися, який літак є кращим, з точки зору ступеню пристосованості до виконання завдань навчальної льотної підготовки. Порівняння альтернатив показує, що за окремими (однією або декількома) характеристиками кращим є один тип літака, а за іншими – інший. Тобто, за таким порівнянням практично неможливо здійснити ґрунтовний вибір літака для заміни парку Л-39, що вичерпує свої технічні терміни служби.

Аналіз сучасного стану існуючого науково-методичного апарату обґрунтування вибору навчально-бойового літака для навчальної льотної підготовки курсантів вищих військових навчальних закладів (ВВНЗ) дозволив виявити декілька проблемних питань. А саме:

- не існує узагальненого показника, що характеризує ступінь придатності навчально-бойового або навчально-тренувального літака до вирішення задач навчальної підготовки курсантів;

- до укладання контрактів на закупівлю навчально-бойового літака фактично неможливо отримати достатньої для порівняльного оцінювання достовірної інформації про характеристики літака, що визначають його основні властивості;

- відсутній розвинутий системний науково-методичний апарат обґрунтування вибору варіанту навчально-бойового літака.

Ці проблемні питання обумовлюють виникнення актуальної та важливої для практики наукової задачі, що полягає в розробці удосконалених методичних підходів до оцінювання ступеню придатності НБЛ до вирішення завдань навчальної льотної підготовки курсантів ВВНЗ.

Таблиця 1

## Основні тактико-технічні характеристики сучасних навчально-бойових літаків

	Назва літака	L-159 ALCA	T-50	M-346	Як-130	JL-15	JL-259	Проект “ХАЗ”
Маса - габаритні характеристики	Розмах крила, м	9,54	9,11	9,72	9,72	8,73	9,5	9,53
	Площа крила, м <sup>2</sup>	18,8	26,6	23,52	23,5	21	18,8	22,7
	Маса пустого, кг	4320	6441	4610	4500	5000	4700	5020
	Злітна маса (максимальна), кг	8000	11195	9520	9000	9800	8700	9730
	Маса палива у внутрішніх баках, кг	1551	1500	2000	1600	2000	2400	1498
	Маса підвісного озброєння, кг	2340	3000	3000	3000	2000	2500	3000
	Кількість точок підвіски	7	7	9	9	6	7	8
Льотно-технічні характеристики	Швидкість, максимальна, км/год	936	1650	1059	1050	1500	922	1040
	Практична стеля, м	13200	14650	13715	1200	16500	12300	14000
	Швидкопідйомність, максимальна, м/с	62,1	168	103	100	200	47	100
	Дальність польоту (баз ПТБ), км	1570	1500	2074	1500	1900	1542	1560
	Дальність польоту (перегінна), км	2530	2400	2852	2000	3000	2800	2360
	Довжина розбігу, м	470	510	320	340	300	389	570
	Довжина пробігу, м	628	630	470	490	500	550	600
Силова установка	Максимальне експлуатаційне перевантаження	8	8	8	8	8	8	9
	Кількість двигунів	1	1(Ф)	2	2	2(Ф)	1	2
	Тип двигунів	ТРДД Honeywell F124-GA-100	ТРДД GE F404	ТРДД Honeywell F124-GA-100	ТРДД АИ-222-25	ТРДД АИ-222-26 (Ф)	ТРДД АИ-222-28	ТРДД АИ-222-25
	Тяга на режимі “максимал”, кН	28,2	54	55,8	49	49	27,5	49
Питомі характеристики	Максимальна тягозброєність	0,36	0,72	0,6	0,56	0,82	0,35	0,524
	Питоме навантаження на крило, максимальне кг/м <sup>2</sup>	425,5	420,9	404,8	383	466,7	460	430
	Відносна маса бойового навантаження	0,29	0,27	0,32	0,33	0,2	0,29	0,308

Вирішення цієї задачі передбачає послідовного вирішення наступних завдань:

- визначення напрямів розвитку методичного апарату для порівняльного оцінювання альтернативних зразків навчально-бойових літаків;

- розробка системи показників ступеня придатності навчально-бойового літака до вирішення завдань навчальної льотної підготовки курсантів;

- визначення формалізованої залежності значень основних тактико-економічних показників на-

вчально-бойового літака від обраних факторів;

- розробка методики порівняльного оцінювання тактико-техніко-економічних обрисів перспективних навчально-бойових літаків та обґрунтування вибору раціонального варіанту;

- розробка проекту методичних рекомендацій щодо проведення порівняльного оцінювання властивостей варіантів навчально-бойових літаків.

Вирішення названого переліку завдань неможливо без попереднього обґрунтування факторного прос-

тору для розробки відповідних кваліметричних моделей властивостей навчально-бойового літака, які би дозволяли визначити раціональне співвідношення між показниками призначення об'єкту оцінювання та його основними економічними показниками.

**Метою статті** є визначення факторного простору для побудови кваліметричної моделі навчально-бойового літака на основі аналізу світового досвіду використання літальних апаратів для навчальної льотної підготовки.

## Основний матеріал

За своєю суттю, ступінь придатності НБЛ до вирішення завдань навчальної льотної підготовки курсантів ВВНЗ являє собою комплексну властивість літального апарату, як складної технічної системи, що описує його потенційну ефективність. Ця комплексна властивість НБЛ, складається з системно пов'язаних інших властивостей, визначальні з яких, наведені на рис. 1.

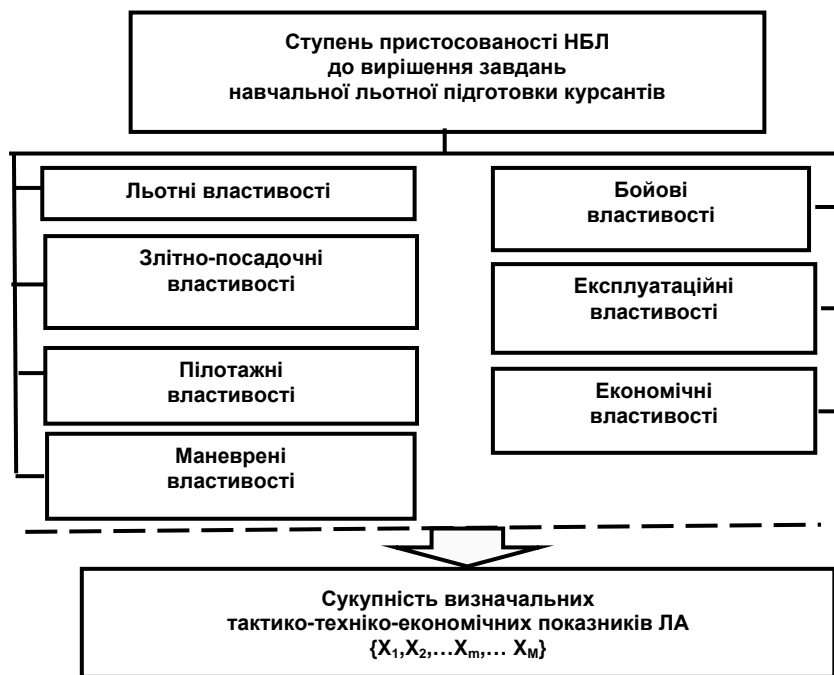


Рис. 1. Визначальні властивості навчально-бойового літака

Частина цих властивостей безпосередньо описують пристосованість літака до отримання основного результату від його використання за призначенням. Стосовно навчальної льотної підготовки – це здатність літака забезпечити надбання тими, хто навчається, стійких льотних навичок в процесі проходження вправ курсу навчальної льотної підготовки, тобто потенційна результативність, або, як ще кажуть, ефект від застосування навчально – бойового літака (НБЛ). До цієї групи властивостей відносяться льотні властивості, злітно-посадочні властивості, пілотажні, маневрові та бойові властивості навчально-бойового літака. Решта з наведених властивостей – характеризують витратність процесу застосування літака у виконанні завдань за призначенням. Відтоді, комплексний критерій, який слід побудувати для порівняльного оцінювання ступеню пристосованості (ефективності) НБЛ повинен базуватися на використанні як найменш на двох груп показників – результативності та витратності, тобто відображувати їх співвідношення.

Кожна з властивостей, що наведені, описується своєю групою показників, в результаті чого, загальна ступінь придатності НБЛ – може бути описаною множиною визначальних (основних) тактико-техніко-економічних показників.

Групу показників ефекту (результативності) можна описати деяким узагальненим показником ефекту ( $K_{нлп}^*$ ), якщо визначити деякий еталонний навчально-бойовий літак, певним ступенем пристосованим для вирішення задач навчальної льотної підготовки. Приймаючи, що для цього еталонного літака такий узагальнений показник дорівнює одиниці  $K_{нлп\text{ ет}}^* = 1,0$ , а будь який тип навчально-бойового літака може бути оціненим своїм значенням такого показника  $K_{нлп\text{ j}}^*$ , то можна ввести відносний узагальнений показник пристосованості навчально-бойового літака до виконання задач навчальної льотної підготовки  $K_{нлп\text{ j}}$  як:

$$K_{\text{нлп } j} = \frac{K_{\text{нлп } j}^*}{K_{\text{нлп } \text{ет}}^*}. \quad (1)$$

За своєю сутністю цей відносний узагальнений показник характеризує, в скільки разів НБЛ j-го типу за своїм ступенем пристосованості по призначенню перевищує або програє деякому обраному за еталон типу НБЛ, наприклад, Л-39. Тобто, ступень пристосованості еталону обирається за одиницю вимірювання для інших типів НБЛ.

Згідно відомих з системного аналізу та теорії кваліметрії методичних підходів, узагальнений показник результативності НБЛ будь-якого типу може бути представленим у вигляді деякої функціональної залежності його значення від набору факторів – значень відповідних тактико-технічних показників НБЛ, що описують всі основні його властивості:

$$K_{\text{нлп } j}^* = \phi(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_I), \quad (2)$$

де  $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_I)$  – значення тактико-технічних характеристик, що описують властивостей НБЛ, які впливають на ступінь пристосованості літака до виконання задач навчальної льотної підготовки – фак-

тори кваліметричної моделі.

В загальному випадку, конкретний вид залежності (2) є невідомим та таким, що підлягає визначенню хоча би у наближеному вигляді. Невідомою є і множина факторів, яка би в достатньому ступені описувала таку залежність.

Визначення виду моделі (2) може бути здійснено в різний спосіб: або за допомогою статистичних методів, або методами експертного оцінювання. Так, при застосуванні методів експертного оцінювання, вираз (2) може бути заміненим наближеною адитивною або мультиплікативною згортокою виважених факторів.

Формування області факторного простору для розробки кваліметричних моделей (множину факторів) можна здійснити шляхом аналізу чинних, та апробованих практикою курсів навчальної льотної підготовки курсантів у Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

На першому етапі досліджень по обґрунтуванню факторного простору було проведено декомпозицію курсів навчальної льотної підготовки курсантів для визначення вагомості факторів. Схематично, така декомпозиція наведена на рис. 2.

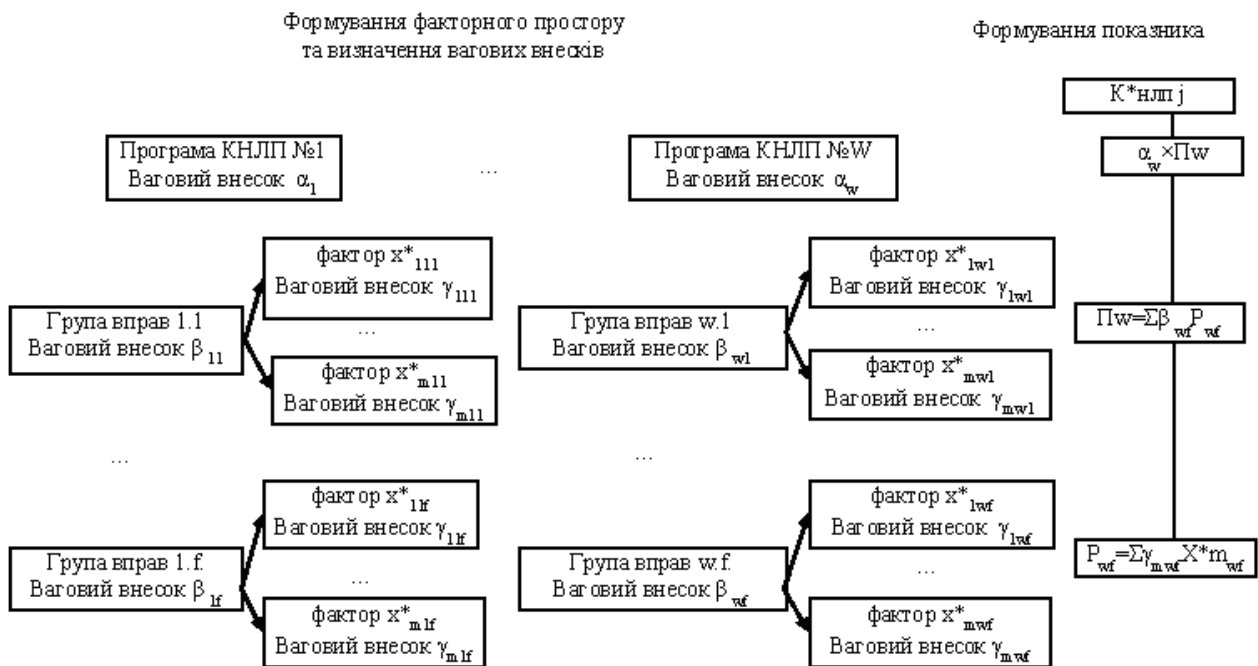


Рис. 2. Декомпозиція програм курсів навчальної льотної підготовки та визначення вагомості факторів

Вправи кожної програми були розподілені на окремі групи за ознакою єдності переліку ТТХ навчально – бойового літака, які за думкою експертів найбільш впливають на виконання курсантами даних вправ. В кожній групі вправ, шляхом попарного порівняння експертами та обробкою результатів порівняння відомим методом аналізу ієрархій, визначаються вагомості кожної ТТХ, що увійшла до

даної групи. В аналогічний спосіб здійснюється оцінювання вагомості кожної групи у кожній програмі курсу навчальної льотної підготовки.

На основі отриманих результатів та за кожним рівнем ієрархії будується система часткових показників, а саме, показник значущості виділених ТТХ НБЛ в групі вправ, а по отриманих результатах оцінювання вагомості груп вправ – частковий показник

вагомості кожної групи вправ у кожній програмі курсу. Шляхом поєднання отриманих згорток, отримується згортка виділених ТТХ, що описує вагомість кожної ТТХ НБЛ в кожній програмі курсу навчальної льотної підготовки. Наприкінці, по результатах визначення вагомості програм курсу визначається згортка, яка зв'язує введений узагальнений показник пристосованості НБЛ до виконання задач навчальної льотної підготовки з обраною сукупністю ТТХ літака.

З метою побудови описаної ієрархічної структури було проведено аналіз вправ, які входять у програми курсу наземної і льотної підготовки на навчально-тренувальному літаку (КНЛП) [1], а також курсу бойової підготовки на навчально-тренувальному літаку (КБП НТЛ) [2]. В загальному випадку кожна вправа включає в себе декілька польотів, які, в свою чергу, розподіляються на ряд елементів польоту. Під час аналізу з'ясувалися однотипні вправи, які складаються з однакових або схожих елементів польоту. За підсумками аналізу була визначена сукупність груп вправ, на які розподіляється кожна програма КНЛП та КБП НТЛ.

Наступним етапом є визначення множини льотно-технічних та основних тактико-технічних характеристик навчально-тренувального або навчально-бойового літака, що визначають ступінь його придатності для виконання кожної групи вправ.

За вищезазначеною методикою було проведено аналіз задач КНЛП та КБП НТЛ на навчально-тренувальному літаку щодо значущості основних тактико-технічних характеристик навчально-тренувальних та навчально-бойових літаків під час льотного навчання курсантів і обґрунтування включення цих характеристик до факторного простору показників результативності НБЛ в рішенні задач КНЛП і КБП НТЛ для розробки кваліметричних моделей.

Проведений аналіз показує, що найбільш поширеними елементами польотів, які входять до вправ різних програм КНЛП та КБП НТЛ є гірка з кутом нахилу траєкторії  $\theta=30^\circ$ ,  $\theta=40^\circ$ ,  $\theta=45^\circ$  і  $\theta=60^\circ$ , віражі з кутами крену  $\gamma=30^\circ$ ,  $\gamma=45^\circ$  і  $\gamma=60^\circ$ , пікірування з кутами нахилу траєкторії  $\theta=30^\circ$ ,  $\theta=40^\circ$ ,  $\theta=45^\circ$  і  $\theta=60^\circ$ , бойовий розворот по типу висхідної спіралі, низхідна спіраль з  $\gamma=45^\circ$ , переворот, петля Нестерова, напівпетля, вісімка з  $\gamma=60^\circ$ , горизонтальна бочка, віраж, граничний по тязі, звалювання, коса петля, бойовий розворот за типом косої петлі, напівпереворот, гранична по тязі вісімка, подвійна горизонтальна бочка, петля Нестерова з бочкою у верхній точці, бочка на гірці з кутом  $60^\circ$ , переворот на гірці, вертикальна вісімка з напівбочками на висхідній частині у куті  $60^\circ$ , розворот на  $90^\circ$  с  $\gamma=20^\circ$ ,  $30^\circ$ .

Більш детальний аналіз дозволяє зробити висновки про те, що, незважаючи на досить велику

кількість елементів польоту, в окремі групи завдань доцільно виділити основні етапи польоту: зліт, маневрування та посадка.

Перша група завдань – зліт, складається з двох елементів завдань: розбіг та розгін з набором висоти.

На основі проведеного аналізу, встановлено, що для розбігу найбільш визначальними параметрами є злітний кут атаки  $\alpha_{зл}$ , коефіцієнт піднімальної сили літака під час відриву  $C_{y_a \text{ відр}}$ , швидкість відриву  $V_{\text{відр}}$ , поздовжнє перевантаження  $n_{x \text{ розб}}$ , тягоозбросність  $\mu$ .

Для розгону з набором висоти до переліку важливих льотно-технічних характеристик слід віднести допустимий кут атаки  $\alpha_{\text{доп}}$ , допустимий коефіцієнт піднімальної сили  $C_{y_a \text{ доп}}$ , швидкість звалювання  $V_{зв}$ , поздовжнє перевантаження  $n_x$ .

Друга група завдань включає в себе маневрування в горизонтальній та вертикальній площинах та просторове маневрування.

Третя група завдань – посадка, складається з трьох елементів: вирівнювання, витримування та пробігу.

За підсумками проведеного аналізу встановлено наступні характеристики НБЛ, які доцільно включити до факторного простору кваліметричної моделі НБЛ, що формується:

- граничне по тязі перевантаження  $n_{y_{ар}}$  ;
- тягова озбросність  $\mu$  ;
- швидкість звалювання  $V_{зв}$  ;
- допустимий кут атаки  $\alpha_{\text{доп}}$  ;
- наявна швидкість крену  $\omega_{x_{\text{наян}}}$  ;
- прийомісткість двигунів ;
- поздовжнє перевантаження при розгоні літака ;
- максимальна швидкопідйомність  $V_{y_{\text{max}}}$  ;
- швидкість відриву  $V_{\text{відр}}$  ;
- злітний кут атаки  $\alpha_{зл}$  ;
- коефіцієнт піднімальної сили літака під час відриву  $C_{y_a \text{ відр}}$  ;
- поздовжнє перевантаження на розбігу  $n_{x_{\text{розб}}}$  та пробігу  $n_{x_{\text{проб}}}$  ;
- посадочна швидкість  $V_{\text{пос}}$  ;
- посадочний коефіцієнт піднімальної сили  $C_{y_a \text{ пос}}$  .

Таким чином, виділено 15 основних характеристик НБЛ, які безпосередньо впливають на прояв його властивостей при навчанні курсантів.

Наведений перелік характеристик НБЛ, яких

обрано на доцільність використовувати в якості факторів моделі, не є остаточним та може бути скоригованим у бік зменшення їх кількості при більш детальному розгляді наявних взаємних зав'язків між ними.

### Висновки

На основі аналізу системи навчальної льотної підготовки курсантів обґрунтовано початкове обрання факторного простору для побудови кваліметричної моделі перспективного навчально-бойового літака.

В подальшому планується провести експертне опитування досвідчених льотчиків-інструкторів, та за результатами такого опитування – отримати значення вагових внесків виділених ТТХ НБЛ, що дозволить побудувати вираз для розрахунку відносно узагальненого показника для оцінювання результативності використання літака для льотної навчання.

### Список літератури

1. Курс наземної і льотної підготовки курсантів на літаку Л-39. – Х.: ХУПС, 2004. – 184 с.

2. Курс бойової підготовки на навчально-тренувальному літаку Л-39. – Х.: ХУПС, 2014. – 243 с.

3. Долженков Н.Н. Методологические основы проектирования авиационных учебно-тренировочных комплексов / Н.Н. Долженков // Полет. – 2000. – № 6. – С. 16-19.

4. Долженков Н.Н. Внешнее проектирование учебно-тренировочных самолетов / Н.Н. Долженков // Полет. – 2000. – № 9. – С. 18-21.

Надійшла до редколегії 6.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співробітник В.В. Логінов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

### ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФАКТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧЕБНО-БОЕВОГО САМОЛЕТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КУРСА УЧЕБНОЙ ЛЕТНОЙ ПОДГОТОВКИ

А.Н. Алимбиев, В.П. Ерошенко, И.Б. Ковтонюк, А.Б. Леонтьев

На основе анализа курса учебной летной подготовки курсантов высшего военного учебного заведения построена иерархическая структура показателей свойств учебно-боевого самолета. Эта структура описывает степень приспособленности самолета к решению задач летного обучения. Путем анализа выявленных связей основных тактико-технических характеристик построено факторное пространство для разработки кваліметрической модели учебно-боевого самолета.

**Ключевые слова:** свойства, учебно-боевой самолет, учебная летная подготовка, тактико-технические характеристики, кваліметрическая модель, факторное пространство.

### JUSTIFICATION OF FACTOR-SPACE SELECTION FOR QUALIMETRIC MODELLING OF COMBAT-CAPABLE TRAINER AIRCRAFT ON THE BASIS OF FLIGHT INSTRUCTION TRAINING SESSION ANALYSIS

A.M. Alimpiev, V.P. Yeroshenko, I.B. Kovtonyuk, O.B. Leontev

On the basis of flight instruction training session of cadets in air military high school analysis hierarchical data structure of combat-capable trainer aircraft characteristics was constructed. This structure describes the rate of aircraft adaptation to flight instruction solution. Factor-space for qualimetric modeling of combat aircraft was built by means of detected links of main battle characteristics analysis.

**Keywords:** characteristics, decomposition, combat-capable trainer aircraft, flight instruction training session, main battle characteristics, qualimetric modeling, factor-space.