УДК 621.395

Д.М. Обідін[1], О.В. Барабаш[2]

[1]Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград
[2]Національний авіаційний університет, Київ

ОЗНАКИ ТА КРИТЕРІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ ЛІТАКА

Досліджується можливість кількісної оцінки функціональної стійкості бортової обчислювальної системи інтелектуалізованої системи автоматичного управління польотом літака. Вводяться поняття ознаки, критерію і запасу функціональної стійкості, основаних на визначенні параметрів графа, що описує структуру досліджуваної системи.

Ключові слова: *функціональна стійкість, інтелектуалізована система автоматичного управління польотом літака.*

Вступ

В якості **об'єкта дослідження** обрано бортову обчислювальну систему інтелектуалізованої системи автоматичного управління польотом літака (ІСАУ), що відноситься до класу складних організаційних систем. ІСАУ побудована на основі технології багатомашинних обчислювальних систем, у яких апаратні і програмні ресурси розподілені на борту літака. Вона складається з обчислювальних модулів і каналів (ліній) зв'язку між ними. Головною вимогою, що висувається до системи, є виконання нею основної функції – забезпечення потенційною можливістю постійного обміну інформацією та доступу до інформаційних ресурсів бортової обчислювальної системи. Всі інші вимоги – продуктивність, надійність, точність, сумісність, керованість, живучість, розширюваність і масштабованість – пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі [1]. В сучасних умовах на ІСАУ впливають внутрішні (відмови, збої, помилки) і зовнішні (несанкціонований доступ, вірусні атаки) фактори. Тому задача забезпечення стійкого функціонування ІСАУ **є актуальною**.

Рішенню цієї задачі присвячена багато наукових праць [1 – 4]. Основна увага в них приділяється рішенню задач побудови резервованих інформаційно-керуючих систем, відмовостійких керуючих обчислювальних систем, адаптивних систем управління.

У роботі [5] введено поняття функціональної стійкості складних динамічних об'єктів, що можуть описуватися системою диференціальних рівнянь. Однак для складних організаційних систем даний апарат неприйнятний. У теорії надійності [2] визначення показників надійності спирається в основному на приведенні структури до послідовних і паралельних з'єднань. Це також не прийнятно для складних організаційних систем з безліччю перехресних зв'язків і взаємовпливом станів окремих елементів на інші елементи.

Метою даної статті є побудова математичного апарату для кількісної оцінки функціональної стійкості обчислювальної системи інтелекутуалізованої САУ польотом літака.

Основний розділ

Під функціональною стійкістю розуміється властивість системи виконувати свої функції протягом заданого часу при впливі потоку експлуатаційних відмов, навмисних ушкоджень, втручання в обмін і обробку інформації, а також при помилках обслуговуючого персоналу [5, 6]. Фактично функціональна стійкість складної технічної системи поєднує властивості надійності, відмовостійкості, живучості і характеризує здатність об'єкта до відновлення працездатного стану за рахунок використання надмірності.

Математична модель представлення структури ІСАУ має вид неорієнтованого графа G(V, E), $v_i \in V$, $e_{ij} \in E$, $i, j = 1,\ldots,n$, описуваного матрицею суміжності. Множині вершин V відповідає множина обчислювальних модулів розмірності n, а множині ребер E – множина ліній зв'язку між модулями системи. Приймається, що ІСАУ буде виконувати основну функцію – обмін даними, якщо між будь-якою парою модулів знайдеться хоча б один маршрут передачі інформації.

Таким чином, вимога зв’язності графа дає підставу кількісно оцінити властивість функціональної стійкості обчислювальної системи.

Припущення. У даній роботі не розглядається якість виконання основних функцій, описувана часом затримки повідомлення при пересиланні. Також приймається, що канали зв'язку мають пропускну здатність, що дозволяє переслати будь-який об'єм інформаційного потоку на борту літака.

У технічній кібернетиці, а саме в теорії автоматичного керування [8], побудована класична теорія стійкості динамічних систем, засновником якої є А.М. Ляпунов. У даній теорії можна оцінити стійкість, не вирішуючи систему диференціальних рівнянь, що описують об'єкт, а, використовуючи прості ознаки, умови і критерії стійкості, розроблені Вишнеградським І.О., Гурвицем А., Михайловим А.В., Найквістом Х. та ін. [8]. За аналогією з класичною теорією стійкості пропонується оцінювати функціональну стійкість за параметрами графа, що описує структуру системи обміну даними. Виявляється, що по зовнішньому вигляду графа і його параметрам можна визначити: чи буде система функціонально стійкою, нестійкою або нейтральною.

Ознака функціональної стійкості структури. Структура ІСАУ є функціонально стійкою, якщо граф структури є однокомпонентним і не має мостів і вузлів з'єднання.

Зворотне визначення дозволяє обумовити функціональну нестійкість структури.

Ознака функціональної нестійкості структури. Структура ІСАУ є функціонально нестійкою, якщо її граф є багатокомпонентним і незв'язаним.

Таким чином, по зовнішньому вигляду графа, а саме по числу компонентів, наявності мостів і вузлів з'єднання графа, можна судити про функціональну стійкість структури, тобто про закладену в ній здатність парирувати відмови і ушкодження, що заважають обміну даними між обчислювальними модулями. Однак для сильно розгалужених і багатовершиних графів здійснити оцінювання по зовнішньому вигляду складно. Тому для кількісної оцінки ступеня функціональної стійкості введемо в розгляд **показники функціональної стійкості структури:**

1. Число вершинної зв'язності $\chi(G)$ – це найменше число вершин, видалення яких разом з інцидентними їм ребрами приводить до незв'язного чи одновершинного графа [7].

2. Число реберної зв'язності $\lambda(G)$ – це найменше число ребер, видалення яких приводить до незв'язного графа [7].

3. Імовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ – це імовірність того, що повідомлення з модуля i в модуль j буде передано за час не більше t.

Аналіз даних показників дозволяє виділити такі їх особливості:

– числа вершинної і реберної зв'язності характеризують тільки поточну структуру, не залежно від надійності вузлів комутації чи ліній зв'язку;

– показники $\chi(G)$ і $\lambda(G)$ приймають значення цілих чисел і зв'язані співвідношенням:

$$\chi(G) \le \lambda(G);$$

– імовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ дозволяє враховувати надійність комутаційного обладнання, вид фізичного каналу передачі інформації, наявність резервних каналів і маршрутів, а також зв'язність розподіленої структури. Разом з тим, обчислення значення $P_{ij}(t)$ є складною і громіздкою задачею;

– імовірність зв'язності характеризує тільки зв'язність між однією парою вершин. Для того, щоб характеризувати зв'язність між усіма парами вершин необхідно оперувати з матрицею суміжності [7]:

$$A = \| a_{ij} \|, \quad i, j = 1...n, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при} \quad e_{ij} \in E; \\ 0, & \text{при} \quad e_{ij} \notin E. \end{cases}$$

На основі запропонованих ознак і показників можна розробити **критерії функціональної стійкості структури:**

1. Структура буде функціонально стійкою, якщо число вершинної зв'язності задовольняє умові:

$$\chi(G) \ge 2; \tag{1}$$

2. Структура буде функціонально стійкою, якщо число реберної зв'язності задовольняє умові:

$$\lambda(G) \ge 2; \tag{2}$$

3. Структура буде функціонально стійкою, якщо імовірність зв'язності між кожною парою вершин буде не менш заданої:

$$P_{ij}(t) \ge P_{ij}^{зад}; \quad i \ne j, \qquad i, j = 1...n, \tag{3}$$

де n – число вершин графа G(V,E).

Наведені критерії дозволяють на основі точних розрахунків визначити функціональну стійкість поточної структури системи обміну даних.

На границі двох областей стійкості і нестійкості існує специфічна область, у якій система не є функціонально стійкою і, у той же час, не є функціонально нестійкою.

Таку область, по аналогії з теорією стійкості динамічних систем [8], будемо називати границею функціональної стійкості структури.

Ознакою границі функціональної стійкості є наступне положення. Поточна структура знаходиться на границі функціональної стійкості, якщо граф структури зв'язний, має у своєму складі мости ($N_E > 0$) чи вузли з'єднання ($N_V > 0$):

$$\{K = 1\} \wedge \left[\{N_V > 0\} \vee \{N_E > 0\} \right], \tag{4}$$

де K – число компонентів графа, а умова K=1 означає, що граф зв'язний.

N_V (N_E) – число вузлів з'єднання (мостів) графа.

Мостом називається ребро зв'язного графа, що з'єднує два підграфа, після видалення якого граф перетворюється з однокомпонентного у двокомпонентний [7]. У деяких роботах з теорії графів міст називають перешийком.

Вузлом з'єднання називається така вершина зв'язного графа, після видалення якої разом з інцидентними їй ребрами граф перетворюється з однокомпонентного у двокомпонентний [7].

Наявність у структурі моста чи вузла з'єднання, що з'єднують два підграфа, означає, що всі маршрути передачі інформації з вершин одного підграфа у вершини іншого будуть містити в собі цей міст чи вузол з'єднання. Дана подія істотно знижує структурну надійність і функціональну стійкість системи обміну даними. Тому для приведення системи у функціонально стійкий стан необхідно вводити в структуру резервні лінії зв'язку для того, щоб не було в структурі мостів чи вузлів з'єднання. При цьому будуть з'являтися кілька незалежних і альтернативних маршрутів передачі інформації.

Аналіз структур показує, що за перебування системи на границі стійкості, вона є працездатною і виконує необхідний обсяг функцій. Однак, у разі відмови хоча б одного моста чи вузла з'єднання, система переходить у нестійкий стан.

Області функціональної стійкості і нестійкості можна зобразити в декартовому просторі в координатах λ(G), χ(G) (рис. 1). Точка на площині, що характеризує стан системи, визначається значеннями параметрів λ(G), χ(G) графа структури. За належністю точки тій чи іншій області можна оцінювати функціональну стійкість чи нестійкість системи.

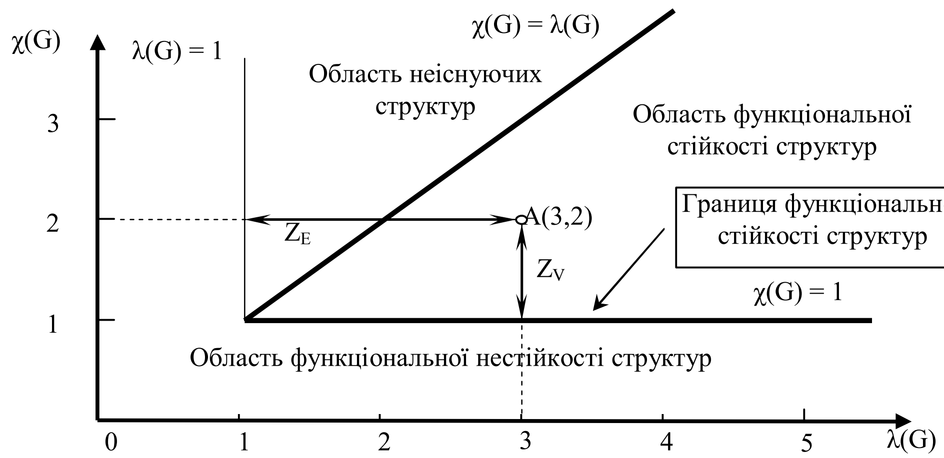

Рис. 1. Геометрична інтерпретація областей функціональній стійкості і нестійкості

У графічному представленні границею функціональної стійкості системи буде геометричне місце точок, що лежать на двох прямих χ(G) = 1 та λ(G) = χ(G) (рис. 1).

Аналіз структур показує, що якщо система знаходиться на границі стійкості, то вона працездатна і виконує покладений обсяг функцій.

Однак, у випадку хоча б однієї відмови моста чи вузла з'єднання система переходить у нестійкий стан.

Області функціональної стійкості і нестійкості можна також представити в декартовому просторі в координатах N_E, N_V. В залежності від параметрів N_E, N_V графа структури визначається точка на площині, що буде характеризувати стан системи. За приналежністю точки тій чи іншій області можна судити про функціональну стійкість чи нестійкість системи.

На підставі введених понять виникає питання про те, наскільки далеко поточна структура пролягає від границі стійкості або, з іншого боку, який запас функціональної стійкості. Його можна також визначити в сенсі зв'язності структури. У цьому плані запас буде характеризуватися числом відмов (розривом ребер чи виходом з ладу вершин), що можуть привести структуру до нестійкого стану.

Запас функціональної стійкості кількісно можна визначити на підставі наступних показників:

1. Реберний запас стійкості – число Z_E, рівне потужності мінімального розрізу, що переводить граф з однокомпонентного у двокомпонентний.

2. Вершинний запас стійкості – мінімальне число вершин Z_V графа, після видалення яких разом з інцидентними їм ребрами, граф переходить з однокомпонентного в двокомпонентний.

Геометрична інтерпретація запасу стійкості буде визначатися як мінімальна відстань від точки на площині, визначеної параметрами N_E, N_V, до границі стійкості.

Можна також обчислювати запас функціональної стійкості по імовірності зв'язності, як різницю між заданим значенням і поточним. Очевидно, що в цьому випадку запас буде виражатися квадратною матрицею, у якій кожен елемент буде мати значення

$$(P_{ij}^{зад} - P_{ij})\ .$$

Таким чином, на підставі ознак функціональної стійкості після визначення запропонованих параметрів можна визначити стан системи обміну даних, а саме знаходження системи в функціонально стійкому стані чи функціонально нестійкому.

Ступінь функціональної стійкості визначає запас функціональної стійкості, який можна знайти як аналітично за запропонованими формулами, так і графічно. На підставі даних досліджень з'являється можливість: обґрунтування вимог до структур обчислювальних систем, що будуть проектуватись, вирішення задачі синтезу оптимальної структури за критерієм максимуму функціональної стійкості з обмеженням на вартість побудови, а також обґрунтованого нарощення структури системи.

Висновки

Запропоновані ознаки і показники функціональної стійкості структури обчислювальної системи ІСАУ. За аналогією з теорією стійкості динамічних систем введені поняття границі і запасу функціональної стійкості.

Запропоновано кількісні методи оцінки функціональної стійкості за приведеними показниками.

Переваги даного підходу полягають у тому, що можна кількісно оцінити функціональну стійкість структури ІСАУ на основі простих зовнішніх ознак. На основі цих оцінок можна давати рекомендації з нарощування структури чи складати обґрунтовані вимоги до структури системи, що буде проектуватися.

Список літератури

1. *Введение в теорию живучести вычислительных систем / А.Г.Додонов, М.Г. Кузнецова, Е.С. Горбачик; отв. ред. В.А. Гуляев; АН УССР. Ин-т пробл. регистрации информации. – К.: Наукова думка, 1990. – 184 с.*
2. *Надежность и живучесть систем связи / Б.Я. Дудник, В.Ф. Овчаренко, В.К. Орлов и др.; под ред. Б.Я. Дудника. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.*
3. *Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонта. – К.: Техніка, 1986. – 168 с.*
4. *Королев А.В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королев, Г.А. Кучук, А.А. Пашнев. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.*
5. *Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.*
6. *Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 224 с.*
7. *Уилсон Р. Введение в теорию графов: пер. с англ. / Р. Уилсон.– М.: Мир, 1977. – 208 с.*
8. *Артюшин Л.М. Теорія автоматичного керування / Л.М. Артюшин, О.В. Машков, М.С. Сівов. – К.: КІВПС, 2000. – 320 с.*

Надійшла до редколегії 20.01.2012

Рецензент*:* д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПРИЗНАКИ И КРИТЕРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНТЕЛЕКТУАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ САМОЛЕТА

Д.Н. Обидин, О.В. Барабаш

Исследуется возможность количественной оценки функциональной устойчивости бортовой вычислительной системы интеллектуализированной системы автоматического управления полетом летательного аппарата. Вводятся понятия признаков, критерия и запаса функциональной устойчивости, которые основаны на определении параметров графа, описывающего структуру исследуемой системы.

Ключевые слова: *функциональная устойчивость, интеллектуализированная система автоматического управления полетом летательного аппарата.*

THE SIGNS AND CRITERIA OF FUNCTIONAL STABILITY FOR INTELLECTUAL AIRCRAFT AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

D.M. Obidin, O.V. Barabash

The article highlights the results of exploration in the field of functional stability estimation for intellectual aircraft automatic control system. Also the concepts of sign and criterion, based on structural graph parameters are suggested.

Keywords: *functional stability, intellectual aircraft automatic control system.*