

Дмитро Миколайович Обідін

## ПРОБЛЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

В сучасних умовах глобальною вимогою для розвитку та застосування авіації є безпека польотів. Статистика авіаційних катастроф та подій, як в Україні, так і в світі, для військової та цивільної авіації дозволяє зробити висновок про те, що найбільша частота причин (від 60 до 80 %) зумовлена так званим людським фактором. Це пояснюється, в основному, обмеженими можливостями пілота щодо управління складною технікою в непростих умовах. Одним з важливих напрямків забезпечення безпеки польоту є автоматизація управління польотом літального апарату (ЛА). Стан сучасних систем автоматичного управління (САУ) польотом ЛА відповідає існуючим міжнародним нормам. Але умови експлуатації, наприклад, цивільної авіації,

пов'язані з постійним зростанням інтенсивності польотів. За даними ІКАО складність управління повітряним рухом збільшилася на 7 – 10 % з 2007 р. по 2012 р. [1]. З іншого боку, дослідження показали, що перспективні високومانеврені військові літаки планується використовувати на межі експлуатаційних характеристик. Тому актуальними є дослідження в галузі створення САУ перспективних ЛА. Аналіз робіт вітчизняних та закордонних вчених дозволив виявити тенденції розвитку САУ, які засновані на принципах інтелектуалізації та адаптивності [1-5]. Дослідження показали багато переваг та проблем при побудові інтелектуальних САУ ЛА.

Загальна схема інтелектуальної САУ ЛА наведена на рис. 1.



Рис. 1. Інтелектуальна САУ літального апарату

Відомо, що основною підсистемою будь-якої інтелектуальної системи є база знань, яка постійно поширюється за рахунок накопичення досвіду під час експлуатації. Але знання мають суб'єктивний характер і тому потребують оцінки їх достовірності для подальшого раціонального використання в алгоритмах прийняття рішення. Проблематика так званої верифікації розподіленої бази знань та використання інформації про достовірність знань при формуванні управління, яке парире наслідки нештатних ситуацій, потребує детального вивчення.

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів підвищення ефективності складних технічних систем, до яких у повній мірі

відноситься й інтелектуальна САУ ЛА, дозволили зробити висновок про формування в останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного з забезпеченням системи властивостями функціональної стійкості. В [2] вперше введено поняття функціональної стійкості динамічної системи як «властивості системи, що полягає в здатності виконувати хоча б встановлений мінімальний об'єм своїх функцій при відмовах в інформаційній, обчислювальній та енергетичній частинах системи, а також при зовнішніх впливах, які передбачені умовами експлуатації».

Функціональна стійкість інтелектуальної САУ ЛА – це її властивість перебувати в стані працездатності, тобто виконувати необхідні

функції протягом заданого інтервалу часу або наробітки в умовах відмов складових частин через зовнішні і внутрішні фактори. Показники функціональної стійкості характеризують результат її забезпечення шляхом перерозподілу існуючої надмірності або ресурсів у позаштатних ситуаціях [1,2,4,5].

Дослідження показали, що функціональна стійкість складної технічної системи поєднує властивості надійності (безвідмовності), відмовостійкості і живучості. Функціональна стійкість розглядається як властивість системи успішно завершувати завдання при регламентованому числі змін в стані самої системи, тобто зберігати її працездатність після прояву припустимого числа відмов і зовнішніх збурень [1,2,4]. Реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням у складній технічній системі різних уже існуючих видів надмірності (інформаційної, функціональної, структурної, часової, навантажувальної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Принциповим є те, що на етапі проектування не повинна вводитися додаткова надмірність, а парирування наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом уже існуючих ресурсів. Проблема полягає у виявленні вже наявної надмірності та формуванні сигналів у потрібний момент на її перерозподіл. У цьому є основна відмінність задачі забезпечення функціональної стійкості від задачі побудови структурно надмірних систем [1].

Отже, ідея забезпечення інтелектуальної САУ ЛА властивостями функціональної стійкості актуальна, але існуюча теорія функціональної стійкості має обмежене застосування для цієї системи і вимагає відповідного розвитку. На практиці заходи щодо підвищення показників надійності, відмовостійкості та живучості в принципі не суперечать функціональній стійкості, але не носять системного, науково-обґрунтованого характеру.

Таким чином, функціональна стійкість, як властивість складної технічної системи,

забезпечується шляхом перерозподілу деякої існуючої в системі надмірності з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Заходи, які спрямовані на забезпечення або підвищення функціональної стійкості, в першу чергу, забезпечують поліпшення характеристик відмовостійкості і живучості, але не обов'язково показників надійності окремих комплектуючих елементів і виробів та тактико-технічних характеристик системи. Теорія функціональної стійкості перебуває в стадії розвитку і формування показників функціональної стійкості, як показників ефективності складних технічних систем, є важливим напрямком наукових досліджень. Аналіз функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА, як складної системи, дозволяє оцінити, наскільки реальний процес функціонування системи буде відповідати розрахунковому, тому що завжди при розрахунках користуються наближеними моделями і цілий ряд факторів не враховується.

Варто зазначити, що не всяка система може мати властивість функціональної стійкості, тобто, якщо немає надмірності, то нема чим і управляти при парируванні наслідків позаштатних ситуацій, значить навіть потенційно неможливо забезпечити цю властивість. Виникає логічне запитання про наявність зазначених видів надмірності в інтелектуальній САУ, а також про її кількісну оцінку. Не виникає сумніву, що база знань має надмірність, а саме: функціональну, часову, інформаційну та структурну.

Отже, у сучасних умовах особливу важливість для України здобуває загальна науково-прикладна проблема підвищення рівня безпеки польотів авіації Повітряних Сил ЗС України. Цю складну проблему прийнято ділити на ряд часткових проблем, однією з яких є підвищення ефективності інтелектуальної САУ ЛА. Важливим напрямком її вирішення є забезпечення системі властивості функціональної стійкості системи, що, за даними експертів, підвищить ефективність САУ на 10 – 15 % без істотних витрат (рис. 2).



Рис. 2. Проблема забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА

Аналіз існуючих наукових підходів розвитку та виявити суперечливу ситуацію, що забезпечення складним технічним системам властивості функціональної стійкості дозволив зробити висновок про необхідність їх подальшого

розвитку та виявити суперечливу ситуацію, що стала основою актуальної наукової проблеми. А саме, існують протиріччя між вимогами до САУ ЛА:

– між вимогою до підвищення ефективності інтелектуальної САУ, що потребує додаткових витрат, та вимогою на зменшення витрат на створення САУ перспективного ЛА –  
 1)  $\uparrow E \Rightarrow C \uparrow$ ; 2)  $\downarrow C$ .

– між вимогою на зменшення часу на створення САУ, що знижує ефективність системи, та вимогою до збільшення ефективності САУ  
 1)  $\downarrow T \Rightarrow E \downarrow$ ; 2)  $\uparrow E$ .

Дана суперечлива ситуація лежить в основі нової актуальної наукової проблеми забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА на етапах побудови та експлуатації в умовах зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих впливів.

Взаємозв'язок протиріч, науково-прикладної та наукової проблеми показано на рис. 3.

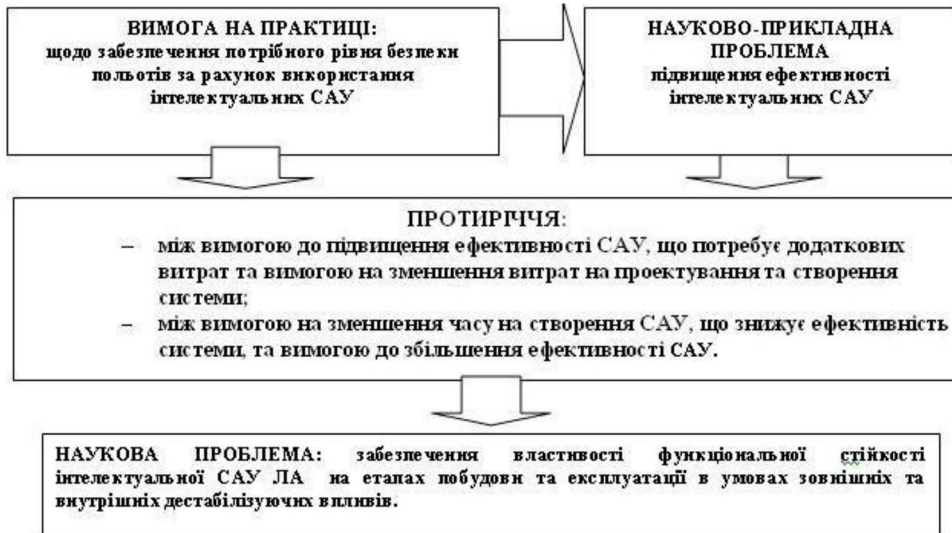


Рис. 3. Зв'язок протиріч і проблем

За визначенням, для розв'язання проблеми необхідно створити нову адекватну теорію. Існуюча теорія функціональної стійкості не розглядала такі складні системи, як інтелектуальні. Для таких систем не вирішені питання щодо оцінки достовірності складових елементів бази знань, які, зазвичай, мають суб'єктивний характер з подальшим використанням цієї інформації при формуванні відновлюючого управління. В класичній теорії функціональної стійкості ці етапи забезпечення властивості функціональної стійкості отримали назву відповідно «розпізнавання» та «парування». Таким чином, формалізація наукової проблеми отримала наступний вигляд.

**Математична формалізація наукової проблеми**

Математична модель опису структури розподіленої нечіткої бази знань інтелектуальної САУ ЛА. Для подальших досліджень будемо використовувати семантичну модель (орієнтований граф) [4]:

$$G(V, L), \quad V = \{v_i\}, \quad L = \{l_{ij}\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

у якому множині вершин V відповідає множина модулів знань потужності n, а множині ребер L відповідає множина відносин між модулями знань.

Граф може бути заданий трьома способами:

- матрицею зв'язності розміром  $n \times n$

$$A = \|a_{ij}\|, \quad i, j = 1..n, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } l_{ij} \in L; \\ 0, & \text{при } l_{ij} \notin L. \end{cases} \quad (2)$$

- списками зв'язності розміром  $1 \times m$ ;  $m = |L|$  ;

- списком суміжності, у якому кожній вершині

$v_i$  ставиться у відповідність список  $N_{v_i}$  вершин, суміжних з  $v_i$ . Під цей список досить відвести  $\deg(v_i)+1$  ячеек – по одній на кожен елемент й однієї ячейки для позначення кінця списку. Крім того, формується список  $N = (N_1, N_2, \dots, N_n)$ , де  $N_i$  – номер ячейки, у якій зберігається перший елемент списку  $N_{v_i}$ . Отже, такий спосіб представлення

графа вимагає  $\sum_{v \in V} (\deg(v) + 1) + n = 2m + 2n$  ячеек

пам'яті,  $m = |L|$ .

- матрицею інцидентності розмірністю  $n \times m$  [4].

При дослідженні графових моделей будемо використовувати наступні інваріанти (параметри) графів:

1) потужність множини вершин  $n = m_v = |V|$  ;

2) потужність множини ребер  $m = |L|$  ;

3) локальні ступені вершин (валентність) – число інцидентних ребер стосовно вершини  $v_i$ :

$$\alpha_i = \deg(v_i); \quad (3)$$

4) характеристичні числа матриці суміжності графа (слід графа)  $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , як рішення матричного рівняння:

$$A - \lambda E = 0 \quad (4)$$

де A – матриця суміжності графа;

$\lambda^T = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$  – вектор характерних чисел;

$E = \|e_{ij}\|$  – одинична матриця:

$$e_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{при } i \neq j; \\ 1, & \text{при } i = j. \end{cases}$$

5) число вузлов'язності  $\chi(G)$ ;

6) число реберної зв'язності  $\lambda(G)$ .

Тоді математична формалізація наукової проблеми має наступний вигляд.

**Верифікація бази знань** (етап «розпізнавання»).

**Дано:** нечітка розподілена база знань

$$G(V, L), \quad V = \{v_i\}, \quad L = \{l_{ij}\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n.$$

**Визначити:** значення функцій належності  $\mu_i$  для окремих модулів  $v_i, i=1..n$ , розподіленої бази знань  $V$  на основі операцій з булевими векторами коректності модуля  $X_i$ , одержаними у результаті верифікації розподіленої бази знань:

$$\forall i | v_i \in V, i = 1..|V|,$$

$$\exists \mu_i | \mu_i \in M,$$

(5)

$$M = \left\{ \mu_i | \mu_i = \frac{1}{|X_i|} \sum_{j=1}^{|X_i|} x_{ij}, x_{ij} \in X_i, i = 1..n \right\}$$

**Виведення нових знань. Формування управління** (етап «парування»).

**Дано:** нечітка розподілена база знань  $G(V, L)$  про вплив факторів  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  на значення деякого вихідного параметра  $Y$ :

$$\left( x_1 = a_1^{j1} \right) \wedge \left( x_2 = a_2^{j1} \right) \wedge \dots \wedge \left( x_n = a_n^{j1} \right) \text{ з вагою } w_{j1} \vee$$

$$\vee \left( x_1 = a_1^{j2} \right) \wedge \left( x_2 = a_2^{j2} \right) \wedge \dots \wedge \left( x_n = a_n^{j2} \right) \text{ з вагою } w_{j2} \vee$$

$$\dots \vee \left( x_1 = a_1^{jk_j} \right) \wedge \left( x_2 = a_2^{jk_j} \right) \wedge \dots \wedge \left( x_n = a_n^{jk_j} \right) \text{ з вагою } w_{jk_j}$$

$$\forall j = 1, 2, \dots, m; \quad y = d_j$$

де  $a_i^{jp}$  – нечіткий терм, яким оцінюється змінна  $x_i$  у рядку з номером  $jp$ , ( $p = 1, \dots, k_j$ );

$k_j$  – кількість рядків-кон'юнкцій, у яких вихід у оцінюється нечітким термом  $d_j, j = 1, \dots, m$ ,

$m$  – кількість термів, які використовуються для лінгвістичної оцінки вихідного параметра  $y$ ,

$w_{jp}$  – вага  $p$ -го рядка кон'юнкцій  $j$ -го правила бази знань.

**Знайти:** нечітке логічне виведення як апроксимацію залежності

В статтю обоснована актуальна нова наукова проблема забезпечення свойства функціональної устойчивости інтелектуальної САУ ЛА на етапах построения и эксплуатации в условиях внешних и внутренних дестабилизирующих факторов.

*Ключевые слова:* функціональна стійкість, інтелектуальна система автоматического управління, база знань.

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

за допомогою нечіткої бази знань і операцій над нечіткими множинами.

Таким чином, ідея забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальної САУ актуальна, а існуюча теорія функціональної стійкості має обмежене застосування для цієї системи і вимагає відповідного розвитку. В теорії та на практиці заходи щодо підвищення показників надійності, відмовостійкості і живучості в принципі не суперечать функціональній стійкості, але не носять системного, науково-обґрунтованого характеру. На підставі проведеного аналізу виявлено існування протиріч між вимогами до САУ ЛА. Дана суперечлива ситуація лежить в основі нової актуальної наукової проблеми забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА на етапах побудови та експлуатації в умовах зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих впливів. За визначенням для розв'язання проблеми необхідно створити нову адекватну теорію. Існуюча теорія функціональної стійкості не розглядала такі складні системи, як інтелектуальні. Для таких систем не вирішені питання щодо оцінки достовірності складових елементів бази знань, які зазвичай мають суб'єктивний характер з подальшим використанням цієї інформації при формуванні відновлюючого управління. Розв'язання нової актуальної наукової проблеми забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА на етапах побудови та експлуатації в умовах зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих впливів присвячені подальші дослідження автора.

### Література

- Неділько С. М.** Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / Неділько С. М. – Кіровоград: ДІАУ, 2011. – 220 с.
- Артюшин Л. М.** Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л. М. Артюшин, О. А. Машков. – К. : КВВАИУ, 1991. – 89 с.
- Бусленко Н. П.** Лекции по теории сложных систем / Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. – М. : Сов. радио, 1973. – 440 с.
- Барабаш О. В.** Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / Барабаш О. В. – К. : НАОУ, 2004. – 226 с.
- Кравченко Ю. В.** Концепция обеспечения функциональной стійкості складних технічних систем / Кравченко Ю.В., Неділько С.М., Миколайчук Р.А. // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова вип. 63. – К. : ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова – 2012. – С. 86–90.

The new actual scientific problem of functional stability property of the intelligent automatic control system of the aircraft at the stages of construction and operation in the internal and external destabilizing factors is justified in the article.

*Key words:* functional stability, intelligent automatic control system, knowledge base.