

УДК 681.324

П.В. Щипанський<sup>1</sup>, О.В. Барабаш<sup>2</sup>, В.В. Кіреєнко<sup>1</sup><sup>1</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ<sup>2</sup>Державний університет телекомунікацій, Київ

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті розглядається відомі властивості складних систем, такі як стійкість, надійність, живучість, відмовостійкість які характеризують функціонування систем при впливі відмов та пошкоджень, але не дозволяють у повній мірі описати процеси функціонування в умовах значних пошкоджень, впливу потоків відмов і несправностей та інших внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих впливів. Запропоновані напрямки підвищення функціональної стійкості системи контролю повітряного простору.

**Ключові слова:** складна система, система контролю повітряного простору, функціональна стійкість.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Більшість систем, які вивчає сучасна наука, є складними при чому функціонування їх неможливо описати простою сумою взаємодій їх елементів. До таких відносяться соціальні, біологічні, технічні системи різних видів. Не дивлячись на неоднозначність поняття «складна система», можна виділити ряд притаманних їй ознак: велика кількість взаємно пов'язаних та взаємодіючих між собою елементів; складність функцій, що виконує система та направлених на досягнення заданої цілі функціонування; можливість розбиття системи на підсистеми, цілі функціонування яких підпорядковані загальній цілі функціонування всієї системи; управління розгалуженою інформаційною мережею та інтенсивними потоками інформації; взаємодія з зовнішньою середою та функціонування в умовах впливу випадкових факторів. За вище переліченими ознаками, система контролю повітряного простору (далі – СКПП) є складною системою.

Складні технічні (організаційні) системи орієнтуються на виконання деякого специфічного ряду задач, які ставить перед собою людина. Аналіз стану таких систем неможливий без аналізу якості виконання ними своїх функцій. Дослідження існуючих підходів підвищення ефективності складних технічних систем, до яких в повній мірі відноситься і СКПП дозволили зробити висновок о формуванні нового підходу, пов'язаного з забезпечення в системі властивості функціональної стійкості

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз наукових робіт показав, що теорія синтезу функціонально стійких складних технічних систем розроблена для динамічних, розподілених інформаційних та псевдо супутникових радіонавігаційних систем [1], але не знайшла відображення для забезпечення функціональної стійкості системи контролю повітряного простору. Слід відміти-

ти, що в залежності від ступеня складності організації СКПП функціональна стійкість може проявлятися (і відповідно кількісно оцінюватись) як стійкість до помилок, надійність, живучість, відмовостійкість, адаптивність, перешкодостійкість та ін. Проблеми стійкості присвячено низька робіт, основними з яких є монографії А.М. Ляпунова, Ж. Ла-Салля и С. Лефшеца.

**Метою статті** є подальший розвиток підходу щодо оцінювання функціональної стійкості на етапі побудови системи контролю повітряного простору.

### Виклад основного матеріалу досліджень

Сформулюємо визначення функціональної стійкості СКПП на основі теоретичного підходу, який розроблений в роботі [2]. Функціональна стійкість системи контролю повітряного простору – це її властивість перебувати у справному стані, тобто виконувати потрібні функції в межах заданого часу або напрацюванні в умовах відмов при впливі зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Особливий інтерес представляють ті властивості системи, які забезпечують можливість її заданого функціонування при зміні параметрів зовнішнього та внутрішнього середовища в продовж тривалих проміжків часу. Властивість функціональної стійкості [3] може проявлятися (і відповідно кількісно оцінюватись) як стійкість до помилок, надійність, живучість, відмовостійкість, адаптивність, перешкодостійкість та ін.

Однак, слід зауважити, що окремо ні одна з цих властивостей не відображає того, що розуміється під функціональною стійкістю системи, і всі в комплексі вони також не здатні її охарактеризувати, оскільки не відображають одночасно активний характер властивості функціональної стійкості при впливі навіть невідомих збурень, відбір тих якостей, які повинні бути збережені за рахунок того чого це збереження може бути отримано (табл. 1)

Таблиця 1

Місце функціональної стійкості в класифікації властивостей складних систем

Властивість	Сутність	Вплив	За рахунок чого забезпечується
Стійкість	Збереження координат руху під впливом збурень	Збурення, які поступають на вхід системи	Нечутливість до збурень, реалізація принципів управління по відхиленню
Надійність (безвідмовність)	Збереження параметрів функціонування в заданих межах	Експлуатаційні відмови, які зумовлені фізичним старінням	Застосування надійної елементної бази та системи технічного обслуговування
Відмовостійкість	Збереження функціонування з заданою якістю при відмовах в елементах системи	Експлуатаційні відмови та збої елементів	Застосування всіх видів резервів, можливість деградації системи до заданого рівня
Живучість	Спроможність протистояти зовнішнім впливам, зберігаючи обмежене функціонування	Бойові пошкодження та вплив зовнішнього середовища	Захист від вогневого впливу противника; відновлювальний ремонт
Перешкодостійкість	Збереження повноти інформації при обробці та передачі	Інформаційний вплив противника та зовнішнього середовища	Захист каналів зв'язку, перешкодостійке кодування
Функціональна стійкість	Збереження виконання основних функцій (можливо з погіршенням якості) в умовах внутрішніх та зовнішніх впливів	Експлуатаційні відмови, збої, пошкодження, зовнішні впливи, помилки особового складу	Застосування інформаційної, обчислювальної, енергетичної надлишковості

Стійкість залежить від виду системи та від чого, та яким чином оцінювати “інертність” (стійкість) обраного режиму її роботи. Тому, окрім визначення системи, потрібен критерій, який дозволяє вирішувати, суттєво чи ні зміниться робота системи під впливом збурень.

Більшість результатів теорії стійкості отриманих на сьогоднішній день, відноситься до диференціальних рівнянь. Тому доцільно розглянути спочатку постановку задачі для вирішення системи диференціальних рівнянь, а потім перейти до визначення функціональної стійкості складних ієрархічних систем до класу яких відноситься система розвідки повітряного противника та оповіщення.

Головною відмінністю [4] стійкості функціонування від функціональної стійкості є те що: стійкість функціонування характеризує зміну координат незбуреного та збуреного руху системи.

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

де  $z_0 = z(0)$  – початкові умови – координати фазового простору при незбуреному русі;  $z'_0 = z'(0)$  – координати фазового простору при збуреному русі;  $\rho$  – метрика простору  $Z$ ;  $\epsilon, \theta$  – задані числа які характеризують відхилення збуреного руху від незбуреного.

На даний час для різних систем та різних визначень розроблено достатньо методів аналізу стійкості. До основних можна віднести: методи Ляпунова, Вишнеградського, Гурвіца, Найквіста, Попова та ін. [5]. В класичній теорії стійкості розроблені критерії та признаки, за якими можна встановити факт стійкості системи (рис. 1).

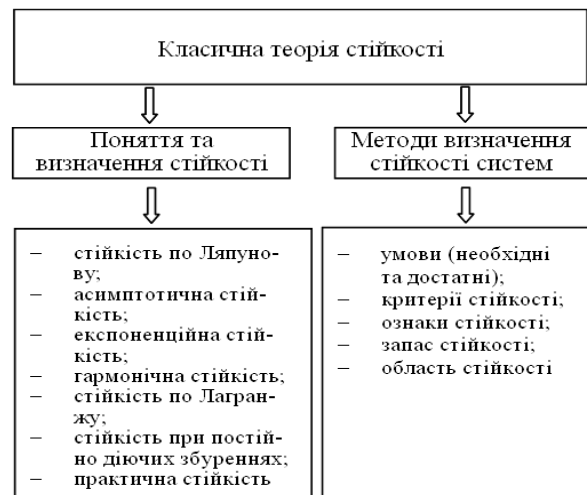


Рис. 1. Класифікація понять класичної теорії стійкості

Відповідно визначенню [6], під надійністю системи розуміється здатність зберігати в часі в встановлених межах значення ознак та параметрів, які характеризують ті властивості, які визначають її спроможність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах. З точки зору надійності насаперед має значення, функціонує СКПП в даному відношенні, тоді як стійкість передбачає активне збереження СКПП визначених характеристик безвідносно до того, відіграють вони будь-яку роль в більш загальній системі. Ведемо ряд понять, які характеризують надійність СКПП.

Відмова – це подія, при якій деякій елемент СКПП (радіолокаційний комплекс або лінія зв'язку) втрачає здатність виконувати функції по обробці та передачі інформації.

Відновлення – це процес в якому елемент СКПП, що відмовив набуває здатність виконувати

задані функції по обробці та передачі інформації.

Імовірність безвідмовної роботи  $r(t)$  характеризується продуктивністю елемента СКПП  $\omega(\tau)$  в заданому проміжку часу  $(0, t)$ :

$$r(t) = P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 1\},$$

$$\text{де } \omega(\tau) = \left. \begin{array}{l} 1, \text{ якщо } \tau \geq 0 \text{ елемент СКПП} \\ \text{в справному стані} \\ 0, \text{ якщо } \tau \leq 0 \text{ елемент СКПП} \\ \text{в несправному стані} \end{array} \right\}.$$

Імовірність відновлення елемента СКПП є функція

$$u(t) = 1\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 0\},$$

де  $P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 1\}$ , – імовірність того, що (при виконанні відновлювальних робіт) для будь-якого  $\tau$ , яке належить до інтервалу часу  $[0, t]$ , продуктивність  $\omega(\tau)$  залишається рівною нулю та характеризує можливість елемента СКПП по досягненню заданої продуктивності після відмови.

На етапі побудови СКПП, основним методом підвищення надійності є застосування різних видів надлишковості – функціональної, алгоритмічної, технічної (апаратної і програмної), топологічної та часової.

Одним із напрямків підвищення якості функціонування СКПП є забезпечення відмовостійкості – по суті це резервування окремих елементів СКПП. Відмовостійкість визначається, як унікальна властивість цифрової системи яка забезпечує функціонування та надає можливість продовжувати виконання заданих програмою процедур і після виникнення несправностей. Основний показник відмовостійкості  $Q$  визначається на основі марковської моделі таким чином:

$$Q = \sum_{i=1}^m L_{Si}(z) \Big|_{z=0} / T_{ПВ}, \quad (1)$$

де  $L_{Si}(z)$  –  $z$ -перетворення Лапласа від імовірності знаходження системи у всіх відмовних станах, включаючи стан повної відмови  $S_{ПВ}$ ;  $T_{ПВ}$  – середнє напрацювання системи до повної відмови, визначається відповідно виразу:

$$T_{ПО} = \sum_{i=0}^m L_{Si}(z) \Big|_{z=0}; \quad (2)$$

де  $m$  – кількість відмовних станів системи.

Сутність показника  $Q$  міститься у відношенні часу роботи системи в відмовних станах до всієї наробітки системи до повної відмови. Чим вище  $Q$  тим ефективніше система супроводження відмов.

Живучість – властивість системи зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх впливів, які призводять до відмов її складових частин. Живучість характеризує здатність системи протистояти розвитку

критичних відмов за будь-яких умов експлуатації, в тому рахунку не передбачених документацією.

Прикладом функціональної оцінки живучості є судна, енергетичні системи, мережі передачі інформації, обчислювальні системи і т.п. Під живучістю мережі розуміється її чутливість до пошкоджень. Основним параметром оцінки живучості обчислювальних систем є функція

$$N(i, t) = \frac{\bar{\Omega}(i, t)}{N_{\omega}}, \quad (3)$$

де  $\bar{\Omega}(i, t)$  – математичне сподівання продуктивності обчислювальної системи в момент часу  $t \geq 0$ ;  $N_{\omega}$  – сумарна продуктивність системи в цілому.

Адаптивність – це здатність системи пристосовуватись до зовнішніх умов для оптимального досягнення загальної мети системи. Адаптивні системи в техніці визначають як системи, які автоматично пристосовуються до непередбачених змін параметрів зовнішнього середовища і самої системи.

Таким чином, розглянуті вище властивості характеризують функціонування СКПП в умовах впливу деяких факторів зовнішнього середовища, здатних порушити задану, функціонування системи:

– надійність системи характеризує її спроможність до нормального функціонування в заданих режимах та умовах;

– стійкість – продовження того ж функціонування при впливі збурень;

– адаптивність – збереження деякої частини системи при зміні множини параметрів, яка дозволяє оптимальним чином досягнути тієї цілі, яка була намічена.

В залежності від типу призначення системи функціональна стійкість забезпечується різними засобами та видами надлишковості, які будуть закладені в систему на етапі проектування та використовуються в процесі експлуатації.

## Висновки

Таким чином, велика кількість різних трактувань властивостей функціональної стійкості, які розрізняються не тільки при переході від живої природи до технічних систем, а також в залежності від типу, призначення, способу організації технічної системи ставить дві основні задачі: вироблення деякого загального виявлення, критеріїв оцінювання та методів підвищення функціональної стійкості незалежно від типу системи; глибоке вивчення окремих класів технічних систем та визначення найбільш ефективних шляхів підвищення їх функціональної стійкості.

Задача визначення функціональної стійкості складних систем до яких відноситься система контролю повітряного простору, вимагає додаткового обґрунтування показників та критеріїв, розроблення запасу та областей функціональної стійкості.

## Список літератури

1. Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к от казам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
2. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем. / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.
3. Обідін Д.М. Проблема забезпечення функціональної стійкості процесів навігації та управління рухом літальних апаратів / Д.М. Обідін, С.М. Неділько // Системи озброєння і військова техніка: наук. ж. – Х.: ХУПС, 2012. – № 3 (31). – С. 197-200.
4. Барабаш О.В. Реалізація принципів координації в системі планування розподілу повітряного простору /

О.В. Барабаш, Д.М. Обідін, Р.В. Храцевський // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – № 5 (103). – С. 2-6.

5. Артюшин Л.М. Теорія автоматичного керування/ Л.М. Артюшин, О.А. Машков, М.С. Сівов, М.Т. Дурняк. – Львів: Політехніка, 2003. – 456 с.

6. Соловьев В.И. Основы теории надежности и эксплуатации систем. / В.И. Соловьев. – К.: КИВВС, 1997. – 210 с.

Надійшла до редколегії 18.02.2014

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

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

П.В. Щипанский, О.В. Барабаш, В.В. Киреенко

*В статье рассматриваются известные свойства сложных систем, такие как стойкость, надежность, живучесть, отказоустойчивость, которые характеризуют функционирование систем при влиянии отказов и повреждений, но не позволяют в полной мере описать процессы функционирования в условиях значительных повреждений, влияния потоков отказов, неисправностей и других внутренних и внешних дестабилизовавших влияний. Предложены направления повышения функциональной устойчивости системы контроля воздушного пространства.*

**Ключевые слова:** сложная система, система контроля воздушного пространства, функциональная устойчивость.

#### PROVIDING FUNCTIONAL STABILITY PROPERTIES OF MONITORING SYSTEM AIRSPACE

P.V. Shypanskyi, O.V. Barabash, V.V. Kireenko

*The article discusses the known properties of complex systems, such as durability, reliability, survivability, fault tolerance that characterize the functioning of the systems under the influence of failures and damage, but do not allow to fully describe the processes functioning in the context of significant damage, the impact of flow failures, malfunctions, and other internal destabilize and external influences. The directions of increasing functional stability of monitoring system airspace.*

**Keywords:** complex system, the monitoring system of airspace, functional stability.