

УДК 004.421.2:519.17

Миколайчук Р. А., к.т.н.

(Національний університет оборони України ім. Івана Черняхівського. +380 (50) 179 41 94. mykroman@ukr.net)

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕОРІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З ДИНАМІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

**Миколайчук Р. А. Удосконалення теорії функціональної стійкості складних технічних систем з динамічною структурою.** Удосконалено основні положення теорії функціональної стійкості складних технічних систем з урахуванням особливостей систем з динамічною структурою. В основу визначення показників та критеріїв функціональної стійкості покладено функціональне поле системи. Введено поняття запасу потенціалу функціонального поля системи. Встановлено зв'язок потенціалу функціонального поля системи та її функціональної стійкості. Визначені межі та умови функціональної стійкості.

**Ключові слова:** складна технічна система, функціональна стійкість, динамічна структура, функціональне поле, дестабілізуючий фактор, евклідовий простір

**Миколайчук Р. А. Усовершенствование теории функциональной стойкости сложных технических систем с динамической структурой.** Усовершенствованы основные положения теории функциональной устойчивости сложных технических систем с учетом особенностей систем с динамической структурой. В основу определения показателей и критериев функциональной устойчивости положено функциональное поле системы. Введено понятие запаса потенциала функционального поля системы. Установлена связь потенциала функционального поля системы и ее функциональной стойкости. Определены границы и условия функциональной устойчивости.

**Ключевые слова:** сложная техническая система, функциональная устойчивость, динамическая структура, функциональное поле, дестабилизирующий фактор, евклидово пространство

**Mykolaychuk R. A. Improvement the theory of functional stability of complex technical systems with dynamic structure.** The basics of functional stability of complex technical systems with the features of systems with dynamic structure are improved. The functional field determines the definition of indicators and criteria of functional stability of the system. The concept of potential reserve of the system functional field is introduced. The relation between potential of the system functional field and its functional stability is established. The limits and conditions for the functional stability are defined.

**Keywords:** complex technical system, functional stability, dynamic structure, functional field, destabilizing factor, Euclid space

**Вступ.** Необхідність створення складних технічних систем в умовах невизначеності просторово-часового розподілу зовнішніх об'єктів впливу, призводить до перспективності систем з динамічною структурою [1...3]. Побудову таких систем доцільно проводити на основі теорії функціональної стійкості [4], що дозволить забезпечити найбільшу ефективність системи в умовах впливу дестабілізуючих факторів.

**Постановка проблеми.** Особливостями побудови системи з динамічною структурою є необхідність урахування постійної зміни розподілу об'єктів впливу, а також власне динамічність структури системи. У зв'язку з цим, виникає необхідність подальшого розвитку теорії функціональної стійкості для такого роду систем.

**Аналіз публікацій.** Аналіз існуючої теорії функціональної стійкості показав, що в своїх роботах професор Машков О.А. [5, 6] сформулював властивість функціональної стійкості й розробив загальну теорію її визначення для складних технічних систем. При цьому, в якості показників функціональної стійкості системи пропонується обрати сімейство  $P(F_\tau)$ , що визначає ймовірність збереження функціональних властивостей системи для фазової траєкторії  $z(t, \alpha)$  на інтервалі часу

$$I = [0, \tau],$$

де  $F_\tau = F_\tau \{z(t, \alpha), t \leq \tau\}$  – однопараметричне сімейство дійсних функціоналів;

$$t, \tau \in I, \alpha \in A;$$

A – множина структур системи.

Після визначення  $B_{A_t}^\tau$  як множини припустимих значень  $F_\tau$  отримано критерій функціональної стійкості системи у вигляді:

$$P\{F_\tau[z(t, \alpha), t \leq \tau] \in B_{A_t}^\tau\} > \theta, \quad (1)$$

де  $\theta$  – деяке число ( $0 < \theta \leq 1$ ).

Разом з тим, для систем з динамічною структурою визначення запропонованого критерію функціональної стійкості (1) може зіткнутися з певними труднощами у зв'язку із цілеспрямованою зміною структури системи  $\alpha$  та відповідними змінами функціональних властивостей системи. Тому в [7] було запропоновано ввести в евклідовому просторі  $J$  функціонування системи поняття вектору потенціалів системи  $u$ , що характеризує можливість виконання системою своїх функцій у визначеній точці вказаного простору. Відображення  $h_u$  структури системи у простір її функціонування дало змогу визначити значення потенціалів у часі

$$\dot{u} = h_u(\alpha),$$

ввести поняття функціонального поля системи градієнтного характеру, а також встановити його зв'язок з функціонуванням та ефективністю системи. Це складає передумови щодо подальшого розвитку теорії функціональної стійкості для систем з динамічною структурою.

**Метою статті** є визначення основних положень функціональної стійкості для систем з динамічною структурою.

**Основна частина.** Під функціональною стійкістю системи з динамічною структурою будемо розуміти властивість системи виконувати свої функції протягом заданого інтервалу часу в умовах впливу дестабілізуючих факторів.

Введемо поняття множини потенціалів системи  $U = \{u\}$  в просторі  $J$ . Враховуючи вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів, а також зазначену в [8] декомпозицію структури системи на базову та динамічну частини отримаємо:

$$U = \{u = \sum u_0 + \sum u^+ - \sum u^-\},$$

де  $u_0$  – потенціали базової частини системи;

$u^+$  – потенціали динамічної структури системи;

$u^-$  – потенціал зовнішніх факторів щодо дестабілізації системи.

Тоді, встановивши мінімально припустиме значення потенціалів системи  $U_{\min}$  отримаємо умову

$$\sum u^+ \geq U_{\min} + \sum u^- - \sum u_0,$$

що висуває вимоги до потенціалу динамічної частини структури системи.

Тоді, в якості показників функціональної стійкості системи можливо взяти сімейство  $U_\tau$ , що визначають мінімальний потенціал системи в просторі її функціонування протягом визначеного інтервалу часу:

$$U_\tau := \min_{I, J} U[z(t, \alpha), t \leq \tau].$$

Використання зазначених показників дозволить забезпечити побудову систем з динамічною структурою із гарантованим мінімальним потенціалом щодо виконання своїх функцій та досягнути необхідного рівня ефективності системи в цілому.

Введемо поняття запасу потенціалу системи  $\Delta^+U$ , що визначається як перевищення значення  $U_\tau$  над мінімально припустимим:

$$\Delta^+U = \min_l (U_\tau[z(t, \alpha), t \leq \tau] - U_{\min}).$$

Тоді в якості критеріїв функціональної стійкості системи з динамічною структурою можливо обрати позитивність запасу її потенціалу:

$$\Delta^+U \geq 0 \quad (2)$$

Застосування наведеного у виразі (2) критерію дозволить забезпечити необхідний рівень функціональної стійкості системи.

Таким чином, застосування функціонального поля системи для визначення показників та критеріїв функціональної стійкості системи дозволило в якості однопараметричного сімейства функціоналів використовувати множину потенціалів системи.

Подібним чином трансформуються визначення границі функціональної стійкості:  $U_\tau \geq U_{\min}$ , а також запасу функціональної стійкості  $U_\tau - U_{\min}$ .

Графічне зображення області, границь та запасу функціональної стійкості наведено на Рис. 1. Як видно з рисунку, для забезпечення функціональної стійкості системи в деякій точці її фазової траєкторії  $z(t, \alpha)$  необхідно досягти такого значення потенціалів функціонального поля системи що перевищують  $U_{\min}$ . Ступінь функціональної стійкості може бути визначено як наближення до оптимальної точки траєкторії системи  $z^*(t, \alpha)$ .

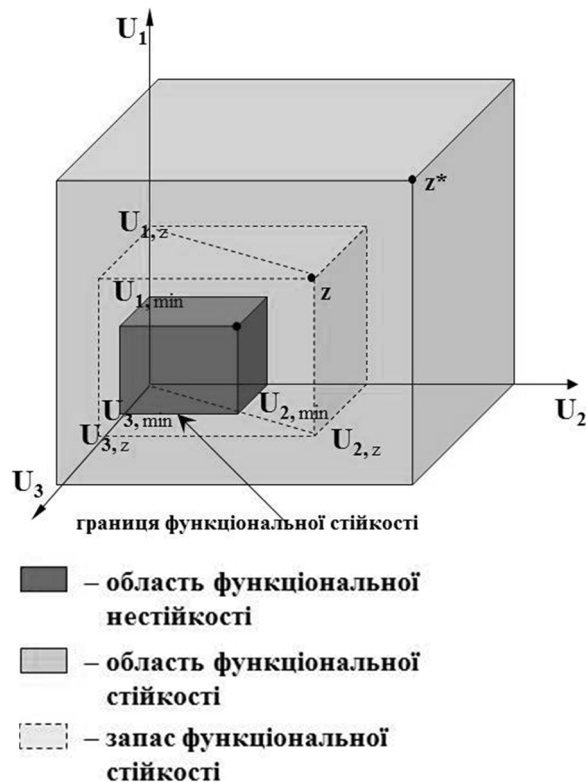


Рис. 1. Область, границя, запас функціональної стійкості

Нехай відомо мінімальну функціонально стійку точку фазової траєкторії  $z_{\min}$ , а також метрику  $l$  на  $Z$ . Тоді умови позитивного розвитку системи з динамічною структурою запишуться наступним чином:

$$l(z^*, z) \rightarrow \min, \quad l(z, z_{\min}) \rightarrow \max.$$

**Висновки.** Таким чином, в результаті проведених досліджень реалізовано можливість використання функціонального поля складної технічної системи з динамічною структурою для визначення її функціональної стійкості.

Це дало змогу удосконалити основні положення теорії функціональної стійкості з метою можливості їх застосування для систем з динамічною структурою. Зазначена можливість забезпечується запропонованими новими: показниками функціональної стійкості, критерієм (2), а також визначеннями області, границі та запасу функціональної стійкості.

В ході подальших досліджень, на основі розроблених положень функціональної стійкості, передбачається розробити методіку побудови складних технічних систем з динамічною структурою.

### **Література**

1. Большие технические системы: проектирование и управление / Л. М. Артюшин, Ю. К. Зиятдинов, И. А. Попов, А. В. Харченко ; под ред. И. А. Попова. – Харьков : Факт, 1997. – 284 с.
2. Неделько С. Н. Структурно-динамический подход к представлению решений в интеллектуальных автоматизированных системах обслуживания воздушного движения / С. Н. Неделько, В. Н. Неделько, Е. А. Дубровский // Проблемы аэронавигации: Тематич. зб. наук. праць. – Вип. III. Част. II: Моделювання та управління в аэронавигационных системах. – Кіровоград : ДЛАУ, 1998. – С. 5-12.
3. Миколайчук Р. А. Принципи побудови складних технічних систем з динамічною структурою / Р. А. Миколайчук // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – 2012. – С. 17-21.
4. Неділько С. М. Концепція забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем на прикладі системи управління повітряним рухом України / С. М. Неділько // Проблеми транспорту: збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 3. – С 240-244.
5. Артюшин Л. М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л. М. Артюшин, О. А. Машков. – К. : КВВАИУ, 1991. – 89 с.
6. Теорія автоматичного керування / [Л. М. Артюшин, О. А. Машков, Б. В. Дурняк, М. С. Сівов ]. – Львів : Вид-во УАД, 2004. – 272 с.
7. Миколайчук Р.А. Функціональна модель системи з динамічною структурою / Р. А. Миколайчук // К.: НУОУ. Збірник наукових праць «Труди університету». – 2013. – №3 (117). – С.113-117.
8. Кравченко Ю. В. Концептуальний підхід до синтезу складних технічних систем з динамічною структурою / Ю. В. Кравченко, Р. А. Миколайчук // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2012. – №2(14). – С. 31-36.