

УДК 519.816

Д.М. Обідін, С.М. Неділько

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

ПРОБЛЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСІВ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

На основі аналізу різних визначень стійкості функціонування запропонована математична формалізація забезпечення функціональної стійкості процесів навігації та управління рухом літальних апаратів на базі інтелектуалізації пілотажно-навігаційного комплексу перспективного літака-винищувача.

Ключові слова: функціональна стійкість, інтелектуальна система автоматичного управління.

Вступ

На підставі результатів аналізу досвіду експлуатації та розвитку авіації Повітряних Сил Збройних Сил України та провідних країн світу встановлено, що в сучасних умовах зросли вимоги до безпеки польотів. Однією з важких частин загальної проблеми безпеки польотів є підвищення ефективності процесів навігації та управління рухом літального апарату, що залежить від ефективності пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату. Дослідження показали, що в сучасних умовах найбільш перспективними напрямками удосконалення і модернізації пілотажно-навігаційних комплексів є впровадження інтелектуальних систем автоматичного управління (САУ) літальним апаратом (ЛА). Це пов'язано з тим, що саме за рахунок інтелектуалізації, впровадження системи підтримки прийняття рішень на базі знань, можливо використання накопиченого досвіду для виведення альтернативних рішень щодо парирования нештатних ситуацій, що виникають в процесі польоту.

Постановка задачі. Під стійкістю функціонування розуміють збереження деякої властивості процесу функціонування по відношенню до збурювань чи невизначеності деяких параметрів системи або її математичної моделі. При цьому необхідно обов'язково визначити припустимий клас збурювань. На сьогоднішній день існує доволі багато визначень поняття “стійкості”, які, зазвичай, залежні від предметної області їх застосування. Особливу складність викликає визначення стійкості для складних технічних об'єктів та їх систем управління.

Особливістю систем управління перспективних літаків-винищувачів є широке застосування засобів штучного інтелекту на основі розподілених баз знань. При цьому однією з ключових проблем побудови систем автоматизованого управління ЛА була і залишається проблема забезпечення їх функціональної стійкості, як здатності до виконання встановленого обсягу завдань в умовах впливу дестабілізуючих факторів. Для баз знань це означає підтриман-

ня окремих її модулів у валідному стані для забезпечення надійності виведення з таких баз знань через реалізацію процедури верифікації.

Аналіз публікацій. Проблемі стійкості присвячено багато робіт, основними з яких є монографії А.М. Ляпунова, Ж. Ла-Салля і С. Лефшеца, І.Г. Малкіна, А. Пуанкаре, Б.Г. Демидовича, Л. Чезари, В.В. Румянцева та інших. Більшість підходів теорії стійкості, що відомі на сьогодні, базуються на дослідженнях систем диференціальних рівнянь. Разом з тим, класичні підходи теорії стійкості для сучасних систем управління, що засновані на використанні методів штучного інтелекту, часто не відповідають вимогам щодо адекватності та надійності оцінок стійкості функціонування таких систем.

Проблема забезпечення стійкості функціонування складних інтелектуальних систем вперше була поставлена в роботах О.А. Машкова [1–4], де в [2] вперше було введено термін “функціональна стійкість”. Ключові положення теорії функціональної стійкості потім були розвинені в роботах О.В. Барабаша [5, 6], Ю.В. Кравченко [3, 6], В.А. Савченко [3, 7], О.А. Кононова [4], С.М. Неділько та інших. Разом з тим, очевидно є залежність моделей і методів теорії функціональної стійкості від предметної області їх застосування.

Аналіз існуючих науково-обґрунтованих підходів підвищення ефективності складних технічних систем, до яких повною мірою відноситься й інтелектуальна САУ ЛА, дозволив зробити висновок про формування за останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням системи властивості функціональної стійкості. 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 вплив зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Існуюча теорія функціональної стійкості потребує подальшого розвитку.

Мета статті полягає в обґрунтуванні основних положень концепції забезпечення функціональної

стійкості процесів навігації та управління рухом літальних апаратів на основі інтелектуалізації пілотажно-навігаційного комплексу, а саме системи автоматичного управління.

Основна частина

Під функціональною стійкістю розподіленої інтелектуалізовані системи управління літального апарату в даній роботі розуміється її властивість зберігати протягом заданого часу виконання своїх основних функцій у межах, встановлених нормативними вимогами в умовах протидії зовнішніх дестабілюючих факторів.

Основна відмінність стійкості функціонування від функціональної стійкості полягає в наступному: стійкість функціонування характеризує поведінку координат незбуреного і збуреного руху системи

$$\forall \theta > 0 \Rightarrow \delta > 0, \rho(z_0, z'_0) < \delta \Rightarrow \\ \Rightarrow \rho[z(t, z_0), z(t, z'_0)] < \theta, \forall t \in [0, \infty),$$

де $z_0 = z(0)$ – початкові умови – координати фазового простору z_0 при незбуреному русі; $z'_0 = z'(0)$ – координати фазового простору при збуреному русі; ρ – метрика простору Z ; ε, θ – задані числа, що характеризують відхилення збуреного руху від незбуреного.

Функціональна стійкість характеризує відхилення основних функцій від координат при збуреному і незбуреному русі

$$\forall \theta > 0 \Rightarrow \delta > 0, \rho(f(z_0), f(z'_0)) < \delta \Rightarrow \\ \Rightarrow \rho[f(z(t, z_0)), f(z(t, z'_0))] < \theta, \forall t \in [0, \infty),$$

де $f(z)$ – функція від координат руху системи, яка характеризує основні вимоги, що пред'являються до системи.

Концепція функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА

Властивість функціональної стійкості було введено завдяки спостереженням за поведінкою біологічних систем, організмів з притаманним їм властивістю виконувати задані цілі при фізичних пошкодженнях за рахунок біологічної надмірності: множини органів чуття, фізіологічних аналізаторів, нервових волокон, налаштованості мозку, як системи управління і переробки інформації, а також симетричності організму.

Основною особливістю функціонально-стійких систем являється їх здатність деградувати на структурному рівні до повної відмови системи, тобто виключати зі структури несправні елементи, перебудовувати структуру, налаштувати параметри системи для пристосування (адаптації) до нових умов експлуатації. Основним засобом забезпечення функціональної стійкості є введення надмірності (структурної, програмної, тимчасової і т.д.) при їх проектуванні.

Разом з тим, такий підхід, що часто використовується в різних технічних системах, не може бути використаний в розподілених інтелектуалізованих системах управління, ключовим елементом яких є розподілена база знань (РБЗ). На відміну від технічних систем, база знань не може деградувати, виключаючи з роботи окремі свої модулі, оскільки утворилися в такому випадку розриви не забезпечать нормальне її функціонування, а висновок, зроблений на такій базі знань, не буде володіти необхідною достовірністю. У такому випадку необхідний дещо інший підхід до визначення поняття і формування етапів забезпечення функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА.

Стандартний підхід до забезпечення функціональної стійкості для розподіленої системи включає основні етапи: 1) виявлення (локалізація) відмови; 2) визначення наявності надмірності; 3) виключення несправного вузла і перерозподіл процесу виконання завдань на решту вузлів.

У разі функціонування розподіленої бази знань змінюється як структура процесу, так і сама сутність етапів. Так, для виявлення проблемного модуля бази знань застосовується процедура розподіленої верифікації РБЗ. Після визначення (локалізації) проблемного модуля, повинна бути виконана процедура визначення ступеня "довіри" некоректного модулю, оскільки навіть некоректний модуль може видавати необхідні висновки, хоча ступінь довіри до таких висновків буде дещо нижче, ніж у випадку коректного бази знань. У такому випадку, оперуючи тепер з нечіткими знаннями, алгоритм отримання висновку на РБЗ повинен бути перебудований відповідним чином.

Таким чином, концепція забезпечення функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА, що функціонує в реальному часі, полягає у виконанні наступних етапів:

1) розподілена динамічна верифікація розподіленої бази знань (РБЗ);

2) фазифікація структури системи управління на основі результатів динамічної верифікації;

3) адаптація алгоритмів виводу знань з на РБЗ з урахуванням фазифікованості її структури.

Процедури верифікації РБЗ є досить складними для їх безпосереднього застосування в технічних системах реального часу. Тому, для отримання різних оперативних (наближених) оцінок стану САУ можна використовувати структурні методи оцінок, засновані на аналізі структурних особливостей графів, їх описують.

Формалізація визначення функціональної стійкості

В системному аналізі після чіткого формування проблеми та збору необхідної інформації за темою приступають до етапу побудови моделі системи. Математична формалізація властивості функціональної

стійкості інтелектуальної САУ ЛА є важливим науково-обґрунтованим кроком розв'язання проблеми забезпечення функціональної стійкості САУ ЛА [8]. Для аналізу стійкості логічно спочатку розглянути динамічні системи, математичними моделями яких є системи звичайних диференціальних рівнянь. В науковій літературі є множина різних визначень стійкості, що відображують ті або інші особливості поведінки траєкторій і потребуючих різних бажаних властивостей рішень, або цілих сукупностей рішень. Різні формулювання стійкості, їхні взаємозв'язки та індивідуальні особливості викладені в [1,2,5,9] та інших.

На основі теоретичного підходу, розробленого в роботі [2] та удосконаленого в [5], наведемо формалізоване визначення функціональної стійкості інтелектуальної САУ ЛА. Нехай внутрішній стан x розглянутої системи є елементом множини E^n (фазового простору). Процес функціонування визначається законом зміни внутрішнього стану в часі. Будемо вважати, що функціонування системи визначається деяким набором параметрів α . Поняттю «параметр» дамо широкий зміст. Відповідно до цього α – елемент множини A , названого надалі множиною або простором параметрів. Таким чином, зміна внутрішнього стану в часі $x(t, \alpha)$ залежить від α . При цьому $t \in I$, де I – сукупність розглянутих моментів часу, тобто інтервал функціонування системи. Дослідження показали що, в загальному випадку, функція часу $x(t, \alpha)$ є реалізацією деякого випадкового процесу. Як правило, якість роботи будь-якої системи оцінюється за допомогою функціоналів. Тому доцільно вважати, що на реалізаціях $x(t, \alpha)$ при будь-якому $\alpha \in A$ задано однопараметричне сімейство дійсних функціоналів $F_\tau = F_\tau \{x(t, \alpha), t \leq \tau, \tau \in I, \alpha \in A\}$, значення яких при фіксованому τ оцінює роботу системи до цього моменту. При фіксованому α і фіксованій реалізації $x(t, \alpha)$ функціонал F_τ є дійсною функцією часу $\tau \in I$.

Розглянемо множину D різних дійсних функцій з областю визначення I . Нехай β – сукупність деяких підмножин цієї множини. Аналогічно, для кожної множини $\beta \in B$ визначимо сукупність $\beta_\gamma(B)$ деяких підмножин B , обумовлену параметром γ . Фізичний зміст введених понять наступний. Якщо дійсна функція належить одному із множин сукупності β , то це характеризує, основну властивість обраного визначення стійкості. Приналежність же одній з підмножин сукупності $\beta_\gamma(B)$ говорить про деякі додаткові властивості, що визначають особливість поняття стійкості. Нехай B – деяка множина функцій. Будемо позначати через B^t множину значень всіх функцій із B , розглянутих у точці t . Для подальшої зручності будемо вважати, що в інтервал

I входить фіктивна точка ∞ . Тоді, якщо деяка реалізація $\{F_\tau, \tau \in I\}$ є елементом заздалегідь обраної множини B , тобто $\{F_\tau, \tau \in I\} \in B$, то за визначенням $F_\infty \in B^\infty$. Якщо ж $\{F_\tau, \tau \in I\} \notin B$, то $F_\infty \notin B^\infty$. Отже, можна сказати, що $\{F_\tau, \tau \in I\} \in B$ тоді і тільки тоді, коли $F_\infty \in B^\infty$. Аналогічно тому, як це робилося для множини D , нехай Λ – сукупність деяких підмножин множини параметрів A . Для кожної множини $A \in \Lambda$ знайдемо сукупність $\Lambda_\gamma(A)$ деяких її підмножин, що також обумовлена параметром γ . Умовимося розрізняти два числа: a і $a-0$.

Таким чином, інтелектуальна САУ ЛА є функціонально стійкою відносно

$$(\beta, \{\beta_\gamma\}, \Lambda, \{\Lambda_\gamma\}, \varepsilon_0, F_\tau, T),$$

де $0 \leq \varepsilon \leq 1$ – деяке число, F_τ – обране однопараметричне сімейство функціоналів, T – деяка підмножина інтервалу функціонування I , якщо для будь-якої $\varepsilon > \varepsilon_0$ і будь-якої множини $B \in \beta$ можна знайти множину $A \in \Lambda$ таку, що для кожного $A_1 \in \Lambda_B(A)$ існує $B_1 \in \beta_{A_1}(B)$, що задовольняє при всіх $\tau \in T$ і $\alpha \in A_1$ нерівності $P\{F_\tau[x(t, \alpha), t \leq \tau] \in B_{A_1}^\tau\} > 1 - \varepsilon$.

В наведеному визначенні як параметр для набору сукупностей $\{\Lambda_\gamma\}$ виступають множини B з β , а параметрами для $\{\beta_\gamma\}$ є множини з Λ_B . Це визначення вимагає, щоб деяка властивість системи зберігалася в тому або іншому імовірнісному змісті на заздалегідь обраному інтервалі часу. Множини із сукупності Λ вказують на характер припустимих збурювань. Якщо ж параметри змінюються в одній із множин сукупності $\Lambda_B(A)$, то з погляду поставленої задачі поведіння системи повинне змінюватися незначно. Підмножина T , що характеризує інтервал часу, на якому досліджується стійкість, і сімейство функціоналів F_τ є неодмінними елементами будь-якого часткового визначення.

Висновок

В результаті проведених досліджень отримала подальший розвиток існуюча теорія функціональної стійкості складних технічних систем в контексті деталізації цієї властивості для інтелектуальної системи автоматичного управління перспективного винищувача. Напрямоком подальших досліджень в цій області може бути широке коло питань, присвячених моделям визначення показників функціональної стійкості перспективних систем автоматичного управління

Список літератури

1. Артюшин Л.М. Теорія автоматичного керування / Л.М. Артюшин, О.А. Машиков, М.С. Сівов, Б.В. Дурняк // – Львів: Політехніка, 2003. – 456 с.

2. Машков О.А. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков // – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.

3. Машков О.А. Синтез высокоточной радионавигационной системы на основе метода анализа иерархий показателей качества / О.А. Машков, Ю.В. Кравченко, В.А. Савченко // Моделирование та інформаційні технології: зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – 2003. – Вып. 22. – С. 41–48.

4. Машков О.А. Возможности обеспечения функциональной устойчивости эргатических систем управления в рамках существующего методического аппарата / О.А. Машков, О.А. Кононов // Зб. наук. пр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці НАН України. – 2006. – Вып. 32. – С. 151–157.

5. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш // – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

6. Кравченко Ю.В. Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем / Ю.В. Кравченко,

О.В. Барабаш // Труды академії, № 40. – К.: НАОУ. – 2002. – С. 225–228.

7. Савченко В.А. Обоснование показателя функциональной устойчивости пространственной структуры для многопозиционных радионавигационных систем / А.В. Савченко // Зб. наук. пр. ХВУ. – Харків: ХВУ, 2004. – № 5(52). – С. 41–42.

8. Обидин Д.Н. Концепция обеспечения функциональной устойчивости распределенной интеллектуализированной системы управления / Д.Н. Обидин // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2012. – № 3 (9). – С. 114 – 117.

9. Большие технические системы: проектирование и управление / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченка. – Х., Факт, 1997. – 400 с

Надійшла до редколегії 19.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Кравченко, Національний університет оборони України, Київ.

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССОВ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д.Н. Обидин, С.Н. Неделько

На основе анализа различных определений устойчивости функционирования предложена математическая формализация обеспечения функциональной устойчивости процессов навигации и управления движением летательных аппаратов на базе интеллектуализации пилотажно-навигационного комплекса перспективного самолета-истребителя.

Ключевые слова: функциональная устойчивость, интеллектуальная система автоматического управления.

THE PROBLEM OF PROVIDING FUNCTIONAL STABILITY OF THE NAVIGATION PROCESS AND MOVEMENT CONTROL AIRCRAFT

D.M. Obidin, S.M. Nedilko

Based on the analysis of different definitions sustainability of the mathematical formalization of providing functional stability during navigation and movement control aircraft on the basis of intellectualization of flight and navigation system promising fighter.

Keywords: functional stability, intellectualized control system.