

УДК 656.7.086 (045)

О.М. Тачиніна, к.т.н., доц.

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЕКІПАЖУ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ОСОБЛИВОЇ СИТУАЦІЇ У ПОЛЬОТІ

Запропоновано алгоритм формування рекомендаційної інформації екіпажу в умовах розвитку особливої ситуації у польоті.

The algorithm of generation of advisory information for flight crew during evolution of abnormal situation in flight is proposed.

багатофункціональний індикатор, база знань, лінгвістична змінна, особлива ситуація в польоті

Вступ

Світовий досвід експлуатації повітряних суден (ПС) показує, що головним завданням у розвитку сучасного авіаційного транспорту є забезпечення безпеки польотів.

Постановка завдання

За даними Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) основними причинами авіаційних подій (близько 70 %) є помилки екіпажу [1].

Більшість авіаційних подій пов'язана з невчасними і неправильними діями екіпажу. Розвиток особливої ситуації (ОС) має швидкоплинний характер, і екіпаж не завжди має час для парирования або стабілізації розвитку ситуації, що склалася. У зв'язку з цим доцільно знати шляхи скорочення часу, потрібного екіпажу на усунення розвитку позаштатної ситуації або запобігання переходу її з аварійної в катастрофічну.

Інформаційна система

Одним з напрямів скорочення часу потрібно пілоту на усунення або стабілізацію розвитку типової ОС може стати застосування інформаційної системи, яка б надавала рекомендації екіпажу.

Аналіз інформації, що поступає екіпажу під час виникнення позаштатних ситуацій, показав, що існуюча сигналізація має звукову і світлосигнальну форму, яка носить попереджувальний характер.

Мета статті – виведення рекомендаційної інформації до дій, що підказують екіпажу, яку з можливих альтернатив він повинен використовувати в ситуації, що склалася.

Для вирішення цього завдання в роботі передбачається застосування математичного апарату з використанням регулятора, принцип дії якого оснований на нечіткій логіці.

Основна перевага нечіткої логіки в тому, що вона дозволяє використовувати засоби природної мови для формування рекомендаційної інформації екіпажу в польоті.

Особливість застосування нечіткого регулятора (НР) полягає в тому, що правила нечіткого формування рекомендаційної інформації, будучи умовними висловлюваннями типу «якщо..., то..., інакше – погіршення розвитку ОС», є логічними.

Застосування такого регулятора дозволить реалізувати попередній позитивний досвід дій екіпажів в аналогічних ситуаціях у вигляді алгоритму «якщо..., то..., інакше – погіршення розвитку ОС» під час формування рекомендацій, направлених на парировання розвитку аналогічних ОС.

Основною передумовою застосування в інформаційній системі нечіткого регулятора є можливість розглядати параметри ОС та керуючі дії екіпажу як лінгвістичні змінні, які оцінюються термами (засоби природної мови).

Кожний терм розглядається як нечітка множина та формалізується за допомогою функції належності $\mu^T(x)$.

Функція $\mu^T(x)$ визначає степінь належності елемента x (лінгвістичної змінної) до нечіткої множини T (терм) у числовому значенні у межах $[1; 0]$. Нечітка множина повністю описується її функцією належності. Далі відбувається перехід від кінцевого значення функції належності до конкретної інформації, яку подають у вигляді підказок екіпажу.

Принцип формування рекомендаційної інформації розглянемо на прикладі структурної схеми штурвального режиму керування для повздовжнього каналу з НР (рис. 1).

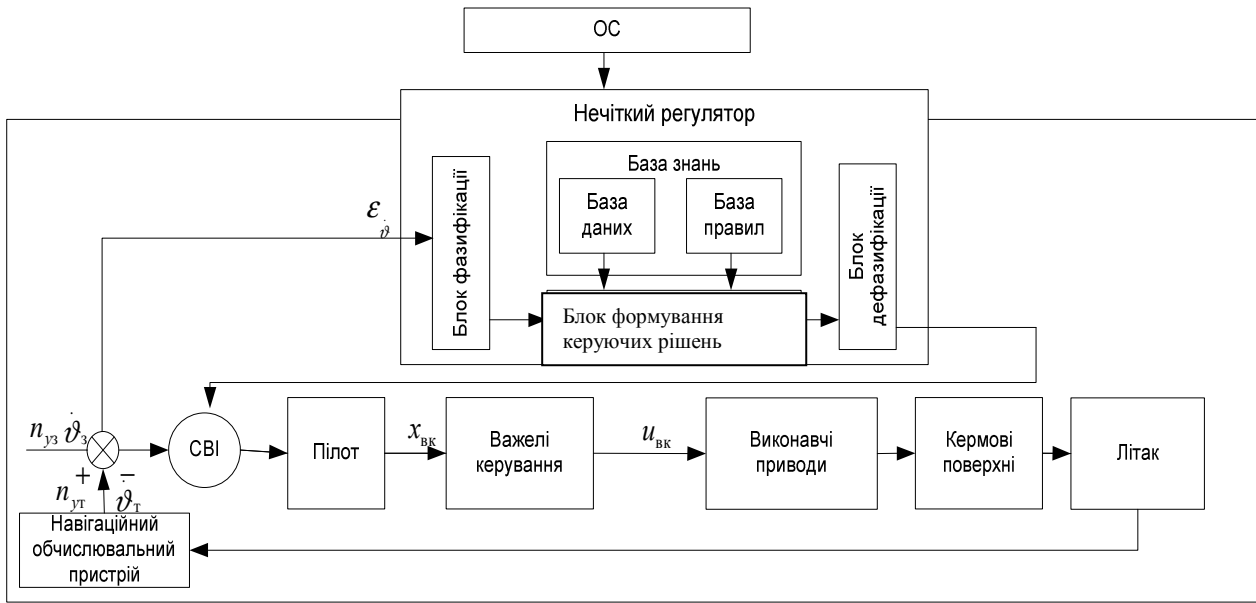


Рис. 1. Структурна схема штурвального режиму керування для поздовжнього каналу з нечітким регулятором:

- $\dot{\vartheta}_3$ – задане значення кутової швидкості;
- $\dot{\vartheta}_\phi$ – фактичне значення кутової швидкості;
- n_3 – задане значення перевантаження;
- n_ϕ – фактичне значення перевантаження;
- $x_{вк}$ – керуючий вплив, що здійснює екіпаж

Для цього за вхідні лінгвістичні змінні беруть похибки неузгодженості за кутом тангажа ϵ_ϑ та його похідної $\dot{\epsilon}_\vartheta$, а за вихідні лінгвістичні змінні – значення керуючого впливу $\Delta\delta_{кв}$ (керма висоти), яке у вигляді рекомендації поступатиме на багатофункціональний індикатор (БФІ). Алгоритм роботи нечіткого регулятора пояснимо так.

Поточне значення похідної кута тангажа $\dot{\vartheta}_T$ порівнюється з її заданим значенням $\dot{\vartheta}_3$, неузгодженість ϵ_ϑ надходить у блок фазифікації для перетворення її поточного значення в її лінгвістичне значення. Нечітка величина ϵ^* надходить у головний елемент нечіткого регулятора – базу знань.

Базу знань НР пропонують формувати на основі алгоритму у вигляді «якщо..., то..., інакше – погіршення розвитку ОС». Кожне керуюче правило (КП) – фрагмент знань і виглядає «умова–дія».

Це правило в базі знань подано в такий спосіб:
 – якщо ϵ буде ϵ^* , то u буде u^* , інакше – погіршення розвитку ОС;
 – якщо ϵ буде ϵ^{**} , то u буде u^{**} , інакше – погіршення розвитку ОС;
 – якщо ϵ буде ϵ^{***} , то u буде u^{***} , інакше – погіршення розвитку ОС (ϵ, u – похідна похибки неузгодженості, керування по каналу тангажа, $\epsilon^*, \epsilon^{**}, \epsilon^{***}, u^*, u^{**}, u^{***}$ – їх лінгвістичні оцінки). Блок дефазифікації здійснює перетворення лінгвістичних значень u^*, u^{**}, u^{***} у їх чіткі числові значення $u_{1\vartheta}^*, u_{2\vartheta}^{**}, u_{3\vartheta}^{***}$. Знайдене чітке значення керуючого впливу, буде надходити на БФІ.

Лінгвістичні правила керування не можуть бути реалізовані на сучасних ПК. Для формалізації лінгвістичних правил керування пропонують описати зазначені причинно-наслідкові зв'язки природною мовою з застосуванням теорії нечітких множин і лінгвістичних змінних та з урахуванням позитивного попереднього досвіду дій інших екіпажів в аналогічних ситуаціях, отриманих у результаті застосування когнітивного моделювання.

Для цього подамо систему «літак–екіпаж–середовище» в ОС як об'єкт із n входами й одним виходом [2]

$$p = f(m_1, m_2, \dots, m_n), \quad (1)$$

де

p – вихідна змінна;

m_1, m_2, \dots, m_n – вхідні змінні.

Змінні m_1, m_2, \dots, m_n і p є кількісними, тому передбачаються відомими межі їх зміни :

$$M_i = [m_{i \min}, m_{i \max}], i = \overline{1, n};$$

$$P = [p_{\min}, p_{\max}],$$

де

$m_{i \min} (m_{i \max})$ $p_{\min} (p_{\max})$ – мінімальне (максимальне) значення вхідної й вихідної змінних.

Завдання полягає у тому, щоб для вектора $M^* = [m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*]$ фіксованих значень вхідних змінних $m_i^* \in M_i, i = \overline{1, n}$ заданої системи «літак – екіпаж – середовище» визначити необхідний керуючий вплив $p^* \in P$, тобто чітке значення регульованої величини, що подається на БФІ.

Для оцінки лінгвістичних змінних $m_i, i = \overline{1, n}$ і p використовувались нечіткі множини: $S_i = [s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^l]$ – нечітка множина змінної $m_i, i = \overline{1, n}$; $V = [v_1, v_2, \dots, v_r]$ – нечітка множина змінної p .

Ці нечіткі множини S_i^q й V_j будуть визначатись співвідношеннями:

$$s_i^q = \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \mu^{s_i^q}(m_i) / m_i; \quad (2)$$

$$v_j = \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} \mu^{v_j}(p) / p, \quad (3)$$

де

$s_i^q(m_i)$ – функція належності вхідної змінної $m_i \in [m_{i \min}, m_{i \max}]$ множині $S_i^q \in S_i, q = \overline{1, l}, i = \overline{1, n}$;

$\mu^{v_j}(y)$ – функція належності вихідної змінної $p \in [p_{\min}, p_{\max}]$ рішенню $v_j \in V, j = \overline{1, r}$.

На підставі виразів (2), (3) співвідношення (1), що встановлює зв'язок між вхідними параметрами, які характеризують позаштатну ситуацію, що склалася, m_i і необхідним для запобігання розвитку ОС керуючим впливом p , формалізовано у вигляді системи нечітких логічних висловлень, які ґрунтуються на матриці знань, фрагмент якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Матриця знань

Номер вхідної комбінації значень	Вхідні змінні				Вихідна змінна
	m_1	m_2	\dots m_i \dots	m_n	P
11	s_1^{11}	s_2^{11}	s_i^{11}	s_n^{11}	v_1
12	s_1^{12}	s_2^{12}	s_i^{12}	s_n^{12}	
...	
1 k_1	$s_1^{1k_1}$	$s_2^{1k_1}$	$s_i^{1k_1}$	$s_n^{1k_1}$	

Наявні експертні дані, подані у вигляді матриці знань, установлюють зв'язок між набором вхідних параметрів, що характеризують поточний стан системи «літак–екіпаж–середовище» в ОС $m_1 - m_n$, і відповідним набором станів системи необхідних керуючих впливів $v_j, j = \overline{1, r}$ у вигляді логічних висловлювань типу «якщо (склалася ситуація), то (для запобігання її розвитку необхідний певний керуючий вплив), інакше – погіршення розвитку ОС».

Розроблені матриці знань дозволяють формалізувати польотну інформацію з урахуванням поточного розвитку ОС у вигляді нечітких логічних висловлень, що зв'язують лінгвістичні змінні та вихідний керуючий вплив.

Задачу формування бази знань для видачі рекомендацій пропонують вирішити за допомогою когнітивного моделювання, яке базується на основі суб'єктивних уявлень експертів і аналітиків про ситуацію, що склалася, і можливі виходи з неї.

Під когнітивною картою розуміється суб'єктивна модель сприйняття ситуації у вигляді елементарних семантичних категорій, пов'язаних відповідними відносинами (рис. 2).

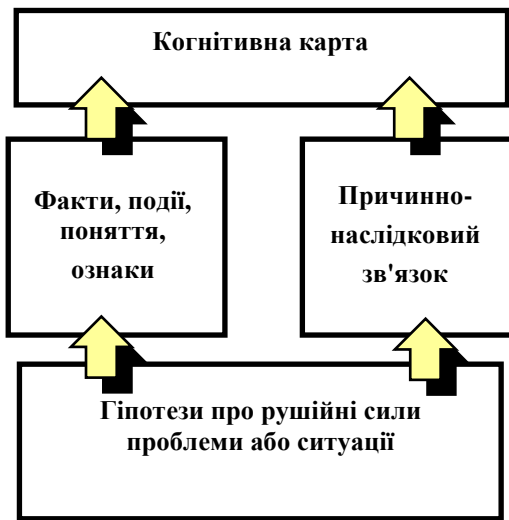


Рис. 2. Структура когнітивного моделювання

Як показує аналіз [1], існує декілька методів побудови когнітивних моделей:

- 1) когнітивну карту формує особа, яка приймає рішення (ОПР);
- 2) побудова когнітивної моделі (КМ) системними аналітиками та експертами або експертами-аналітиками в одній особі (у подальшому експертами) на базі вивчення документів;
- 3) побудова (КМ) на базі опитування групи експертів, які мають можливість оцінювати причинні зв'язки;
- 4) побудови КМ шляхом відкритих вибіркового опитів.

Аналіз цих методів дозволив виділити їх основні переваги і недоліки.

Перевага першого методу полягає в тому, що це найшвидший спосіб побудови КМ, а його недолік – залежність отриманих результатів від кваліфікації ОПР.

Другий метод має дві переваги: він зручний і дозволяє використовувати дані, які використовує ОПР. Проте вивчення документів експертами – процес досить складний і тривалий.

Переваги третього методу полягають у можливості агрегувати індивідуальні уявлення експертів у більшому діапазоні оцінок порівняно з оцінками, отриманими під час вивчення документів.

Четвертий метод можна використовувати для побудови КМ, які порівнюються. Його переваги полягають у наданні можливості дослідникові вести активний діалог з джерелом інформації.

Для досліджень обрали третій метод, що базується на опитуванні експертів, оскільки його можливості дозволяють використовувати апарат теорії нечітких множин [1], а також метод, заснований на обробці статистичних даних.

Значення лінгвістичних змінних пропонують описати згідно з якісною шкалою, яка сформульована в термінах теорії нечітких множин:

- НВ – негативне велике;
- НС – негативне середнє;
- НМ – негативне мале;
- НН – негативно близьке до нуля;
- БН – близьке до нуля;
- ПН – позитивно близьке до нуля;
- ПМ – позитивне мале;
- ПС – позитивне середнє;
- ПВ – позитивне велике.

Для визначення ступеня приналежності лінгвістичних змінних наведеним нечітким множинам, групі експертів запропонували оцінити ділянки

значень вхідних змінних ε_{ϑ} , $\dot{\varepsilon}_{\vartheta}$ та вихідної змінної $\Delta\delta_{\kappa\sigma}$. В анонімному індивідуальному опитуванні беруть участь 10 респондентів з високим рівнем авторитету, за спеціальністю – пілоти і пілоти-випробувачі.

Потім експертам запропонували ділянки значень лінгвістичних змінних: ε_{ϑ} похибки неузгодженості за кутом тангажа ϑ та її похідної $\dot{\varepsilon}_{\vartheta}$, а також керуючих впливів $\Delta\delta_{\kappa\sigma}$ описати згідно з наведеною якісною шкалою, яка сформульована в термінах теорії нечітких множин. Результати проведеного тестування для кожної з лінгвістичної змінної зведено в табл. 2.

Таблиця 2

База знань

Номер лі- нвістич- ної змінності	Значення неузгодженості		
	ε_{ϑ}	$\dot{\varepsilon}_{\vartheta}$	$\Delta\delta_{\kappa\sigma}$
1	НВ	НВ або НС	ПВ
2	НВ або НС	НМ	ПС
3	НМ	ПМ або Н	ПС
4	НН	ПВ або С	ПС
5	НН	НВ або С	НС
6	ПН або БН	НН	НН
7	ПН	НВ або С	ПС
8	ПН	ПВ або ПС	НС
9	ПМ	ПМ або НН	НС
10	ПВ або ПС	НМ	НС
11	ПВ	НВ або НС	НВ
12	НН	ПМ	ПМ
13	НН	НМ	НМ
14	ПН	ПМ	ПМ
15	ПН	ПМ	НМ

Далі експертам запропонували ділянки значень вхідних ε_{ϑ} , $\dot{\varepsilon}_{\vartheta}$ та вихідної змінної $\Delta\delta_{\kappa\sigma}$ описати відповідно до наведеної якісної шкали, що сформульована в термінах теорії нечітких множин. Результати опитування респондентів для змінної ε_{ϑ} зведено у табл. 3.

Таблиця 3

Відповідність меж значень лінгвістичної змінної ε_{ϑ} нечітким множинам

Нечітка множина	Ділянка значень ε_{ϑ}								
	-10--7	-7--5	-5--2-	-2--0	0	0-2	2-5	5-7	7-10
НВ	7	2	1						
НС		6	2	2					
НМ		2	6	2					
НН				8	2				
Н					10	1			
ПН					1	9			
ПМ						2	8		
ПС							3	7	
ПВ								2	8
k_j	7	10	9	12	13	12	11	9	8

Обробка отриманих даних відбувається з використанням матриці підказок, елементи якої визначаються за формулою [3]:

$$k_j = \sum_{i=1}^9 b_{ij}, j = \overline{1,9}.$$

Матриця підказок для ε_{ϑ} матиме вигляд $M_{\varepsilon_{\vartheta}} = \parallel 7 \ 10 \ 9 \ 12 \ 13 \ 12 \ 11 \ 9 \ 8 \parallel$.

З останнього рядка табл. 2 обираємо елемент з максимальним значенням:

$$k_{\max} = \max k_j = \max \{7;10;9;12;13;12;11;9;8\} = 13.$$

Далі за виразом

$$c_{ij} = \frac{b_{ij}k_{\max}}{k_j}, i = \overline{1,9}, j = \overline{1,9}$$

знаходимо зважені значення лінгвістичних змінних, за максимальними значеннями яких визначаємо ступені належності значень лінгвістичних змінних до нечітких множин:

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

Для ε_{ϑ} визначасмо максимальні значення за рядками таблиці $c_{i \max} = \max_j c_{ij}, i = \overline{1,9}, j = \overline{1,9}$

$$\begin{matrix} c_{1 \max} = 13; & c_{4 \max} = 8,6; & c_{7 \max} = 9,45 \\ c_{2 \max} = 7,8; & c_{5 \max} = 10; & c_{8 \max} = 10,1; \\ c_{3 \max} = 8,6; & c_{6 \max} = 9,75; & c_{9 \max} = 13. \end{matrix}$$

За отриманими ступенями належності μ_i лінгвістичної змінної ε_{ϑ} до нечіткої множини будемо функцію належності значень лінгвістичної змінної ε_{ϑ} (рис. 3).

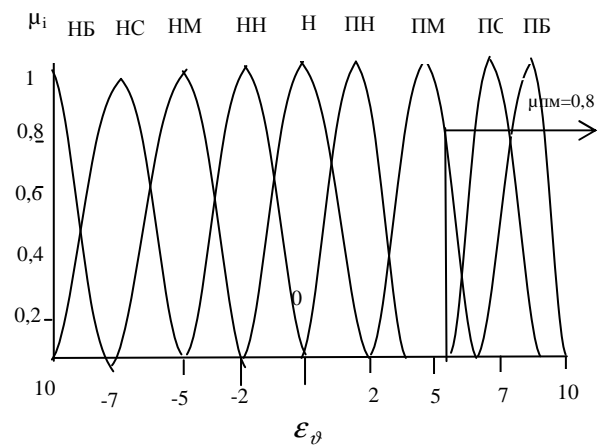


Рис. 3. Функції належності значень лінгвістичної змінної ε_{ϑ} нечітким множинам

Таким чином, принцип формування рекомендаційної інформації на основі розробленої бази знань (табл. 1) пояснимо таким чином: «якщо значення похибки неузгодженості за кутом тангажа $\varepsilon_{\vartheta} = 6$ відповідає нечіткій множині ПМ зі ступенем приналежності 0,8» і «Значення швидкості зміни похибки неузгодженості за кутом тангажа $\dot{\varepsilon}_{\vartheta} = 3$ відповідає нечіткій множині ПМ зі ступенем приналежності 0,6 то «Необхідний НС керуючий вплив, що відповідає розташуванню штурвала «Від себе», інакше «Погіршення розвитку ОС».

У цьому випадку для лінгвістичної змінної $\Delta\delta_{\kappa\sigma}$ нечіткі множини НВ, НС, НМ, НН – відповідають розташуванню штурвала «Від себе», а нечіткі множини ПВ, ПС, ПМ, ПН – відповідають розташуванню штурвала «На себе».

Як рекомендаційну інформацію екіпажу пропонують виводити: інформацію про зміну визначального параметра та необхідний керуючий вплив. Оскільки

$$\Delta \vartheta = \Delta \alpha + \Delta \theta,$$

а зміна кута нахилу траєкторії, що характеризує довгоперіодичний поздовжній рух літака відбувається істотно повільніше, ніж зміна кута атаки, припустимо, що

$$\Delta \vartheta \approx \Delta \alpha.$$

На підставі цього припущення при виведенні рекомендацій екіпажу на БФІ пропонується виводити інформацію не про похибку неузгодженості за кутом тангажа, а інформацію про зміну кута атаки (рис. 4).

Якщо $\Delta \alpha \uparrow$
То: Штурвал від себе
Інакше: Звалювання

Рис. 4. Приклад кадру виведення рекомендаційної інформації екіпажу на БФІ

Висновки

Запропонований алгоритм формування рекомендаційної інформації екіпажу в умовах розвитку ОС у польоті, заснований на позитивному попередньому досвіді експертів – пілотів, дозволяє формалізувати польотну інформацію з урахуванням поточного розвитку ОС у вигляді нечітких логічних висловів, що зв'язують вхідні лінгвістичні змінні і вихідні керівні дії, які у вигляді рекомендацій екіпажу поступають на БФІ.

Література

1. Тачинина Е.Н. Оценка возможности сокращения времени, требуемого экипажу для предотвращения особой ситуации в полете путем применения нечеткого регулятора /Е.Н. Тачинина, В.Н. Казак // Міжнар. наук. конф. «ISDMIT'2007». – Херсон: Вид-во Херсон. морського ін-ту, – 2007. – Т. II. – С. 64 – 68.
2. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления /В.И. Гостев. – К: Радио-аматор, 2003. – 512 с.
3. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособие для вузов / Е.Н Львовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.

Стаття надійшла до редакції 24.06.09.