

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ**

М.В. Науменко

*Рассматривается методологический подход к технико-экономическому обоснованию перспективных образцов вооружения и военной техники при формировании их концепций и технических обликов. Обосновывается необходимость рассмотрения в системном единстве временных и стоимостных показателей жизненных циклов перспективных образцов вооружения и военной техники и приведен математический аппарат для этого.*

**Ключевые слова:** технико-экономическое обоснование, оперативно-тактические требования, перспективные образцы вооружения и военной техники, стоимостные и временные показатели.

**SYSTEMATIC APPROACH TO FEASIBILITY STUDY ADVANCED WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT**

M.V. Naumenko

*The methodological approach to the feasibility advanced weapons and military equipment in the formation of concepts and technical guises. Substantiates the need for consideration of systemic unity in time and cost parameters lifecycles promising models of weapons and military equipment and is a mathematical tool for this.*

**Keywords:** feasibility study, operational and tactical requirements, promising the samples of weapons and military equipment, the cost and time parameters.

УДК 519.816

Д.М. Обідін

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

**МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ**

*Запропонована математична формалізація забезпечення функціональної стійкості процесів управління рухом літальних апаратів на базі інтелектуалізації пілотажного комплексу перспективного літального апарату.*

**Ключові слова:** функціональна стійкість, літальний апарат, система автоматичного управління.

**Вступ**

З кожним роком вимоги до безпеки польотів підвищуються. Однією з важливих частин загальної проблеми безпеки польотів є підвищення ефективності процесів управління рухом літального апарату, що залежить від ефективності пілотажного комплексу літального апарату. Дослідження показали, що в сучасних умовах найбільш перспективними напрямками удосконалення і модернізації пілотажних 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.** Стійкість функціонування – це 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. Існує доволі багато визначень поняття “стійкості”, які залежні від предметної області їх застосування. Особливу складність викликає визна-

чення стійкості для складних технічних об'єктів та їх систем управління. Особливістю систем управління перспективних літальних апаратів 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 підтримання окремих її модулів у валідному стані для забезпечення надійності виведення з таких баз знань через реалізацію процедури верифікації.

**Аналіз публікацій.** Проблеми стійкості досліджувались у роботах багатьох авторів, основними з яких є монографії А.М. Ляпунова, Ж. Ла-Салля і С. Лефшеця, І.Г. Малкіна, А. Пуанкаре, Б.Г. Демидовича, Л. Чезари та інших. Більшість підходів теорії стійкості, 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 бу-

ла 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. Неділька та інших. Разом з тим, очевидною є залежність моделей і методів теорії функціональної стійкості від предметної області їх застосування.

Аналіз існуючих науково-обґрунтованих підходів підвищення ефективності складних технічних систем дозволив зробити висновок про формування за останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням системі властивості функціональної стійкості. Функціональна стійкість інтелектуальної САУ ЛА – це її властивість перебувати в стані працездатності, тобто виконувати необхідні функції протягом заданого інтервалу часу або нароби́тки в умовах відмов складових частин через вплив зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Існуюча теорія функціональної стійкості потребує подальшого розвитку.

**Мета статті** полягає в математичній формалізації забезпечення функціональної стійкості процесів управління рухом літальних апаратів на базі інтелектуалізації пілотажного комплексу а саме системи автоматичного управління.

## Основна частина

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

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

$$\forall \varepsilon > 0 \Rightarrow \delta > 0, \rho(x_0, x'_0) < \delta \Rightarrow \\ \Rightarrow \rho[z(t, x_0), z(t, x'_0)] < \varepsilon, \quad \forall t \in [0, \infty),$$

де  $x_0 = x(0)$  – початкові умови – координати фазового простору  $x_0$  при незбуреному русі;  $x'_0 = x'(0)$  – Координати фазового простору при збуреному русі;  $\rho$  – метрика простору  $X$ ;  $\varepsilon, \delta$  – задані числа, що характеризують відхилення збуреного руху від незбуреного.

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

$$\forall \varepsilon > 0 \Rightarrow \delta > 0, \rho(f(x_0), f(x'_0)) < \delta \Rightarrow \\ \Rightarrow \rho[f(x(t, x_0)), f(x(t, x'_0))] < \varepsilon, \quad \forall t \in [0, \infty),$$

де  $f(x)$  – функція від координати руху системи, яка характеризує основні вимоги до системи.

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, перебудувувати структуру, налаштувати параметри системи для притосування (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 коректної 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, які їх описують. 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  $\alpha$ . Поняттю «параметр» дамо широкий зміст. Відповідно до цього  $\alpha$  – елемент множини  $A$ , названого надалі множиною або простором параметрів. Таким чином, зміна внутрішнього стану в часі  $x(t, \alpha)$  залежить від  $\alpha$ . 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  $F_\tau = F_\tau \{x(t, \alpha), t \leq \tau, t, \tau \in I, \alpha \in A\}$ , значення яких при фіксованому  $\tau$  оцінює роботу системи до цього моменту. При фіксованому  $\alpha$  і фіксованій реалізації  $x(t, \alpha)$  функціонал  $F_\tau$  є дійсною функцією часу  $\tau \in I$ .

Розглянемо множину  $D$  різних дійсних функцій з областю визначення  $I$ . Нехай  $\beta$  – сукупність деяких підмножин цієї множини. Аналогічно, для кожної множини  $\beta \in B$  визначимо сукупність  $\beta_\gamma(B)$  деяких підмножин  $B$ , обумовлену параметром  $\gamma$ . Фізичний зміст введених понять наступний. Якщо дійсна функція належить одному із множин сукупності  $\beta$ , 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  $V$  – деяка множина функцій. Будемо позначати через  $V^t$  множину значень всіх функцій із  $V$ , розглянутих у точці  $t$ . Для подальшої зручності будемо вважати, що в інтервал  $I$  входить фіктивна точка  $\infty$ . 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  $\Lambda$  – сукупність деяких підмножин множини параметрів  $A$ . Для кожної множини  $A \in \Lambda$  знайдемо сукупність  $\Lambda_\gamma(A)$  деяких її підмножин, що також обумовлена параметром  $\gamma$ . 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,  $F_\tau$  – 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  $V_1 \in \beta_{A_1}(B)$ , що задовольняє при всіх  $\tau \in T$  і  $\alpha \in A_1$  нерівності  $P\{F_\tau[x(t, \alpha), t \leq \tau] \in V_1^t\} > 1 - \varepsilon$ .

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

## Висновок

В роботі отримано подальший розвиток існуючої теорія функціональної стійкості складних технічних систем для інтелектуальної системи автоматичного управління перспективного літального апарату.

## Список літератури

1. Артюшин Л.М. Теорія автоматичного керування / Л.М. Артюшин, О.А. Машков, 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 високоточної радіонавігаційної системи на основі метода аналізу ієрархій показників якості / О.А. Машков, Ю.В. Кравченко, В.А. Савченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України. – 2003. – Вип. 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. – Вип. 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. – К.: НАОУ, 2002. – № 40. – С. 225-228.

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

Надійшла до редколегії 21.01.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Державний університет телекомунікацій, Київ.

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**

Д.Н. Обидин

*Предложенная математическая формализация обеспечения функциональной устойчивости процессов управления движением летательных аппаратов на базе интеллектуализации пилотажного комплекса перспективного летательного аппарата.*

**Ключевые слова:** функциональная устойчивость, летательный аппарат, система автоматического управления.

### **MATHEMATICAL FORMALIZATION OF FUNCTIONAL STABILITY CONTROL PROCESSES AIRCRAFT**

D.M. Obidin

*The proposed mathematical formalization ensure the functional stability of processes traffic control aircraft based intellectualization aerobatic aircraft complex perspective.*

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