

УДК 072.4(045)

¹О.М. Рева, д-р техн. наук, проф.
²В.А. Шульгін, старш. викл.**МОДЕЛІ НЕЧІТКИХ ОЦІНОК ТОЧНОСТІ ПІЛОТУВАННЯ
ЗА ОКРЕМИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПОЛЬОТУ**¹ Навчально-льотний центр Міжнародної акціонерної авіаційної компанії “УРГА” (Кіровоград)

E-mail: alex_reva@host.kr.ua

² Державна льотна академія України (Кіровоград)
E-mail: asup@glau.kr.ua; E-mail: VAShylgin@ukr.net

На підставі рекомендацій ІКАО щодо оціночних рівнів якості льотної експлуатації повітряних суден, використовуючи методи нечітких множин і матрицю підказок, розроблено технологію та процедури побудови функції належності лінгвістичної змінної “точність пілотування”. Розглянуто 35 окремих елементів інформаційної моделі польоту, що оцінюються в процесі льотної експлуатації літака Ан-24. Наведено приклади побудови функцій, застосування яких розширює методологічні можливості оцінок рівня професійної підготовки пілотів.

Being based on «non strict» ICAO recommendations as for value levels of aircraft flight operations quality, using non-exact multi-version methods as well as “assistance matrix” developed are technology and procedures of providing attribute functions of “Flight precision” linguistic variable. Studied are 35 separate elements of flight information model that were valued in the process of Antonov-24 flight operation. Provided are examples of such functions building up the of which expands methodic abilities to value pilot professional training level.

Постановка проблеми

Системний аналіз професійної діяльності пілотів та методів її оцінювання виявив джерела нечіткості і невизначеності нестохастичного характеру, що їм притаманні та постійно її супроводжують [1–3]. Тому є нагальна потреба доповнення традиційних форм і методів оцінки рівня професійної підготовки якісними (нечіткими) критеріями і нормативами. ІКАО декларує відповідний підхід до такої оцінки, проте не наповнюючи його конкретними рекомендаціями [4]. Така сама ситуація спостерігається і у пропозиціях Єврокомісії щодо взаємного визнання рівнів навчальних досягнень студентів у країнах-членах Євросоюзу [5]. Порівняльний аналіз відповідних матеріалів, наведених у табл. 1, наочно ілюструє це твердження. У той самий час результати наукових досліджень в області моделювання нечіткого управління повітряними суднами, що отримані вченими СНД [6], не знайшли свого подальшого розвитку і застосування. Подальші дослідження нечітких оцінок ефективності функціонування авіаційних систем проведено під керівництвом проф. О.М. Реви [1–3; 7–11].

Нами була сформована така терм-множина (множина термінів) лінгвістичної змінної “точність пілотування” (ТП):

$$T_{\text{ТП}}^{\text{M}} = \tilde{R}_1 + \tilde{R}_2 + \tilde{R}_3 + \tilde{R}_4 + \tilde{R}_5 + \tilde{R}_6 + \tilde{R}_7, \quad (1)$$

де \tilde{R}_1 – гранично невисока оцінка; \tilde{R}_2 – дуже невисока оцінка; \tilde{R}_3 – невисока оцінка; \tilde{R}_4 – середня оцінка; \tilde{R}_5 – висока оцінка; \tilde{R}_6 – дуже висока оцінка; \tilde{R}_7 – надзвичайно висока оцінка.

Найбільш зручним для побудови відповідних функцій належності з гладкими фронтами, що спадають до нуля, є метод з умовною назвою “матриця підказок”.

Технологія застосування матриці підказок

Нехай $\bar{\varepsilon}(x)$ – нормована базова змінна лінгвістичної змінної ТП, яка має вигляд:

$$\bar{\varepsilon}(x) = \frac{|x - x_0|}{x_n},$$

де x – значення параметра польоту, що вимірюється; x_0 – значення еталона параметра польоту, відносно якого вимірюється “відмінність”; x_n – нормативне значення параметра, що вимірюється.

У загальному випадку $x_0 = x_n$. Завдання полягає в побудові функції належності $\mu(x)$ ($\mu(\bar{\varepsilon}(x))$).

Уся необхідна інформація збирається експертним опитуванням. У загальному випадку судження експертів з урахуванням специфіки задачі можуть бути виявлені [12]: значенням функції належності $\mu_i(x)$; точкою на заданій шкалі; ука-зівкою типу функції належності $\mu_i(x)$ з заданої їх сім’ї на шкалі характеристики; графіком функції належності; аналітичною функцією.

Виявленню і аналізу підлягають десятки рекомендованих показників професійної підготовки пілотів [1], ураховуючи великий обсяг вхідної інформації, а також той факт, що відхилення фактичного значення в бік збільшення і зменшення може мати різну цінність з точки зору безпеки польотів, найбільш прийнятним слід вважати метод збору інформації “точка на заданій шкалі” (рис. 1).

Таблиця 1

Міжнародні норми якісної (нечіткої) оцінки рівня професійної підготовки пілотів

Позначка оцінки, X / Y	Оцінка рівня підготовки		Лінгвістична характеристика оцінки рівня підготовки
	практичної (ICAO)	теоретичної (ECTS)	
A / A	Вище середньої – надзвичайно високий рівень майстерності виконання вправи з використанням правильних технічних прийомів	Відмінно – відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	Дуже високий
B / B	Вище середньої – кваліфіковане виконання вправи з використанням правильних технічних прийомів, з незначними помилками	Дуже добре – вище середнього рівня з кількома помилками	Високий
C / C	Середня – добрий рівень підготовки з незначними помилками, які не мають принципового значення	Добре – у цілому вірна робота з певною кількістю грубих помилок	Середній
D / D	Середня – прийнятний рівень підготовки з незначними помилками, проте втручання чи допомога не потрібні	Задовільно – непогано, але із значною кількістю недоліків	Невисокий
E / E	Нижче середньої – початкове виконання вправи не цілком відповідало нормам, однак вправа повторена правильно без явних труднощів	Достатньо – виконання задовольняє відповідні критерії	Низький
F / FX	Незадовільна – суттєві помилки і / або внаслідок використання неправильних прийомів чи процедур рівень виконання вправи був неприйнятним	Незадовільно – потрібно попрацювати перед тим, як отримати залік (перескладання)	Дуже низький
- / X	-	Незадовільно – необхідна серйозна подальша робота (повторний курс навчання)	Гранично низький

Примітка: X – позначки оцінок у рекомендаціях ICAO; Y – позначки оцінок у рекомендаціях ECTS.

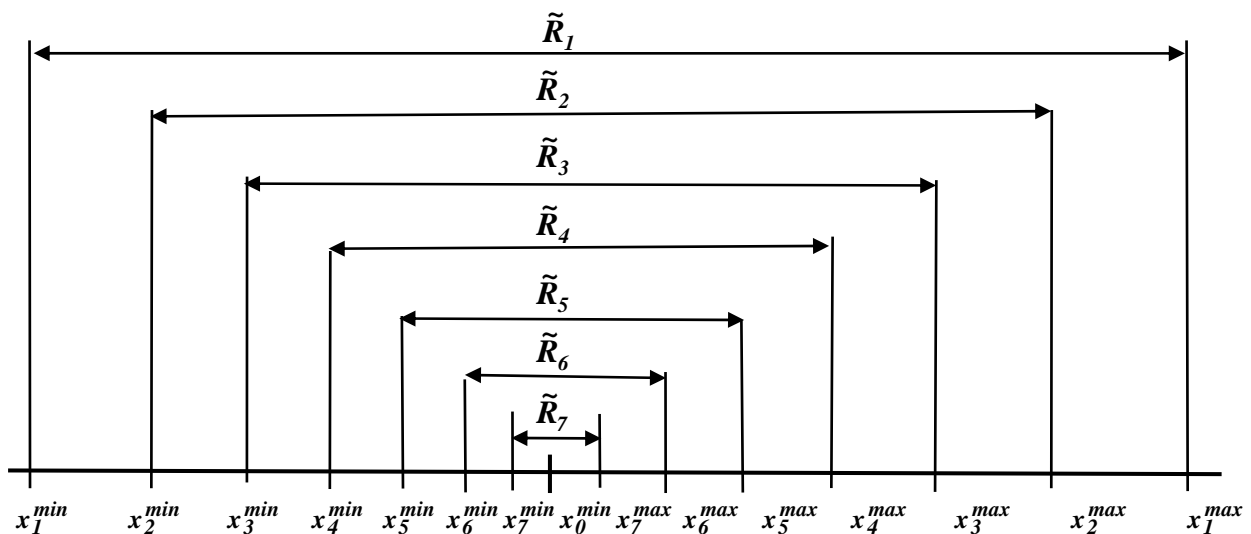


Рис. 1. Парадигма визначення координат – меж оцінок точності пілотування окремих елементів інформаційної моделі польоту

Межові значення x_i^{\max} і x_i^{\min} формалізуються пілотами-інструкторами за концептуальною моделлю польоту:

$$\left. \begin{aligned} x \in \tilde{R}_i, \text{ якщо } \mu_i(x) > 0, \quad x_i^{\min} < x < x_i^{\max} \\ x \notin \tilde{R}_i, \text{ якщо } \mu_i(x) = 0, \quad x_i^{\max} \leq x \leq x_i^{\min} \end{aligned} \right\}$$

де \tilde{R}_i – терм (ранг) i -ї оцінки.

До досліджень були залучені 16 пілотів-інструкторів літака Ан-24 Державної льотної академії України, які мають багаторічний досвід льотно-методичної роботи. Кожний з них, усвідомлюючи інформаційну модель польоту та її окремих елементів (табл. 2), переводить їх у поняття значень лінгвістичної змінної, термножина якої подана у формулі (1).

Обробка одержаних даних проводиться у такій послідовності:

1) з отриманої множини значень $x_{iq}^{\max}, x_{iq}^{\min}$, де q – номер експерта-інструктора, визначають відповідні значення:

$$\left. \begin{aligned} x_{i \max} &= \max_q x_{iq}^{\max} \\ x_{i \min} &= \min_q x_{iq}^{\max} \end{aligned} \right\};$$

2) визначають розмах варіювання параметра x від оптимального значення x_0 як у бік збільшення, так і зменшення його значень:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x^+ &= x_{\max} - x_0 \\ \Delta x^- &= x_0 - x_{\min} \end{aligned} \right\};$$

3) для побудови функцій належності величини $\Delta x^+, \Delta x^-$ поділяють на k інтервалів згідно з правилом Штюргенса [13]:

$$k \approx 1 + 3,32 \log n,$$

де n – кількість точок на інтервалі Δx^+ або Δx^- :

$$n = N n_{\tilde{R}};$$

N – кількість експертів; $n_{\tilde{R}}$ – розмірність шкали.

Значення k можна розглядати як мінімальну кількість інтервалів, потрібну для адекватного відображення змін функцій належності. У той самий час необхідно, щоб довжина одного інтервалу була порівняна з половиною поділки шкали приладу, що відображає відповідний параметр x :

$$\frac{\Delta x^{+/-}}{k} \approx \frac{1}{2} D,$$

де D – поділка шкали авіаційного приладу.

Отримані результати створюють матрицю даних (табл. 3).

Подальша обробка статистичних даних проводиться з використанням матриці підказок [14],

Таблиця 2

Перелік елементів інформаційної моделі польоту, що оцінюються

Параметри польоту	x_i^{\min}	x_i^{\max}
Напрямок розбігу	- 15	+ 15
Швидкість підйому передньої опори	- 10	+ 35
Швидкість відриву	- 10	+ 40
Висота прибирання шасі	- 4	+ 25
Швидкість початку набору висоти	- 30	+ 50
Висота початку прибирання закрилків	- 15	+ 40
Швидкість початку прибирання закрилків	- 20	+ 30
Швидкість остаточного прибирання закрилків	- 30	+ 40
Швидкість набору висоти першого розвороту	- 30	+ 40
Швидкість на першому розвороті	- 30	+ 40
Висота першого розвороту	- 30	+ 60
Швидкість польоту по колу (шасі прибрані)	- 30	+ 40
Швидкість початку випуску шасі	- 30	+ 15
Швидкість польоту по колу (шасі випущені)	- 30	+ 40
Швидкість випуску закрилків на 15°	- 30	+ 25
Швидкість до четвертого розвороту	- 30	+ 40
Швидкість на четвертому розвороті	- 20	+ 30
Швидкість додаткового випуску закрилків до 38°	- 30	+ 15
Крен на розворотах	- 10	+ 10
Координатація на розворотах	- 1,5	+ 1,5
Курс	- 20	+ 20
Висота польоту по колу	- 60	+ 80
Вивід у створ злітно-посадкової смуги на четвертому розвороті	- 30	+ 30
Курс у створі радіостанцій	- 25	+ 25
Швидкість планерування	- 20	+ 30
Вертикальна швидкість	- 2,5	+ 4
Висота прольоту дальнього привідного радіомаяка	- 40	+ 60
Висота прольоту ближнього привідного радіомаяка	- 20	+ 30
Точність виходу на висоту прийняття рішень	- 20	+ 20
Висота початку вирівнювання	- 4	+ 12
Висота кінця вирівнювання	- 0,75	+ 3,75
Швидкість приземлення	- 20	+ 40
Місце приземлення	- 250	+ 500
Ширина зони приземлення	- 0,5	+ 0,5
Перевантаження	-	+ 2

процедури використання якої для досліджень авіаційних систем були вперше адаптовані у працях [7; 8]. Матриця підказок являє собою рядок, елементи якого обчислюються так:

$$k_j = \sum_{i=1}^7 n_{ij}.$$

Далі у матриці вибирається максимальний елемент:

$$k_{\max} = \max_j k_j.$$

Усі елементи табл. 3 обчислюють за формулою

$$c_{ij} = \frac{n_{ij} k_{\max}}{k_j}$$

Таблиця 3

Приклад форми подання результатів експерименту для окремого елемента інформаційної моделі польоту

Лінгвістична змінна	Інтервал					
	1	2	...	<i>j</i>	...	<i>k</i>
\tilde{R}_7	n_{71}	n_{72}	...	n_{7j}	...	n_{7k}
\tilde{R}_6	n_{61}	n_{62}	...	n_{6j}	...	n_{6k}
\tilde{R}_5	n_{51}	n_{52}	...	n_{5j}	...	n_{5k}
\tilde{R}_4	n_{41}	n_{42}	...	n_{4j}	...	n_{4k}
\tilde{R}_3	n_{31}	n_{32}	...	n_{3j}	...	n_{3k}
\tilde{R}_2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2j}	...	n_{2k}
\tilde{R}_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1j}	...	n_{1k}
Матриця підказок	k_1	k_2	...	k_j	...	k_k

Обчислені значення c_{ij} створюють матрицю (табл. 4). Максимальні елементи визначають по відповідних рядках табл. 4:

$$c_{i\max} = \max_j c_{ij}$$

Таблиця 4

Приклад формування матриці $\|c_{ij}\|$

Лінгвістична змінна	Інтервал					
	1	2	...	<i>j</i>	...	<i>k</i>
\tilde{R}_7	c_{71}	c_{72}	...	c_{7j}	...	c_{7k}
\tilde{R}_6	c_{61}	c_{62}	...	c_{6j}	...	c_{6k}
\tilde{R}_5	c_{51}	c_{52}	...	c_{5j}	...	c_{5k}
\tilde{R}_4	c_{41}	c_{42}	...	c_{4j}	...	c_{4k}
\tilde{R}_3	c_{31}	c_{32}	...	c_{3j}	...	c_{3k}
\tilde{R}_2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2j}	...	c_{2k}
\tilde{R}_1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1j}	...	c_{1k}

Значення функції належності обчислюють за формулою

$$\mu_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i\max}}$$

Обчислені значення μ_{ij} визначають ступінь належності *j*-го інтервалу до *i*-ї оцінки. Отже, необхідно на *j*-му інтервалі визначити точку зі ступенем належності μ_{ij} .

Для цього розглянемо відповідний інтервал для випадку відхилення параметра у бік збільшення (рис. 2).

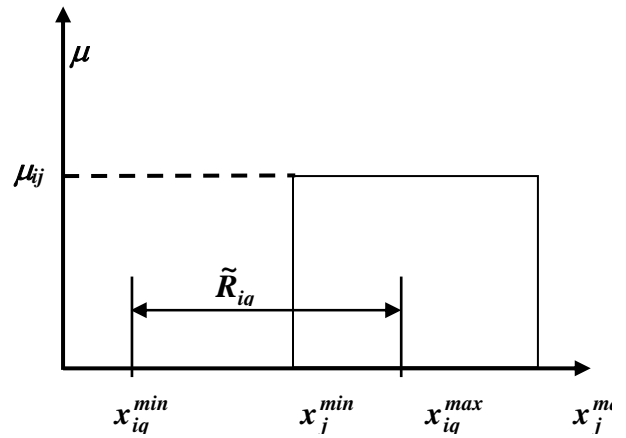


Рис. 2. Інтервал на осі *x*

Область значень \tilde{R}_{iq} визначає належність кожного значення всередині цієї області до *i*-ї оцінки точки зору експерта і обмежується справа значеннями x_{iq}^{\max} , а зліва – x_{iq}^{\min} .

При цьому справедливо $\forall q: x_j^{\min} \leq x_{iq}^{\max}$.

Звідси випливає, що єдина точка на *j*-му інтервалі, яку всі експерти відносять до оцінки \tilde{R}_i , – це точка x_j^{\min} . Таким чином, маємо

$$\left. \begin{aligned} \forall x_{iq}^{\max} \in [x_j^{\min}, x_j^{\max}] \quad \mu_i(x) = \mu_{ij} / x = x_j^{\min} \\ \forall x_{iq}^{\min} \in [x_j^{\min}, x_j^{\max}] \quad \mu_i(x) = \mu_{ij} / x = x_j^{\max} \end{aligned} \right\}$$

Отже, щодо одержаних даних, будуються функції належності якісних оцінок техніки пілотування для всіх 35 складових елементів інформаційної моделі польоту, приклади чотирьох з них показано на рис. 3.

Висновки

1. ІСАО та Євросоюз припускають наявність нечітких оцінок рівня підготовленості тих, хто навчається.
2. Уявлення рівнів професійної підготовленості пілотів як лінгвістичних змінних відкриває широкі перспективи для застосування методів нечіткої математики у процесах їх вимірювання і оцінювання.
3. Сформовано терм-множину лінгвістичної змінної ТП, яка поєднує сім термів.
4. Розроблено процедуру та технологію побудови функцій належності лінгвістичної змінної ТП елементів інформаційної моделі польоту, для яких існують експлуатаційні обмеження.

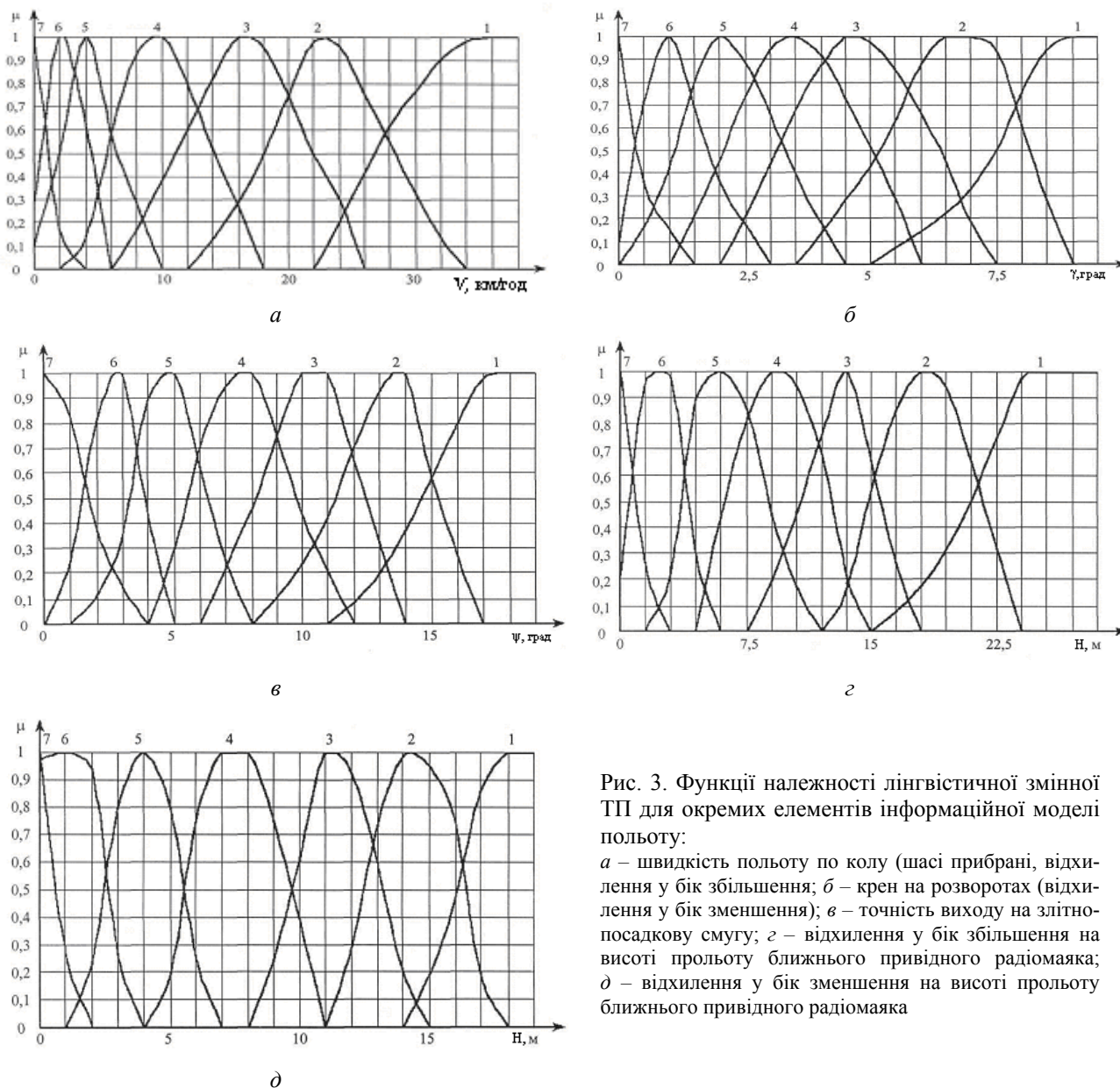


Рис. 3. Функції належності лінгвістичної змінної ТП для окремих елементів інформаційної моделі польоту:

a – швидкість польоту по колу (шасі прибрані, відхилення у бік збільшення); *б* – крен на розворотах (відхилення у бік зменшення); *в* – точність виходу на злітно-посадкову смугу; *г* – відхилення у бік збільшення на висоті прольоту ближнього привідного радіомаяка; *д* – відхилення у бік зменшення на висоті прольоту ближнього привідного радіомаяка

5. Побудовано функції належності 35 елементів інформаційної моделі польоту на літаку Ан-24.

6. Отримані нові наукові результати дозволяють розширити коло методичних засобів оцінки професійної підготовки пілотів.

7. Подальші дослідження слід проводити у таких напрямках:

– нормування ординат одержаних функцій належності та розробки ймовірнісної відповідності кількісних і якісних показників точності пілотування;

– розробка методології інтегральної якісної оцінки техніки пілотування з урахуванням кількісно-якісної оцінки окремих елементів інформаційної моделі польоту.

Література

1. Гафанович А.В., Кленцарь В.И., Рубець М.И. Содержание и анализ рекомендуемых показателей профессиональной обученности летного состава // Пробл. аэронавигации: Тематичний зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛІАУ, 1996. – С. 132–136.
2. Гафанович А.В., Рева А.Н., Рубець М.И. Проблема нечетких подходов к оценке уровня профессиональной подготовленности авиационного оператора // Пробл. аэронавигации: Тематичний зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛІАУ, 1997. – С. 52–56.
3. Рева О.М., Журавльова Л.А. Основні джерела невизначеності та помилок операторів авіаційних ергатичних систем: Конспект лекцій з курсу “Основи теорії прийняття рішень”. – Кіровоград: ДЛІАУ, 1998. – 40 с.

4. *Руководство по обучению*. Doc. ICAO 7192-AN / 857/– Комплексный курс подготовки пилотов коммерческой авиации (Курс № 236 ICAO): Для подготовки пилотов в соответствии со стандартами по выдаче свидетельств пилота коммерческой авиации (самолет) с квалификационной отметкой о классе «многодвигательный самолет» (сухопутный). – Монреаль, Канада, 1985. – 266 с.
5. *Журавський В.С., Згуровський М.З.* Болонський процес: головні принципи входження в Європейський простір вищої освіти. – К.: ІВЦ “Політехніка”, 2003. – 200 с.
6. *Бурдун И.Е.* Разработка и применение методов, основанных на теории нечетких множеств, для исследования управляемого движения воздушных судов в ожидаемых условиях эксплуатации: Дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта». – Рига: РКИИГА, 1982. – 337 с.
7. *Рева А.Н.* Достаточная степень соответствия информационных моделей тренажера и самолета первоначального обучения // Пробл. розробки і застосування в навчальному процесі вищих навчальних закладів спеціалізованих тренажерів, автоматизованих робочих місць та автоматизованих навчальних систем: Тези доп. наук.-метод. конф., Кіровоград, 14–16 верес. 1994 р. – Кіровоград: ДЛАУ, 1994. – С. 18.
8. *Рева О.М.* Матриця підказок для побудови функцій належності лінгвістичної змінної “подібність (відповідність)” літака та тренажерного засобу // Наук. пр. акад. – Вип. IV. Ч. I. – Кіровоград: ДЛАУ, 1999. – С. 151–160.
9. *Гафанович А.В., Рева А.Н.* Агрегирование частных качественных оценок техники пилотирования // Перспективы развития гражданской авиации и подготовка высококвалифицированных кадров: Сб. тр. 1-й Международ. конф. Ч. 1/ Под ред. проф. К.Б. Алдамжарова. – Алматы, 18–22 сент. 2000 г. – Алматы, 2000. – С. 65–69.
10. *Шульгин В.А.* Формування терм-множини лінгвістичної змінної “точність пілотування” // Наук. пр. акад.: Тематичний зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 2004. – Вип. VII. Ч. I. – С. 46–57.
11. *Шульгин В.А.* Вибір методу побудови функцій належності лінгвістичної змінної “точність пілотування” // Наук. пр. акад.: Тематичний зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 2005. – Вип. VIII. Ч. I. – С. 84–99.
12. *Надежность и эффективность в технике: Справ. в 10 т. Т.3. Эффективность технических систем / Под общ. ред В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова.* – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
13. *Львовский Е.Н.* Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высш. шк., 1982. – 224 с.
14. *Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров.* – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

Стаття надійшла до редакції 19.10.06.