

УДК 629.735.072.8.08:681.3(043.2)

## МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОРІВНЯЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ТРЕНАЖЕРІВ

Самков О.В., Корнієнко О.В., Височанський А.С., Качур С.Ю.

Національний авіаційний університет

sam\_a2006@i.ua

Стаття присвячена розгляду питання розроблення методичних основ щодо порівняльного оцінювання авіаційних тренажерів та створення відповідного алгоритму.

The article is designed to consider the question of elaboration systematic foundations of aviation trainer's comparative appreciation and creation the proper algorithm.

### Вступ

У сучасних умовах ще більше зростають вимоги до безпеки польотів в авіації в цілому та рівня кваліфікації льотного складу зокрема. Одним із важливих шляхів їх забезпечення є підвищення ефективності застосування авіаційних тренажерів. Ринок пропонує велику кількість різних типів сучасних авіаційних тренажерів (АТр), які мають свої переваги, недоліки та різну вартість [1]. У таких умовах споживачеві дуже складно зробити правильний вибір того чи іншого зразка АТр, який би максимально задовольняв вимоги до підготовки льотного складу, а також мав помірну вартість.

### Постановка завдання

Зараз не існує такої системи підтримки прийняття рішень (СППР), яка б давала змогу обґрунтовано приймати рішення щодо вибору кращого варіанта АТр. При цьому процес порівняльного оцінювання й вибору проводиться інтуїтивно на основі суб'єктивних оцінок людини, що призводить до помилок та багатомільйонних витрат.

Звідси виникає завдання з розроблення методичних основ для проведення порівняльного оцінювання та обґрунтованого вибору зразків АТр.

Сьогодні існує ряд методів для порівняльного оцінювання зразків складних технічних систем, серед яких методи аналізу ієрархій, простого зважування, ідеальної точки, ЕЛЕКТРА [2].

Найпоширенішим у застосуванні є метод

© О.В. Самков, О.В. Корнієнко, А.С. Височанський, С.Ю. Качур, 2009

аналітичних ієрархічних процесів (МАІП), або метод аналізу ієрархій (МАІ) [3; 4]. МАІ — багатокритеріальний метод прийняття рішень, який використовує ієрархічну чи мережеву структуру представлення завдання прийняття рішення і визначення пріоритетів альтернативних варіантів на основі суджень особи яка приймає рішення (ОПР).

**Метою** цієї статті є вибір тренажера, який би забезпечив належний рівень підготовки льотного складу й мав помірну ціну. Такий вибір можливо зробити на основі комплексного оцінювання основних показників АТр, методу МАІ для порівняльного оцінювання зразків та відповідного алгоритму вибору зразків АТр з

урахуванням показників ефективності (якості) та вартості.

На сьогодні існує багато різних показників оцінювання АТр. Їх можна розділити на дві групи: *навчальної ефективності* та *економічні*. Як комплексний показник запропонований показник навчальної ефективності АТр [1] —  $K_{н.е}$

$$K_{н.е} = K_3 \cdot K_я \cdot K_{п.з} \cdot K_{п.м} \quad (1)$$

де  $K_3$  — показник відносної кількості завдань, що вирішуються;  $K_я$  — показник якості завдань, що вирішуються;  $K_{п.з}$  — показник пропускну здатності АТр;  $K_{п.м}$  — показник переважних можливостей АТр.

Зв'язок показників ефективності застосування АТр у системі підготовки льотного складу можна подати у вигляді (рис. 1).

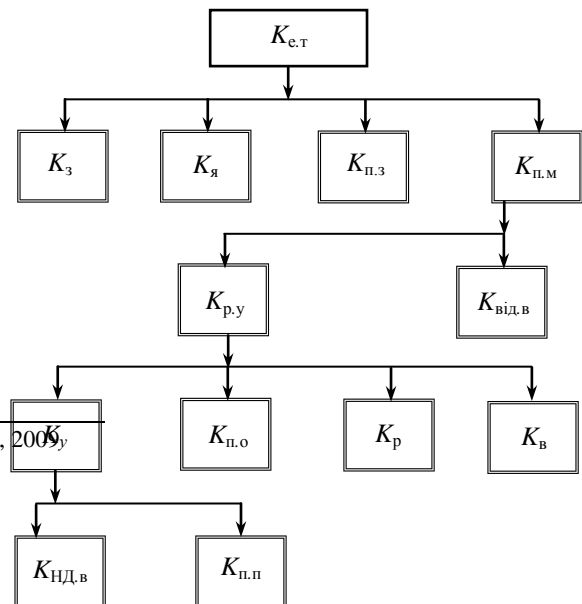


Рис. 1. Ієрархічна структура показників ефективності застосування АТр

Основні вирази для розрахунку показників ефективності включають:

$$K_3 = N_{AT} / N_{ЛА},$$

де  $N_{AT}$  — кількість реалізованих на АТр вправ;  $N_{ЛА}$  — загальна кількість вправ для ЛА, що імітується;

$$K_{\text{я}} = \sum_{i,j} K_{ij} \Pi_{ij} / \Pi_{\Sigma},$$

де  $K_{ij}$  — оцінювання експерта;  $\Pi_{ij}$  — кількість експертів, що дали  $K_{ij}$  оцінку;  $\Pi_{\Sigma}$  — загальна кількість експертів;

$$K_{\text{п.з}} = H_{\text{р.н}} / H_{\text{макс р.н}},$$

де  $H_{\text{р.н}}$  — річний наліт АТр;  $H_{\text{макс р.н}}$  — максимально можливий річний наліт АТр;

$$K_{\text{п.в}} = 1,2 + K_{\text{р.у}} + K_{\text{від.в}},$$

де  $K_{\text{р.у}}$  — показник рівня автоматизації управління процесом тренування на АТр;  $K_{\text{від.в}}$  — показник, який характеризує відносну кількість вправ, що можуть бути відпрацьовані лише на АТр;

$$K_{\text{р.у}} = d_1 K_{\text{я}} + d_2 K_{\text{п}} + d_3 K_{\text{р}} + d_4 K_{\text{в.в}},$$

де  $K_{\text{р.у}}$  — показник відносної кількості вправ, що оцінюються;  $K_{\text{п}}$  — показник, що характеризує повноту оцінювання елементів вправ, що відпрацьовуються на АТр;  $K_{\text{р}}$  — показник рівня автоматизації розбору результатів виконання вправи;  $K_{\text{в.в}} = 1$  — показник рівня автоматизації вибору вправ;  $d_1, d_2, d_3, d_4$  — вагові коефіцієнти;

$$K_{\text{від.в}} = N_{\text{АТ.в}} / N_{\text{ЛА}},$$

де  $N_{\text{АТ.в}}$  — кількість вправ, що можуть відпрацьовуватися тільки на АТр;

$$K_{\text{я}} = \beta_1 K_{\text{НД.в}} + \beta_2 K_{\text{о.в}},$$

де  $K_{\text{НД.в}}$  — показник відносної кількості вправ, що визначені нормативною документацією (НД);  $K_{\text{о.в}} = 1$  — показник можливості організації оцінювання вправ, що не передбачені НД,  $\beta_1, \beta_2$  — вагові коефіцієнти;

$$K_{\text{п.о}} = \frac{1}{N_{\text{е.в}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{е.в}}} N_{\text{п.е}}^i / N_{\text{а.о}}^i,$$

де  $N_{\text{е.в}}$  — кількість елементів вправ, що відпрацьовуються на АТр,  $i$  — номер елемента;  $N_{\text{п.е}}^i$  — кількість параметрів  $i$ -го елемента, оцінювання яких забезпечується автоматизованою системою (АС);  $N_{\text{а.о}}^i$  — кількість параметрів  $i$ -го елемента, які підлягають автоматизованому оцінюванню;

$$K_{\text{р}} = \frac{1}{N_{\text{е.в}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{е.в}}} N_{\text{з.о}}^i / N_{\text{а.о}}^i,$$

де  $N_{\text{з.о}}^i$  — кількість причин зниження оцінювання  $i$ -го елемента, виявлених АС;  $N_{\text{а.о}}^i$  — кількість причин зниження оцінок  $i$ -го елемента, що підлягають автоматизованому оцінюванню;

$$K_{\text{НД.в}} = \frac{1}{N_{\text{я}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{я}}} N_{\text{е.ав}}^i / N_{\text{е.ав.о}}^i,$$

де  $N_{\text{я}}$  — кількість вправ, обумовлена НД для відпрацювання на АТр;  $N_{\text{е.ав}}^i$  — кількість елементів

$i$ -ї вправи, що оцінюються автоматизовано,  $N_{\text{е.ав.о}}^i$  — кількість елементів, що підлягають автоматизованому оцінюванню в  $i$ -й вправі.

Як комплексний економічний показник АТр запропоновано [1] показник річного економічного ефекту ( $E_{\text{р.е}}$ ), який характеризує річний економічний ефект від використання одного тренажера в системі підготовки льотного складу

$$E_{\text{р.е}} = C_{\text{г.в.ПС}} T_{\text{ч.п}} - C_{\text{г.в.Т}} T_{\text{Т}}, \quad (2)$$

де  $C_{\text{г.в.ПС}}$  — показник годинної вартості експлуатації ПС;  $T_{\text{ч.п}}$  — показник часу підготовки на тренажері, еквівалентному часу польоту в реальних умовах;  $C_{\text{г.в.Т}}$  — показник годинної вартості експлуатації тренажера;  $T_{\text{Т}}$  — показник часу наробітки тренажера за рік.

Для вирішення поставленого завдання МАІ запропоновано застосувати алгоритм на основі чотирирівневої ієрархічної структури, яка виділяє на першому рівні об'єкти дослідження, на другому — показники та критерії, на третьому — інтегральні критерії (ІК), на четвертому — ціль, бажаний результат (рис. 2).

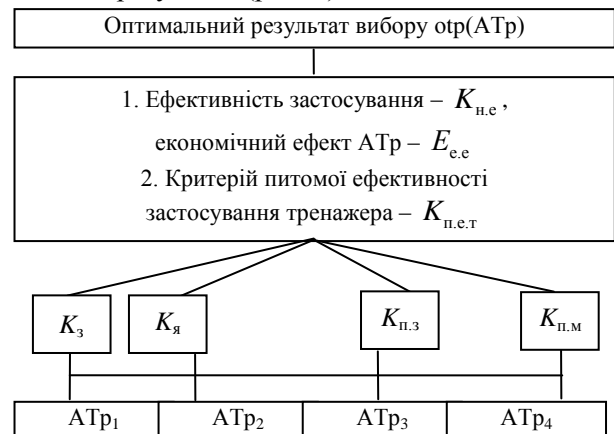


Рис. 2. Алгоритм вирішення завдання на основі чотирирівневої ієрархічної структури

Завдання порівняльного оцінювання може вирішуватися як при кількох запропонованих ІК, так і при одному загальному.

У першому випадку завдання перетворюється на багатокритеріальну, у другому — на однокритеріальну.

Як загальний інтегральний критерій може бути запропонований критерій питомої ефективності застосування тренажера  $K_{\text{п.е.т}}$ . Його фізичний зміст — приріст величини ефективності застосування тренажера, який припадає на одиницю приросту річного економічного ефекту від

використання одного тренажера.

Значення  $K_{п.с.т}$  дорівнює відношенню приростів показників ефективності застосування тренажера (1) та річного економічного ефекту від використання одного тренажера (2).

Попередньо розраховані значення вищевказаних локальних показників наведено в табл. 1.

За допомогою методу МАІ при порівняльній оцінці АТр проведена оцінювання ступеня впливу факторів нижнього рівня ієрархії на бажаний результат.

Таблиця 1

## Оцінювальні показники порівнюваних АТр

АТр	Оцінювальні показники			
	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>
1	0,8	0,8	0,75	0,9
2	0,7	0,7	0,7	0,8
3	0,65	0,55	0,75	0,8
4	0,4	0,5	0,85	0,65

Алгоритм оцінювання включає такі етапи:

1. Вибір основних показників та інтегральних критеріїв;
2. Структурування поставленого завдання;
3. Парне порівняння показників;
4. Обчислення векторів пріоритетів нижчих рівнів;
5. Обчислення глобальних пріоритетів.

Розглянемо апробацію запропонованого алгоритму на прикладі вибору кращого варіанта АТр із чотирьох гіпотетичних запропонованих тренажерів. Порівняльне оцінювання й вибір проведемо на основі одного інтегрального критерію — комплексного показника навчальної ефективності АТр.

**Етап 1**

За ІК обрана ефективність застосування АТр —  $K_{н.с.}$ , а за показники взяті:  $K_3$ ;  $K_я$ ;  $K_{п.з}$ ;  $K_{п.м}$ .

**Етап 2**

Встановлюються взаємозв'язки між об'єктами, показниками, ІК і ціллю, складається структурна схема (рис. 2).

**Етап 3**

Порівнюються оцінки експертів, які враховують визначення інтенсивності впливу показників на ІК, на основі 9-бальної шкали порівнянь альтернатив (табл. 2).

Таблиця 2

## Шкала порівнянь альтернатив

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	Рівна важливість показників
3	Помірна перевага одного над іншим
5	Сильна перевага

7	Значно сильна перевага
9	Абсолютно сильна перевага
2, 4, 6, 8	Проміжні судження
Обернені числа	Наприклад, отриманий результат 3, тоді результат оберненого порівняння 1/3

Після попарного порівняння показників для рівня 1 за допомогою вищезазначеної шкали формується табл. 3.

Таблиця 3

## Матриця попарних порівнянь показників відносно ІК

Показник	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>
П <sub>1</sub>	1	1	3	1/3
П <sub>2</sub>	1	1	1/3	1/3
П <sub>3</sub>	1/3	3	1	1/3
П <sub>4</sub>	3	3	3	1

Таким чином отримуємо 4 матриці розмірністю 4×4, окремо для кожного показника.

**Етап 4**

З групи матриць парних порівнянь формується набір локальних пріоритетів, що виражають відносний вплив множини елементів на елемент верхнього рівня. Для цього обчислюємо власний вектор для кожної матриці, що відповідає найбільшому власному числу, а потім нормалізуємо результат до одиниці. Так одержуємо вектор пріоритетів. Знаходження вектору пріоритетів проводиться за допомогою методу середнього геометричного [1].

Вектори пріоритетів для 2 рівня наведено в табл. 4.

Таблиця 4

## Вектори пріоритетів для ІК

Показник	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	
Вектор пріоритету	0,25	0,25	0,25	0,25	
Пріоритети АТр по кожному показнику	АТр <sub>1</sub>	0,21	0,17	0,15	0,07
	АТр <sub>2</sub>	0,21	0,17	0,066	0,12
	АТр <sub>3</sub>	0,1	0,17	0,29	0,57
	АТр <sub>4</sub>	0,48	0,5	0,49	0,24

**Етап 5**

Глобальний пріоритет для ІК АТр знаходиться як сума добутків локальних пріоритетів на пріоритет відповідного показника (табл. 5).

Таблиця 5

## Глобальний пріоритет

АТр	Глобальний пріоритет для ІК «технічна досконалість»
-----	-----------------------------------------------------

1	0,15
2	0,1415
3	0,283
4	0,428

З аналізу результатів розрахунків випливає що кращим зразком із запропонованих варіантів є АТр №4, який і обирається.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень сформоване завдання, обраний метод досліджень (МАІ). Для гіпотетичних тренажерів складений алгоритм порівняльного оцінювання. Результати апробації дали можливість вибрати найкращий варіант АТр із представлених варіантів, що підтверджує працездатність запропонованого алгоритму.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дудкін І.П., Мартинов В.С., Паутинка В.М. Методика визначення показників військово-економічної оцінювання ефективності застосування авіаційних тренажерів // Зб. наук. праць. — К. : Науковий центр ПС ЗС України, 2004. — № 7. — С. 91—97.

2. Семенов С.С. Оценка технического уровня

образцов вооружения и военной техники / С.С. Семенов, В.Н. Харчев, А.И. Иоффин. — М. : Радио и связь, 2004. — 552 с.

3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М. : Радио и связь, 1993. — 320 с

4. Самков О. В. Методичний підхід до вирішення завдання порівняльного оцінювання і вибору варіантів модернізації повітряних суден по сукупності кількісно-якісних показників // Матеріали 8 Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2007». — К.: НАУ, 2007. — Т. 2. — С. 34.9—34.12.

1. Минаев Ю.Н., Филимонова О.Ю. Тензорный базис в концепции нечеткости и формальных методах // В кн. «Материалы 10-й междунар. конф. по автоматическому управлению». — Севастополь, 15—19 сентября 2003 г. — С. 154—156.

2. Минаев Ю.Н., О.Ю. Филимонова Ю.Н. Тензорный базис как основа новых алгоритмов решения задач управления в условиях неопределенности // В кн. «Новые информационные технологии: Сб. трудов VI Всероссийской научно-технической конференции» (Москва, 23—24 апреля 2003 г.). В 2 кн. Т.1 / под. общ. ред. А.П. Хныкина. — М.: МГАПИ, 2003. — С. 142—147.

Стаття надійшла до редакції 22.04.09