

*Олександр Миколайович Гук*

*Олександр Юрійович Пермяков (доктор технічних наук, професор)*

*Олександр Миколайович Нестеров (доктор філософії)*

*Тетяна Володимирівна Уварова (кандидат технічних наук)*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ГЕТЕРОГЕННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*В статті проведено порівняльний аналіз підходів, методів та формалізованих математичних описів що застосовуються для оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем. Розглянуто ознаки та критерії функціональної стійкості. Наведено визначення понять функціональна стійкість, гетерогенні інформаційні системи, показник та критерій функціональної стійкості. Зазначено різницю між поняттями стійкість функціонування та функціональна стійкість складних технічних систем. Наведено формалізовані описи структурного та імовірнісного критеріїв функціональної стійкості структури гетерогенної інформаційної системи. Наведено математичну формалізацію показника функціональної стійкості для структур з послідовним та паралельним з'єднанням елементів. Математично формалізовано показник структурної складності системи передачі даних автоматизованої системи управління повітряним рухом. Представлена методика оцінки функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом та методики розрахунку узагальненого ймовірного показника функціональної стійкості як згортки матриці зв'язності структури. Визначені напрями подальших досліджень щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем.*

***Ключові слова:** функціональна стійкість; гетерогенні інформаційні системи; показник функціональної стійкості; критерій функціональної стійкості; методика оцінювання функціональної стійкості; кібервплив; кіберпростір.*

### Вступ

Інтеграція інформаційних та обчислювальних ресурсів в єдине середовище та організація ефективного доступу до них є одним з основних напрямів розвитку сучасних інформаційних технологій. В даний час комп'ютери, об'єднані локальною кооперативною і глобальною мережею, в основному використовуються як джерела інформації. Тому на перший план виходить проблема ефективного використання обчислювальних ресурсів кожного автоматизованого робочого місця мережі.

Для вирішення завдань управління військовими частинами (підрозділами) необхідно ефективно використовувати ресурси кожного ІТВ (вузла зв'язку), а також проводити оцінювання функціональної стійкості системи з урахуванням багатьох внутрішніх та зовнішніх факторів.

На основі таких вузлів створюється єдине інформаційне середовище з метою забезпечення органів військового управління різного рівня якісними сервісами зв'язку під час планування, розгортання та оперативного управління.

Гетерогенні інформаційні системи військового призначення, в тому числі системи передачі даних, створюються на основі принципів побудови розподілених обчислювальних мереж, в яких на

окремих об'єктах розгорнуті локальні обчислювальні мережі, які об'єднують автоматизовані робочі місця для виконання задач збору, обробки, зберігання та відображення інформації, які створені на базі виокремлених та арендованих телефонних каналів (ІР телефонія), телеграфних каналів, радіорелейних, тропосферних та супутникових каналів передачі інформації.

**Постановка проблеми.** Відомі на сьогодні формалізовані математичні описи, які використовуються при побудові функціонально стійких систем, забезпеченні функціональної стійкості та створенні математичних моделей структур розгалужених інформаційних систем, цілком дозволяють вирішувати наукові завдання за зазначеною тематикою із використанням положень теорії функціональної стійкості.

Проте недостатньо розглядаються особливості оцінювання функціональної стійкості взагалі, та оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем зокрема. Основною відмінністю гетерогенних інформаційних систем є необхідність інтеграції мереж на різних рівнях, при поєднанні різноманітних стандартів та технологій, що забезпечує непомітний для користувача перехід між мережами. При оцінюванні функціональної

стійкості гетерогенних інформаційних систем необхідно застосовувати методи, які будуть враховувати різні умови (як зовнішні, так і внутрішні) та зберігати задану точність оцінювання при швидкій їх зміні. В існуючих реаліях проблема залишається вирішеною не повністю та є актуальною в сучасних умовах. Проблема полягає в визначенні підходу щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем військового призначення в різних умовах, на основі порівняльного аналізу вже існуючих математичних інструментів, моделей, методів, теорій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз існуючих принципів представлення знань в гетерогенних інформаційних системах показує що, наявні публікації із зазначеної тематики мають прикладний характер та результати досліджень можуть бути застосовані в процесі проектування, створення та експлуатації гетерогенних інформаційних систем військового призначення.

Значна увага приділяється забезпеченню функціональної стійкості складних технічних систем та концептуальним основам побудови функціонально стійких розподілених інформаційних систем.

**Метою статті** є аналіз існуючих підходів щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем та визначення можливості використання застосованих в них формалізованих математичних описів для створення сучасних підходів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Для проведення дослідження необхідно визначити основні поняття: функціональна стійкість, гетерогенні інформаційні системи. Засновником теорії функціональної стійкості є професор Машков О.А.. Він вперше сформулював властивість функціональної стійкості і загальну стратегію її забезпечення для складної технічної системи [1].

Функціональна стійкість інформаційної системи – це здатність системи виконувати свої функції впродовж заданого інтервалу часу за умови впливу на неї потоку експлуатаційних відмов, навмисних пошкоджень, втручання в обмін і обробку інформації, а також у разі помилок обслуговуючого персоналу. Функціональна стійкість складної технічної системи поєднує властивості надійності, відмовостійкості, живучості і характеризує здатність об'єкта до відновлення працездатного стану за рахунок використання надмірності [2].

Гетерогенна розподілена обчислювальна система являє собою множину обчислювальних вузлів різної апаратної архітектури і різної обчислювальної потужності, об'єднаних лініями зв'язку.

Машков О.А. запропонував оцінювати функціональну стійкість за параметрами графа, що описує структуру розподіленої інформаційної системи. На основі зовнішнього вигляду графа і його параметрів можна визначити якою буде система: функціонально стійкою, нестійкою або нейтральною. Для цього було передбачено застосування наступних ознак:

Ознака функціональної стійкості структури. Структура розподіленої інформаційної системи є функціонально стійкою, якщо граф структури є однокомпонентним та не має мостів і вузлів з'єднання. Зворотне визначення дозволяє окреслити функціональну нестійкість структури. Ознака функціональної нестійкості структури. Структура розподіленої інформаційної системи є функціонально нестійкою, якщо її граф є На основі запропонованих ознак та показників можна розробити критерії функціональної стійкості структури:

1. Структурний критерій. Структура буде функціонально стійкою, якщо значення показників вершинної та реберної зв'язності задовольняють умові

$$\chi(G) \geq 2 \cup \lambda(G) \geq 2 \quad (1)$$

тобто, якщо після видалення однієї з вершин (одного з ребер) граф не перетвориться у незв'язний або одновершинний і у ньому існує хоча б один маршрут між кожною парою решти вершин графа.

2. Імовірнісний критерій. Структура буде функціонально стійкою, якщо ймовірність зв'язності кожної пари вершин буде не менша від заданої з

$$P_{ij}(t) \geq P_{ij}^3, i \neq j, i, j = \overline{1, n} \quad (2)$$

де  $n$  — кількість вершин графа  $G(V, E)$ .

Структурний критерій дозволяє порівнювати системи з різними структурами, а також оцінювати структуру системи на етапі її синтезу, уникаючи при цьому досить складних обчислень. Імовірнісний критерій дає можливість враховувати технічні особливості каналів зв'язку, а також порівнювати системи, які мають однакову топологію. Таким чином, сформульовані критерії дозволяють на основі точних розрахунків визначити функціональну стійкість поточної структури розподіленої складної інформаційної системи [3].

Теорія функціональної стійкості набула подальшого розвитку в роботах професорів Барабаша О.В. і Кравченка Ю.В., які внесли вклад у розвиток понятійного апарату і вирішили проблему забезпечення функціональної стійкості для конкретних технічних систем [4].

Барабаш О.В. вперше, формалізував і довів основну відмінність стійкості функціонування від функціональної стійкості:

стійкість функціонування характеризує поведінку координат незбуреного й збуреного руху системи

$$\forall \theta > 0 \Rightarrow \varepsilon > 0, \rho(z_0, z'_0) < \varepsilon \Rightarrow \rho[z(t, z_0), z(t, z'_0)] < \theta, \forall t \in [0, \infty] \quad (3)$$

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;

$\rho$  - метрика простору  $Z$ ;

$\varepsilon, \theta$  - задані числа, що характеризують відхилення збуреного руху від незбуреного.

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

$$\forall \theta > 0 \Rightarrow \varepsilon > 0, \rho(f(z_0), f(z'_0)) < \varepsilon \Rightarrow \rho[f(z(t, z_0)), f(z(t, z'_0))] < \theta, \forall t \in [0, \infty] \quad (4)$$

де  $f(z)$ - функція від координати руху системи, що характеризує основні вимоги, що висуваються до системи

Для оцінювання ФС запропонував ввести в якості показника ФС, імовірність складної події (імовірність зв'язності двополосної розподіленої інформаційної системи):

$$P_{x,y} = P\{A_1 \cup A_2 \cup A_3\} \quad (5)$$

де  $A_1$ - подія, полягає в тому, що до моменту початку передачі пакету повідомлення існує хоча б один незайнятий маршрут між  $V_x$  та  $V_y$ ;

$A_2$ - всі елементи хоча б одного незайнятого маршруту справні;

$A_3$  - всі елементи обраного маршруту залишаються справними протягом сеансу передачі пакету повідомлення.

Обчислення показника  $P_{x,y}$  функціональної стійкості для структур з послідовним та паралельним з'єднанням елементів для випадку  $T_{xy} \geq (\alpha=1)$  проводиться за наступними формулами:

$$P_{xy} = \prod_{i=1}^m p_i, \quad P_{x,y} = 1 - \prod_{i=1}^m q_i \quad (6)$$

де  $p_i = 1 - q_i$  - імовірність справного стану елементів;

$m$ - число елементів в паралельно-послідовній структурі.

Однак, сутність усіх наявних методів визначення імовірності зв'язності так або інакше полягає в реалізації перетворень вихідного графу, що приводять до послідовних або паралельних з'єднань. Одним зі способів спрощення вихідної структури є виключення з графу ребер безпосереднього зв'язку  $l_{xy} = \{l_{xy_i}\}$ . При цьому

$$P_{x,y} = 1 - (1 - P'_{xy}) \cdot \prod_{i=1}^m q(l_{xy_i}) \quad (7)$$

де  $P'_{xy}$  - імовірність зв'язності між  $V_x$  и  $V_x$  без урахування ребер безпосереднього зв'язку

Професор Неділько С.М. удосконалив методику оцінки функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом, яка відрізняється від існуючих комплексним використанням принципу декомпозиції процедури забезпечення функціональної стійкості на більш прості етапи та методики розрахунку узагальненого ймовірного показника функціональної стійкості як згортки матриці зв'язності структури.

Розглянемо запропоновану методику оцінки системи передачі даних автоматизованої системи управління повітряним рухом за показниками структурної складності через норму матриці складності (рис. 1) [5].

Доцільно перед обчисленням структурної складності виконати оцінку пріоритетності дуг – сортування дуг по наступних ознаках, які перераховані в послідовності перевірки: числу контурів, що проходять через дугу (по убаванню); ваги дуги (по зростанню); індексу початку дуги (по зростанню); індексу кінця дуги (по зростанню). При такому впорядкуванні найбільш пріоритетною виявиться дуга, що входить у максимальне число контурів, і, якщо таких дуг мало, то більш пріоритетною буде дуга, що має меншу вагу. Навпаки, найменш пріоритетною виявиться дуга, що входить у мінімальне число контурів, і, якщо таких дуг мало – дуга з максимальною вагою. Сортування дуг супроводжується перестановкою стовпців матриці контурів: стовпці матриці контурів групуються по убаванню сумарної кількості одиничних елементів у цих стовпцях; якщо виникли підматриці зі стовпців з однаковою кількістю одиниць, розставляємо стовпці по убаванню ваги відповідних їм дуг. Якщо в одній підматриці перебувають дуги з однаковою вагою й однаковим числом одиниць у відповідних стовпцях, тоді розставляємо їх у лексиграфічному порядку по індексах дуг.

Ступень пріоритетності дуги – мультиплікативна величина, що пояснюється необхідністю балансу структурних і алгебраїчних властивостей дуги:

$$Ske(e_i; \Delta g) \Delta g_i^{-2} \frac{Sk^{IV}(S|e_i \approx g_i + \Delta g) - Sk^{IV}(S)}{\Delta g} \quad (8)$$

де  $i = \overline{1, m}$ ,  $Ske(e_i; \Delta g)$  – ступінь пріоритетності дуги  $e_i$ ; функція має параметр  $\Delta g$ ; знаки  $\underline{\Delta}$  та  $\approx$  означають, відповідно, “дорівнює по визначенню” і “зіставлено”, тобто привласнено локально в межах терму;

$Sk^{IV}(S|e_i \approx g_i + \Delta g)$  – структурна складність орграфу  $S$ , у якому дуга  $e_i$  зіставлена вазі  $g_i$  із приростом  $\Delta g > 0$ .

Алгебраїчні властивості навантаженої дуги проявляються в першому співмножнику: чим вага більше, тим пріоритет дуги менше. Структурні

властивості дуги оцінюються другим співмножником – чим менше приріст складності в чисельнику дроби, тим у меншій мірі дуга може вплинути на оцінку структурної складності; фактично це частинна похідна структурної складності по вазі дуги, що обчислюється методом кінцевих різниць. Розроблені методики та відповідні алгоритми формування навантажених матриць інцидентності, суміжності та контурів, а також матриці складності, яка є добутком двох добутків: добутку навантажених матриць суміжності, інцидентності та транспонованої матриці контурів, та транспонованого добутку навантажених матриць суміжності, інцидентності і транспонованої матриці контурів. Пропонується виконувати оцінку складності через норму (Крок 2) матриці складності  $W$  (Крок 1).

$$W = (XBC^T)(XBC^T)^T \quad (9)$$

Показник структурної складності системи передачі даних автоматизованої системи управління повітряним рухом у вигляді навантаженого сильно зв'язаного орієнтованого графа можна обчислити як:

$$Sk^{IV}(S) = \|W\|_2 = \max_{1 \leq s \leq n} \lambda_i(W) \quad (10)$$

де  $\lambda_i(W)$ ,  $i = \overline{1, n}$  спектр матриці  $W$  [7].

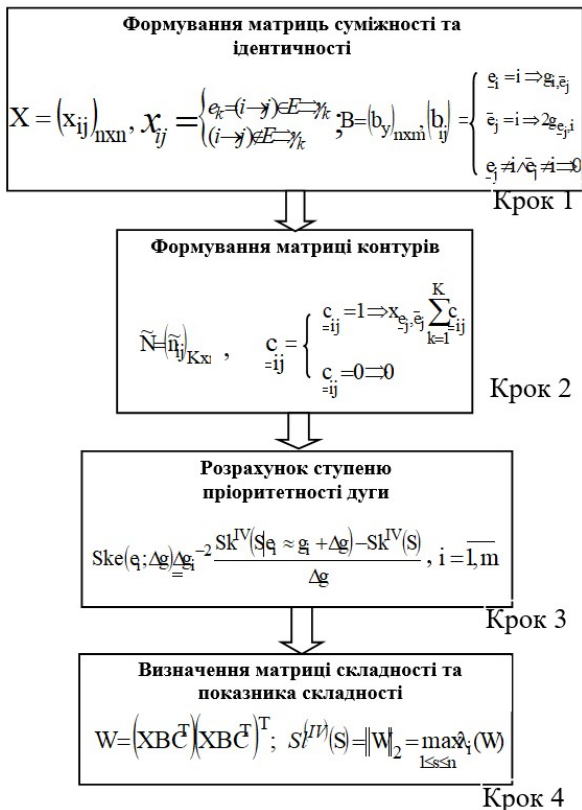


Рис. 1 Методика оцінки системи передачі даних автоматизованої системи управління повітряним рухом за показниками структурної складності

Застосування методики дозволить врахувати кількість понять (вузлів), відношень (зв'язків), контурів, вагу як вузлів так і зв'язків.

Об'єктивне дослідження функціональної стійкості розгалуженої інформаційної мережі неможливе без кількісної оцінки цієї властивості.

Математична формалізація функціональної стійкості є першим науково-обґрунтованим кроком створення методологічних основ оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем.

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 парувати відмови і ушкодження, що заважають обміну даними між обчислювальними модулями.

При оцінюванні функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем військового призначення доцільно враховувати сучасні тенденції розвитку збройної боротьби. Основна модель ведення війн, діюча в арміях США і країн НАТО, заснована на концепції "мережецентричної війни". Проведення операцій в кібернетичному просторі дозволяє дистанційно вивести з ладу системи життєзабезпечення, державного та військового управління, саме тому обґрунтування ефективності, стратегії та тактики даних операцій привертає значну увагу військових спеціалістів з інформаційної безпеки, збройні сили яких планують ведення "мережецентричних війн"

Відмінними ознаками дій в кіберпросторі у військових цілях є: наявність чітко сформульованої мети кібервпливу (узгодженої за цілями і завданнями операції, бою, битви); ретельне планування дій з досягнення поставленої мети і наявність відповідного комплексу сил і специфічних засобів кібервпливу[13].

Урахування кібервпливу під час розробки методики оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем військового призначення є необхідним та актуальним завданням.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

З проведеного порівняльного аналізу основних положень теорії функціональної стійкості та існуючих підходів щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем можливо зробити висновок про те, що дане питання неодноразово знайшло відображення в дослідженнях сучасних науковців. Проте існує необхідність подальших досліджень саме щодо оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем. Відсутній єдиний підхід щодо математичної формалізації та створення методики оцінювання функціональної стійкості гетерогенних інформаційних систем військового призначення. В сучасних умовах перспективними є дослідження щодо урахування кібервпливу при оцінюванні функціональної стійкості, та розробки дієвих алгоритмів дій з його прогнозування та попередження.

Наявність адекватної методики розрахунку та оцінювання функціональної стійкості існуючих інформаційних систем ЗС України надасть

можливість успішно вирішувати завдання при бойовому застосуванні частин та підрозділів зв'язку

### Література

**1. Калашник-Рибалко М. А.** Методика забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату на окремих режимах польоту / М. А. Калашник-Рибалко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - 2018. - № 1. - С. 67-76. **2. Машков О.А., Машков В. А.** Принципы функциональной устойчивости сложных систем // Наука и оборона. — 1995. — № 2. — С. 37-44. **3. Машков О.А.** Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем / О. Машков, О. Барабаш // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. - 2005. - Вип. 1. - С. 159-165. **4. Кравченко Ю. В.** Сучасний стан та шляхи розвитку теорії функціональної стійкості / Ю. В. Кравченко, С. А. Микусь // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. - 2013. - Вип. 69. - С. 40-48 **5. Барабаш О.В.** Методология построения функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. — К. НАОУ, 2004. — 226 с. **6. Щипанський П.В.** Забезпечення властивості функціональної стійкості системи контролю повітряного простору / П.В. Щипанський, О.В. Барабаш, В.В. Кіреєнко. // Системи озброєння і військова техніка. — 2014. — № 1/37.— С. 248 — 251. **7. Неділько С. М.** Методика оцінки системи передачі даних автоматизованої системи управління повітряним рухом за показниками структурної складності / С.М. Неділько // Вісник Хмельницького національного університету. — 2011. — № 4'2011. — С. 252-256. **8. Неділько С. М.**

Математична формалізація функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько // Системи озброєння і військова техніка. — 2011. — №1(25). — С. 119-122. **9. Неділько С.М.** Дослідження математичної формалізації функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — 2011. — № 1(27). — С. 47-50. **10. Оксіюк О.Г., Кравченко І.Ю.** Метод послідовного зменшення норми матриці складності неоднорідної семантичної мережі / Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. — 2011. — № 1(27). — С. 151-153. **11. Барабаш О.В., Кравченко Ю. В.** Функціональна стійкість — властивість складних технічних систем. Збірник наукових праць Національної академії оборони України. Бюл. № 40. — К.: НАОУ, 2002. — С. 225-229. **12. Пеньков В. І.** Методи та засоби протидії шкідливому програмному забезпеченню. / В.І.Пеньков, Р.М. Штонда, О.М.Гук, І.Р. Мальцева, Ю.О. Черниш // **13. Гук О.М.** Дії в кіберпросторі під час підготовки та ведення мережецентричної війни / О.М.Гук, О.Ю. Чередниченко, Р. М. Штонда., І.О.Діба // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2017. - № 2. - С. 107-111. **14. Пермяков О.Ю.** Методологічні основи проектування прикладного програмного забезпечення для автоматизованих систем управління військового призначення / О.Ю. Пермяков, В.Б. Толубко, А.І. Сбітнев,: Монографія. — К:НАОУ, 2004. — 188с.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНИВАНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Александр Николаевич Гук*

*Александр Юрьевич Пермяков (доктор технических наук, профессор)*

*Александр Николаевич Нестеров (доктор философии)*

*Татьяна Владимировна Уварова (кандидат технических наук)*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*В статье проведен сравнительный анализ подходов, методов и формализованных математических описаний применяемых для оценивания функциональной устойчивости гетерогенных информационных систем. Рассмотрены признаки и критерии функциональной устойчивости. Приведены определения понятий функциональная устойчивость, гетерогенные информационные системы, показатель и критерий функциональной устойчивости. Указано разницу между понятиями устойчивость функционирования и функциональная устойчивость сложных технических систем. Приведены формализованные описания структурного и вероятностного критериев функциональной устойчивости структуры гетерогенной информационной системы. Приведена математическая формализация показателя функциональной устойчивости для структур с последовательным и параллельным соединением элементов. Математически формализованы показатель структурной сложности системы передачи данных автоматизированной системы управления воздушным движением. Представлена методика оценивания функциональной устойчивости автоматизированной системы управления воздушным движением и методики расчета обобщенного вероятностного показателя функциональной устойчивости как свертки матрицы связности структуры. Определены направления дальнейших исследований по оценке функциональной устойчивости гетерогенных информационных систем.*

*Ключевые слова:* функциональная устойчивость; гетерогенные информационные системы; показатель функциональной устойчивости; критерий функциональной устойчивости; методика оценивания функциональной устойчивости; кибервлияние; киберпространство.

## ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO ESTIMATING THE FUNCTIONAL STABILITY OF HETEROGENEOUS INFORMATION SYSTEMS FOR MILITARY PURPOSES

*Oleksandr Huk*

*Oleksandr Permiakov (Doctor of technical science, Professor)*

*Oleksandr Nesterov (PhD)*

*Tetiana Uvarova (PhD)*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy*

*The article provides a comparative analysis of approaches, methods and formalized mathematical descriptions used to assess the functional stability of heterogeneous information systems. Features and criteria of functional stability are considered. The definitions of the concepts of functional stability, heterogeneous information systems, indicator and criterion of functional stability are given. The difference between the concepts of stability of functioning and functional stability of complex technical systems is indicated. Formalized descriptions of the structural and probabilistic criteria for the functional stability of the structure of a heterogeneous information system are given. The mathematical formalization of the functional stability indicator for structures with serial and parallel connection of elements is given. The indicator of the structural complexity of the data transmission system of the automated air traffic control system is mathematically formalized. The article presents a method for assessing the functional stability of an automated air traffic control system and a method for calculating a generalized probabilistic indicator of functional stability as a convolution of the structure connectivity matrix. The directions of further research on the assessment of the functional stability of heterogeneous information systems are determined.*

**Keywords:** functional stability; heterogeneous information systems; indicator of functional stability; criterion of functional stability; method of assessing functional stability; cyberinfluence; cyberspace.

### References

- 1. Kalashnyk - Rybalko M. A.** Methods of ensuring the functional stability of the aerobatic navigation complex of the aircraft in some flight modes // Scientific works of Kharkiv National Air Force University. - 2018. - № 1. - p.p. 67-76.
- 2. Mashkov O.A., Mashkov V.A.** Principles of functional stability of complex systems // Science and defense. — 1995. — № 2. — p.p. 37-44.
- 3. Mashkov O.A., Barabash O.V.** Assessment of the functional efficiency of innovative and information-based systems // Physical and mathematical modeling and information technology. - 2005. - Ed. 1. - p.p. 159-165.
- 4. Kravchenko Yu. V.** Current state and ways of development of the theory of functional stability // Collection of scientific works "Modeling and Information Technologies" of the Georgy Pukhov Institute for Energy Modelling. - 2013. - Ed 69. - p.p. 40-48
- 5. Barabash O.V.** Methodology for constructing functionally stable distributed information systems / O.B. Барабаш. - К. NAOU, 2004. - 226 p.
- 6. Shchypanskyi P.V., Barabash O.V., Kireienko V.V.** Ensuring the properties of the functional stability of the airspace control system // Systems of Arms and Military Equipment. - 2014. - № 1/37.- p.p. 248 - 251.
- 7. Nedilko S. M.** Methods for evaluating the data transmission system of the automated air traffic control system in terms of structural complexity // Bulletin of Khmelnytsky National University. - 2011. - № 4'2011. - p.p. 252-256.
- 8. Nedilko S. M.** Mathematical formalization of functional stability automated air traffic control system // Systems of Arms and Military Equipment. - 2011. - № 1(25). - p.p. 119-122.
- 9. Nedilko S.M.** Research of mathematical formalization of functional stability of the automated air traffic control system // Scientific works of Kharkiv National Air Force University. - 2011. - № 1(27). - p.p. 47-50.
- 10. Oksiuk O.H., Kravchenko I.Yu.** The method of successive reduction of the norm of the complexity matrix of an inhomogeneous semantic network / Scientific works of Kharkiv National Air Force University. - 2011. - № 1(27). - p.p. 151-153.
- 11. Barabash O.V., Kravchenko Yu.V.** Functional stability - a property of complex technical systems. Scientific works of NAOU. Ed. № 40. — K.: NAOU, 2002. — p.p. 225-229.
- 12. Penkov V. I., Shtonda R.M., Huk O.M., Maltseva I. R., Chernysh Yu.O.** Methods and means of counteracting malicious software. / В.І.Пеньков, Р.М. Штонда, О.М.Гук, І. Р. Мальцева, Ю.О. Черниш //
- 13. Huk O.M., Cherednychenko O.Yu., Shtonda R.M., Dyba I. O.** Actions in cyberspace during the preparation and conduct of network-centric warfare // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. - 2017. - № 2. - p.p. 107-111
- 14. Permiakov O.Yu., Tolubko V.B., Sbitniev A.I.** Methodological bases of designing application software for automated military control systems / Monograph. - K: NAOU, 2004. - 188p.