

УДК 682.964

О.А. Машков, д.т.н., проф.*Вища атестаційна комісія України***О.А. Кононов, к.т.н., доц.***Державний науково-дослідний інститут авіації***Д.В. Пекарєв, к.т.н., с.н.с.***Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова*

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКИХ СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Розглядається весь комплекс досліджень в області функціонально стійких технічних систем. Аналізуються задачі, що розв'язуються, отримані результати, описуються перспективні напрямки досліджень у даній області.

Вступ. Досить велика кількість публікацій в області функціонально стійких систем визначає необхідність аналізу отриманих результатів і їх осмислення в загальному контексті розвитку кібернетики.

Ціль статті. На основі аналізу публікацій надати коротку характеристику даного наукового напрямку, опис основних результатів і перспектив подальшого розвитку.

Проблемна ситуація, яка призвела до виникнення даного наукового напрямку, пов'язана з розробкою наприкінці ХХ століття складних автономних технічних систем, що функціонують в екстремальних умовах (насамперед, авіаційно-космічних й ракетно-космічних). Їх висока вартість і потенційна небезпека вимагають забезпечення відповідного рівня надійності й безпеки застосування. При цьому традиційні методи, що засновані на багаторазовому резервуванні, введенні систем вбудованого контролю й елементів з підвищеним рівнем надійності, погіршували техніко-економічні характеристики проєктованих систем та не призводили до необхідного зменшення ймовірності виникнення небезпечних ситуацій. Необхідність введення додаткової апаратної надлишковості для забезпечення надійності системи стало принциповим обмеженням такого підходу.

Було запропоновано розглядати позаштатні стани системи, викликані відмовами, як припустимі, і для них формувати адекватне (функціонально стійке) керування, спрямоване на парировання наслідків відмов і підтримку виконання функцій системи. За рахунок цього керування забезпечується перерозподіл ресурсів системи для досягнення головної мети, навіть в умовах відмов.

Вперше поняття “**функціональна стійкість**”, його визначення й **принципові основи забезпечення функціональної стійкості** були наведені в публікаціях, присвячених вирішенню конкретних задач керування складними автономними об'єктами [1–3].

Було встановлено, що принциповою умовою забезпечення даної властивості є можливість перерозподілу наявних ресурсів усередині системи.

В традиційних системах автоматичного керування автономними об'єктами, розділених на канали в складі датчиків, обчислювачів і виконавчих механізмів, ресурси (енергетичні, обчислювальні, інформаційні), що виділяються на керування, жорстко закріплені між каналами (рис. 1).

В [4] було обґрунтовано, що неможливість перерозподілу ресурсів між каналами обмежує можливість формування функціонально стійкого керування. Дослідження, результати яких наведені в [5], показали, що технологічною основою забезпечення функціональної стійкості стало створення бортових інформаційно-керуючих комплексів, які дозволили комплексувати ресурси системи та здійснювати їх перерозподіл. Тільки комплексування всіх каналів систем автоматичного керування в єдиний інформаційно-керуючий комплекс, де інформаційно-вимірювальна підсистема буде включати всі джерела інформації, пристрої перекодування й сполучення, обчислювальна система – всі обчислювачі, а енергетична підсистема – всі виконавчі механізми й джерела енергії, дозволить забезпечити її функціональну стійкість (рис. 2).



Рис. 1. Структура традиційних систем автоматичного керування



Рис. 2. Структура бортового інформаційно-керуючого комплексу

Крім того, в результатах досліджень [6] показано, що можливість комплексного використання ресурсів і забезпечення функціональної стійкості систем обмежується умовами стійкості динамічної системи, її керованості й спостережуваності за Калманом.

На сьогоднішній день досить повне дослідження умов забезпечення функціональної стійкості проведене для лінійних нестochasticних стаціонарних моделей. Дані дослідження безпосередньо пов'язані з уточненням поняття “функціонально стійка система” та “функціонально стійке керування”. В [7–10] термін “функціональна стійкість” визначається щодо розв’язання частинних задач, найбільш емне й чітке визначення даної властивості складної керованої системи наведено в [11, 12]. Під функціональною стійкістю системи розуміється її властивість зберігати протягом заданого часу виконання своїх основних функцій в межах, установлених нормативними вимогами, в умовах протидії, а також впливу потоків відмов, несправностей та збоїв.

В цих же роботах вперше наводиться **математична формалізація поняття “функціонально стійке керування”** для випадку бортового інформаційно-керуючого комплексу лінійної стохастичної динамічної системи в режимі стабілізації, де об'єкт керування (рис. 2) описується рівнянням у формі

Ланжевена:

$$\dot{X}(t) = A(t) \cdot X(t) + \delta(t) + o(t) + \gamma(t); \quad (1)$$

інформаційно-вимірвальна підсистема (рис. 2) – рівнянням спостережень:

$$Y(t) = H(t) \cdot X(t) + z(t) + \gamma(t); \quad (2)$$

де $X(t)$ – n -мірний вектор стану системи; $U(t)$ – m -мірний вектор керування; $Y(t)$ – l -мірний вектор вимірів; $A(t)$ – динамічна матриця системи розмірністю $n \times n$; $H(t)$ – матриця вимірів системи розмірністю $l \times n$; $\gamma(t)$ – n -мірний випадковий вектор, значення якого кількісно характеризує дію відмови на систему; $\gamma_0(t)$ – значення вектора, що відповідає нормальному режиму функціонування; $\gamma_i(t)$ – значення вектора, що відповідає i -й відмові; $o(t)$ – випадковий вектор гауссівських збурень стану системи з нульовим вектором середніх і кореляційною матрицею

$$o(t) \in \Omega_o : M[o(t)] = 0; \quad M[o(t) \cdot o^T(t')] = Q(t)\delta(t - t'); \quad (3)$$

$z(t)$ – випадковий l -мірний вектор гауссівських перешкод вимірів з нульовим вектором середніх і кореляційною матрицею

$$z(t) \in \Omega_z : M[z(t)] = 0; \quad M[z(t) \cdot z^T(t')] = R(t)\delta(t - t'); \quad (4)$$

обчислювальна й енергетична підсистеми (рис. 2) описуються відповідно такими рівняннями:

$$U(t) = u(Y, t); \quad (5)$$

$$\delta(t) = B(t)U(t) + \gamma(t); \quad (6)$$

$B(t)$ – перехідна матриця керування розмірністю $n \times m$.

Розглядається випадок класичного квадратичного критерію якості без термінальної складової:

$$I(X(t), U(t) / \gamma(t)) = M \left[\int_{t_0}^{t_k} X^T(t) \cdot \beta \cdot X(t) dt + \int_{t_0}^{t_k} U^T(t) \cdot C^{-1} \cdot U(t) dt \right]. \quad (7)$$

В цих умовах керування $U^*(t)$, що забезпечує мінімум математичного очікування квадратичного критерію якості (7) для обраної моделі відмов $\gamma(t) \in \Omega_\gamma$ з урахуванням обмежень на область припустимих станів $X(t) \in \Omega_X$ і керувань $U(t) \in \Omega_U$, буде функціонально стійким при виконанні умов:

$$\begin{cases} |I(X(t_0), U(t_0) / \gamma_0(t_0)) - I(X(t_0), U(t_0) / \gamma_i(t_0))| < \varepsilon \\ \lim_{t \rightarrow \infty} |I(X(t), U(t) / \gamma_0(t)) - I(X(t), U(t) / \gamma_i(t))| < \delta(\varepsilon) \end{cases} \quad (8)$$

Нерівності (8) формалізують умову функціональної стійкості керування комплексом (1–6). Якщо в початковий момент часу t_0 відмова призводить до погіршення якості стабілізації не більше певного позитивного значення ε , то функціонально стійке керування повинне забезпечити зміну якості стабілізації не більше певного значення δ , що залежить від ε (рис. 3).

Однак існують й інші підходи до формалізації поняття функціональна стійкість, що наведені в [13–19].

Питання співвідношення теорії функціонально стійких систем з іншими технічними дисциплінами розглядалися в ряді публікацій [4–6, 9, 19–37]. Насамперед автори намагалися визначити місце теорії функціонально стійких систем у контексті розвитку сучасної теорії автоматичного керування. Було встановлено [6], що забезпечення функціональної стійкості систем виходить за рамки традиційних для класичної теорії автоматичного регулювання задач оптимізації “у малому” (на заданій програмній траєкторії керування визначається з умови оптимізації перехідних процесів за тими чи іншими критеріями), тому що припускає неповну апріорну інформацію про об’єкт, оперативне формування програмної траєкторії для поточної обстановки й оптимальне використання всіх наявних ресурсів.

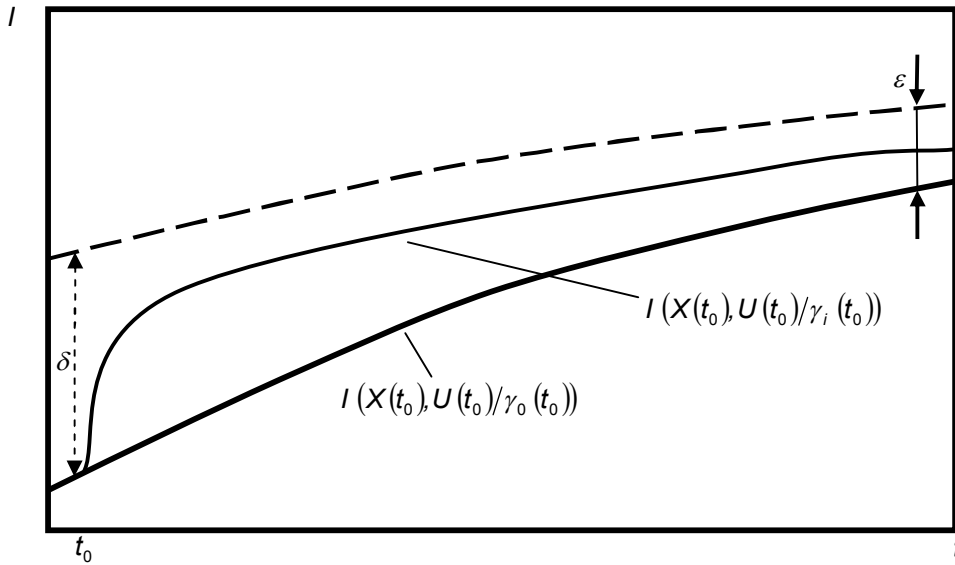


Рис. 3. Геометрична інтерпретація функціональної стійкості керованих динамічних систем

Тому завдання забезпечення функціональної стійкості можна розглядати як вид задач адаптивного оптимального керування “у великому”, що припускають оптимальне використання на кожному етапі або режимі функціонування системи всіх наявних ресурсів (енергетичних, інформаційних, обчислювальних), для досягнення головної для цього етапу мети при дотриманні безлічі обмежень.

В роботах [4–6, 9] показаний тісний зв’язок поняття “функціональна стійкість” з поняттями “надійність”, “живучість” та “відмовостійкість”. Показана принципова відмінність між ними: методи забезпечення функціональної стійкості спрямовані не на зменшення кількості відмов і порушень (як традиційні методи підвищення надійності, живучості й відмовостійкості технічних систем), а на забезпечення виконання найбільш важливих функцій, коли ці порушення вже відбулися. Однак в [9] відзначається, що ці підходи підвищення надійності властивостей систем не суперечать один одному, навпаки, вони взаємно доповнюють один одного.

В основі **методів синтезу функціонально стійкого керування** лежить можливість синтезу оптимального керування в детермінованій постановці, що впливає з так званого принципу розподілу, що для нелінійних систем дає субоптимальне рішення у вигляді об’єднання системи субоптимального оцінювання й системи оптимального або субоптимального керування, синтезовані для детермінованих умов.

Особливість методів синтезу функціонально стійких бортових інформаційно-керуючих комплексів полягає в тому, що в них не розглядаються процеси, які призвели до відмов [9]. Для формування спеціального парируючого керування важливий сам факт порушення працездатності якогось елемента комплексу.

Складність перевірки навіть достатніх умов керованості й спостережуваності модернізованої системи за відомими ранговими критеріями змусила знаходити інші критерії **функціональної стійкості**.

В [38, 39] для бортового інформаційно-керуючого комплексу, що описується нелінійними рівняннями, і відмовами у вигляді стрибкоподібної зміни структури, запропонований графовий критерій функціональної стійкості.

Розглядається граф $\Gamma = \{S, J\}$, де S – множина вершин графа $S = \{x_i, y_j, u_k\}$, $i = [1, \dots, n]$, $j = [1, \dots, l]$, $k = [1, \dots, m]$, що відповідають компонентам векторів X, Y, U ; J – множина дуг графа, що відповідають наявності функціонального зв’язку між компонентами $J = \{(X_i, Y_j), (Y_j, U_k), (U_k, X_i)\}$.

Тому що розглянуті відмови відповідають зміні функціонального зв’язку між компонентами векторів X, Y, U , то динамічна система може бути функціонально стійкою, якщо при відмові існує шлях $A = (X_i, \dots, U_k)$, що включає всі компоненти векторів X і U .

Для розподілених інформаційно-керуючих систем, що описуються у вигляді неорієнтованого графа $G(V, E)$, $v_i \in V$, $e_{ij} \in E$, $i, j = 1, \dots, n$, із суміжною матрицею

$$A = \| a_{ij} \|, \quad i, j = 1 \dots n, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } e_{ij} \in E; \\ 0, & \text{при } e_{ij} \notin E. \end{cases} \quad (9)$$

де множина вершин V відповідає множині вузлів комутації розмірності n , а множина ребер E – множині ліній зв'язку між вузлами комутації, був запропонований інший критерій [40]: функціональна стійкість буде забезпечуватися, якщо між будь-якою парою вузлів комутації знайдеться хоча б один маршрут передачі інформації.

Перевага даного критерію полягає в тому, що з'являється можливість кількісно оцінити функціональну стійкість поточної структури розподілених інформаційно-керуючих систем на підставі простих зовнішніх ознак.

В [41–43] наведений алгоритм виявлення й парирування відмов функціонально стійкого бортового інформаційно-керуючого комплексу (рис. 4). На початку апріорно формуються образи-еталони наслідків позаштатних ситуацій, викликаних відмовами функціональних підсистем комплексу, і зберігаються в пам'яті. Потім після визначення образу поточного стану та його порівняння зі збереженими в пам'яті образами-еталонами приймається висновок про нормальне функціонування підсистем комплексу або наявності тієї або іншої відмови. Відповідно для кожного випадку формується адекватне керування (рис. 4).

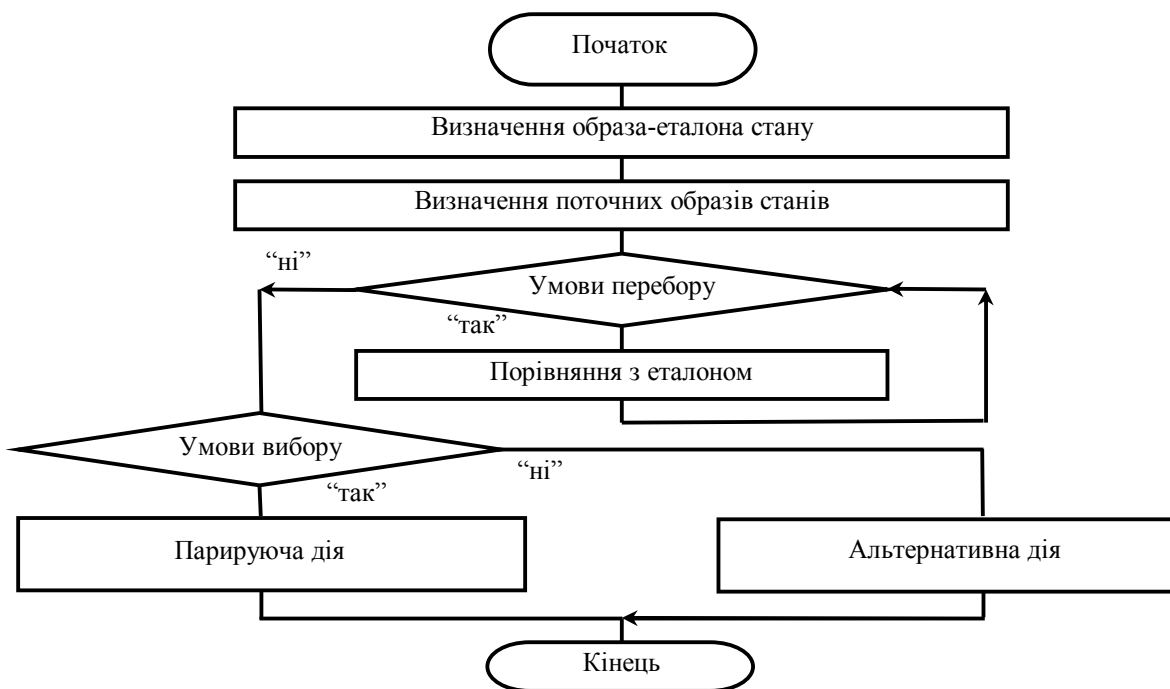


Рис. 4. Алгоритм виявлення й парирування наслідків відмов функціонально стійкого бортового інформаційно-керуючого комплексу

Особливе значення даного алгоритму полягає в тому, що він дозволив розділити загальну задачу синтезу функціонально стійких систем на частинні завдання: синтез алгоритму виявлення відмов і синтез алгоритму парирування відмов.

Спочатку методи забезпечення функціональної стійкості застосовувалися для вдосконалення технічних характеристик складних технічних систем, що працюють в екстремальних умовах, насамперед для авіаційно-космічних систем. Однак розвиток елементної бази обчислювальних систем, складності сучасних і, особливо, перспективних автономних динамічних систем, наявність в них значної конструктивної надмірності дозволяє розширити область застосування методів забезпечення функціональної стійкості.

Бурхливий розвиток інформаційних технологій призвів до появи принципово нового об'єкта керування, де дуже важливим є забезпечення функціональної стійкості. Розподілені інформаційно-керуючі системи являють собою розосереджені на деякій території засоби автоматизованої обробки інформації для розв'язання задач накопичення, обробки, збереження й пересилання інформації. Така система складається з вузлів комутації та каналів (ліній) зв'язку між окремими елементами системи. Головною функцією даної системи є забезпечення абонентів потенційною можливістю доступу до

загальних інформаційних ресурсів. У сучасних умовах на розподілені інформаційно-керуючі системи негативно впливають як внутрішні (відмови, збої, помилки корпоративних абонентів), так і зовнішні (активний або пасивний вплив зовнішнього середовища) фактори. Тому забезпечення функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем є актуальною задачею [44–60].

В [47, 54–61] показано, що методи комплексного забезпечення спостережуваності, керованості й ідентифікованості динамічних об'єктів не застосовні для розподілених інформаційно-керуючих систем. Вони спираються на приведення структури систем до схеми з послідовних і паралельних з'єднань модифікованих елементів, а розподілені інформаційно-керуючі системи, як складні організаційні системи, характеризуються безмежною кількістю перехресних зв'язків, що не зводяться до кінцевої кількості послідовних і паралельних з'єднань. Дослідження критеріїв, показників, ознак й методів забезпечення функціональної стійкості щодо моделей розподілених інформаційно-керуючих систем наведені в роботах [47–49, 52–56].

Проблеми забезпечення функціональної стійкості важливі й для псевдосупутникових радіонавігаційних систем як складової частини високоточних систем озброєння, де вихід з ладу хоча б одного з елементів призводить до втрати можливості навігації. Просте введення надмірності (дублювання елементів) викликає збільшення вартості системи, але не гарантує достатньої стійкості навігації. Питанням пошуку оптимальної структури надмірності псевдосупутникової радіонавігаційної системи присвячені роботи [62–64].

Іншою перспективною областю є забезпечення функціональної стійкості групового польоту безпілотних літальних апаратів при різних відмовах бортового устаткування й каналів зв'язку [65–67]. Технологічне втілення отриманих рішень дозволить істотно підвищити ефективність застосування безпілотної авіації.

Також перспективним напрямком досліджень є вивчення функціональної стійкості ергатичних систем (людино-машинних систем – систем, в яких необхідним елементом контуру керування є людина). Через те, що автоматичні пристрої є лише частиною класу ергатичних систем, розробка методів аналізу й синтезу функціонально стійких ергатичних систем є закономірним напрямком розвитку теорії.

Головна наукова проблема забезпечення функціональної стійкості ергатичних систем полягає в кількісній формалізації й описі людини в замкнутому контурі керування. Тому найбільш важливими напрямками подальших досліджень варто вважати розробку методів оптимізації функціонально стійких ергатичних систем, методів ефективного розподілу функцій та узгодження характеристик між ними й людиною-оператором.

Висновки:

1. Теорія функціонально стійких систем, що виникла нещодавно, є результатом системного підходу до вирішення проблеми підвищення надійнісних властивостей складних об'єктів керування. При цьому функціональна стійкість є властивістю, принципово відмінною від надійності, живучості, динамічної стійкості, відмовостійкості.

2. Методи забезпечення функціональної стійкості спрямовані на більш повне використання наявних технічних ресурсів складної технічної системи. Їх особливістю є те, що машині (автоматичній частині) приділяється не пасивна роль виконання чіткої програми, а активний перерозподіл ресурсів для досягнення поставлених цілей.

3. Задачу забезпечення функціональної стійкості можна розглядати як одну з актуальних наукових задач сучасної теорії автоматичного керування.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Повышение эффективности бортовых информационно-управляющих комплексов на основе обнаружения и парирования отказов в процессе управления: Отчет о НИР / КВВАИУ. – № 09026. – К.: КВВАИУ, 1990. – С. 226–264.
2. Обеспечение отказоустойчивого управления воздушно-космическим самолетом: Отчет о НИР «Позиция 51»/ КВВАИУ. – К.: КВВАИУ, 1990. – С. 297–335.
3. *Маишков О.А.* О функциональной устойчивости бортовых информационно-управляющих комплексов // Вопросы повышения эффективности и качества систем управления полетом и навигации воздушных судов. – К.: КИИГА, 1990. – С. 79–83.
4. *Маишков О.А.* Концепции построения функционально устойчивых информационно-управляющих комплексов // Тез. докл. 6-й Всесоюзной конференции. – К.: АН УССР, 1991. – Ч. II. – С. 50–51.
5. *Маишков О.А., Косіков В.В., П'янов О.О.* Матеріали патентних досліджень у області створення функціонально стійких бортових інформаційно-керуючих комплексів / Зб. наук. праць КІВПС, 2000. – № 10. – С. 83–92.

6. *Майшков О.А.* Принципы построения функционально устойчивых бортовых информационно-управляющих комплексов // Тез. докл. межвед. научно-технической конференции “Проблемы управления и навигации авиационно-космических систем”. – К.: КВВАИУ, 1991. – С. 63–65.
7. *Артюшин Л.М., Майшков О.А.* Вероятностный анализ кибернетических систем. – К.: КИВВС, 1993. – 376 с.
8. *Артюшин Л.М., Майшков О.А.* Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
9. *Майшков О.А., Кузнецов С.Д.* Принципы функциональной устойчивости в бортовых информационно-управляющих комплексах // Изв. Всесоюзного НИИ стандартизации общественных технологий. – 1991. – № 3. – С. 76–79.
10. *Майшков О.А., Кузнецов Г.Д., Кузнецов С.Д.* Автоматизированная система контроля с помехоустойчивым алгоритмом функционирования // Изв. Всесоюзного НИИ стандартизации общесистемных технологий. – 1992. – № 2. – С. 10–15.
11. *Артюшин Л.М., Майшков О.А., Дурняк Б.В., Плащенко О.А.* Теоретичні основи технічної кібернетики. – Львів: Українська академія друкарства, 2004. – 120 с.
12. *Майшков О.А., Запара А.В.* Понятие функциональной устойчивости бортового информационно-управляющего комплекса // Оборудование летательных аппаратов. – К.: КИВВС, 1993. – Ч. III. – С. 25–29.
13. *Майшков О.А.* Применение моделей нечеткой логики для анализа качества программного обеспечения функционально устойчивых комплексов / КВВАИУ. – К., 1990. – 10 с. – Деп. в в/ч 11520 МО СССР, № 4831.
14. *Майшков О.А.* Оценка качества программного обеспечения функционально устойчивых информационно-управляющих систем на основе нечеткой логики // Изв. Всесоюзного НИИ стандартизации общественных технологий. – 1991. – № 2. – С. 37–41.
15. *Майшков О.А., Кононов А.А.* Обеспечение функциональной устойчивости бортовых информационно-управляющих комплексов авиационно-космических систем // Зб. наук. праць. – К.: КІВПС, 1998. – № 3. – С. 24–29.
16. *Майшков О.А., Лиходеев А.С., Косиков В.В.* Концептуальные основы построения функционально устойчивых бортовых информационно-управляющих комплексов авиационно-космических систем // Зб. наук. праць КІВПС. – К.: КІВПС, 2000. – № 9. – С. 3–8.
17. *Майшков О.А., Лиходеев О.С.* Особенности побудови функціонально стійкого бортового інформаційно-керуючого комплексу багаторазових авіаційно-космічних систем // Зб. наук. праць КІВПС. – К.: КІВПС, 2000. – № 9. – С. 87–94.
18. *Майшков О.А., Косиков В.В., П'янов О.О.* Методика оцінки показників надійності функціонально стійких БІУК // Зб. наук. праць КІВПС. – К.: КІВПС, 2000. – № 9. – С. 69–80.
19. *Майшков О.А.* Живучесть и стойкость системы к внешним возмущающим факторам // Бортовая система контроля и обслуживания самолета Ан-218: эскизный проект. – К.: КПО “Электронприбор”, 1992. – С. 169–171.
20. *Майшков О.А.* Принцип построения функционально устойчивого бортового информационно-управляющего комплекса авиационно-космической системы // Сб. докладов I международной авиакосмической конференции. – М.: Российская Академия Наук, 1993. – С. 151–167.
21. *Майшков О.А., Вихляев А.Ю.* Особенности синтеза функционально устойчивых бортовых информационно-управляющих комплексов с использованием избыточности органов управления // Тез. докл. III межвед. научно-технической конференции. – К.: НКАУ, 1994. – С. 4.
22. *Майшков В.А., Майшков О.А.* Обеспечение функциональной устойчивости сложных иерархических систем // Тез. докл. I Украинской конференции по автоматическому управлению. – К.: АН Украины, 1994. – Ч. I. – С. 205.
23. *Майшков О.А., Вихляев А.Ю., Запара А.В.* Новые задачи управления движением авиационно-космических систем при возникновении нештатных ситуаций // Тез. докл. I Украинской конференции по автоматическому управлению. – К.: АН Украины, 1994. – Ч. II. – С. 362.
24. *Майшков О.А., Кононов А.А.* Пути повышения эффективности информационно-управляющего комплекса с алгоритмом идентификации нештатных ситуаций в реальном времени // Тезисы докладов III межведомственной научно-технической конференции. – К.: НКАУ, 1994. – С. 5.
25. *Майшков О.А., Вихляев А.Ю.* Синтез функционально устойчивого информационно-управляющего комплекса с использованием избыточности органов управления // Тезисы докладов III Международной научно-технической конференции “Авионика-95”. – К.: Мин. образования Украины, 1995. – С. 55.

26. *Машков О.А., Кононов А.А.* Функциональная устойчивость управляемых динамических систем в условиях их внезапной деградации // Тез. докл. VI Украинской конференции “Моделирование и устойчивость систем”. – К.: НГУ им. Т.Г. Шевченко, 1995. – С. 62.
27. *Машков О.А., Кононов А.А., Кулиш В.В.* Особенности оптимизации цифровых информационно-управляющих комплексов, устойчивых к отказам // Праці II Української конференції з автоматичного керування (Автоматика-95). – Львів: НВЦ, 1995. – Т. I. – С. 116.
28. *Машков О.А., Вихляев А.Ю., Кононов А.А., Кулиш В.В.* Метод обеспечения функциональной устойчивости информационно-управляющего комплекса, основанный на использовании избыточности системы исполнительных органов // Тезисы докладов I Украинской научно-практической конференции “Надежность, современное состояние, проблемы, перспективы”. – К.: Минмашпром, 1995. – С. 73–74.
29. *Машков О.А.* Проблемы синтеза функционально устойчивых информационно-управляющих комплексов подвижных объектов // Тез. докл. I Украинской конференции по автоматическому управлению. – К.: АН Украины, 1994. – Ч. II. – С. 363.
30. *Машков О.А., Кокирко И.А., Кузнецов С.Д.* Общее решение задачи восстановления информации в информационно-управляющих комплексах при нештатных ситуациях // Материалы VII научно-технической конференции училища. – Иркутск: ИВВАИУ, 1993. – С. 151–153.
31. *Артюшин Л.М., Машков О.В., Сивов М.С.* Теорія автоматичного керування. – К.: КІВПС, 2000. – 320 с.
32. *Барабаш О.В., Кравченко Ю.В.* Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем // Збірник наукових праць НАОУ. – К.: НАОУ, 2002. – Бюл. № 40. – С. 225–229.
33. *Машков О.А., Машков В.А.* Принципы функциональной устойчивости сложных систем // Наука и оборона, 1995. – № 2. – С. 37–44.
34. *Машков О.А., Чумакевич В.О., Шуренок В.А.* Шляхи створення та дослідження функціонально стійкої моделі вимірювально-обчислювального комплексу // Збірник наукових праць НАН України, “Моделювання та інформаційні технології”. – К.: НАН України, 2003. – Вип. 24. – С. 40–47.
35. *Машков О.А., Мельник А.Д.* Методика оценки показателей надежности функционально устойчивого бортового информационно-управляющего комплекса // Международная научно-технической конференция “Аэронавигация-96”. – К.: КМУГА, 1996. – С. 91–92.
36. *Машков О.А., Вихляев А.Ю., Запара А.В.* Методы моделирования функционально устойчивых информационно-управляющих комплексов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1993. – № 4. – С. 86–92.
37. *Машков О.А., Кононов А.А.* Новые прогрессивные технологии проверки интегрированных бортовых информационно-управляющих комплексов летательных аппаратов с использованием программной избыточности // Тез. докл. III Междунар. научно-технической конференции “Авионика-95”. – К.: Мин. образования Украины, 1995. – С. 20–21.
38. *Машков О.А.* Критерий функциональной устойчивости информационно-управляющих комплексов // Тез. докл. V королевских чтений. – К.: АН УССР, 1990. – С. 64.
39. *Машков О.А., Кокирко И.А.* О критерии функциональной устойчивости бортовых информационно-управляющих комплексов // Материалы VII научно-технической конференции ИВВАИУ. – Иркутск: ИВВАИУ, 1993. – С. 154–156.
40. *Машков О.А., Барабаш О.В.* Методика побудови структурно-надійної мережі передачі даних автоматизованої системи управління // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Житомир: ЖВІРЕ, 2002. – № 5. – С. 132–142.
41. *Машков О.А., Запара А.В.* Описание нештатных ситуаций в бортовом информационно-управляющем комплексе // Сб.: Оборудование летательных аппаратов. – К.: КИВВС, 1993. – Ч. III. – С. 21–24.
42. *Сивов Н.С., Машков О.А.* Применение метода максимального правдоподобия для построения адаптивного многомерного фильтра, устойчивого к отказам измерителей // Адаптивные системы автоматического управления. – К.: КВВАИУ, 1990. – Вып. 19. – С. 47–53.
43. *Машков О.А., Гиро О.Е., Щавелев П.Б.* Обнаружение отказов в системе управления на основе различения многих гипотез // Оборудование летательных аппаратов. – К.: КИВВС, 1993. – Ч. III. – С. 32–35.
44. *Машков О.А., Гиро О.Е., Щавелев П.Б.* Постановка задачи обнаружения отказов в бортовом информационно-управляющем комплексе // Оборудование летательных аппаратов. – К.: КИВВС, 1993. – Ч. III. – С. 30–31.

45. Барабаш О.В., Машков О.А. Оценка эффективности применения оперативного самодиагностирования в бортовых вычислительных системах // Материалы II международной научно-технической конференции. – К.: Мин. образования Украины, 1993. – С. 44.
46. Машков О.А. Организация резервирования и реконфигурирования вычислительных средств системы // Бортовая система контроля и обслуживания самолета Ан-218: Эскизный проект. – К.: КПО «Электронприбор», 1992. – С. 124–127.
47. Барабаш О.В., Машков О.А. Взаимосвязь между самодиагностированием и восстановлением отказоустойчивых бортовых вычислительных систем // Материалы II международной научно-технической конференции. – К.: Министерство образования Украины, 1993. – С. 45–46.
48. Машков О.А., Машков В.А. Принципы самодиагностирования сложных систем: сравнительный анализ // Наука и оборона. – 1995. – № 2. – С. 102–113.
49. Гостев В.И., Машков О.А., Машков В.А. Самодиагностирование модульных систем при случайном выполнении элементарных проверок // Кибернетика и вычислительная техника. Дискретные системы. – 1996. – Вып. 105. – С. 118–127.
50. Машков О.А., Гостев В.И., Машков В.А. Межмодульный обмен диагностической информацией при самодиагностировании сложных систем // Кибернетика и вычислительная техника. – 1996. – Вып. 105. – С. 108–118.
51. Машков О.А., Гостев В.И., Машков В.А. Способы обеспечения отказоустойчивости бортовых вычислительных систем на основе их самоконтроля // Кибернетика и вычислительная техника. – 1997. – Вып. 109. – С. 38–51.
52. Машков О.А., Машков В.А. Обеспечение отказоустойчивости вычислительных систем на основе их самодиагностирования по принципу блуждающего ядра // Кибернетика и вычислительная техника. – 1997. – Вып. 112. – С. 103–111.
53. Gostev V.I., Mashkov O.A., Mashkov V.A. Intermodular exchange of diagnosis information in Self-diagnosis of complex systems // Cybernetics and Computing Technology, Discrete Control Systems. – 1999. – № 105. – P. 95–103.
54. Gostev V.I., Mashkov O.A., Mashkov V.A. Methods for providing fault tolerance of airborne computer system through their self-control // Cybernetics and Computing Technology, Discrete Control Systems. – 1999. – № 109. – P. 33–44.
55. Машков О.А., Косіков В.В., П'янов О.О. Особливості синтезу моделей відмово стійких бортових обчислювальних систем // Зб. наук. праць КІВПС. – К.: КІВПС, 1999. – № 7. – С. 60–65.
56. Mashkov O., Mashkov V. Fault-Tolerant of Computing Systems based on the Self-diagnosis by the traveling kerning Principle / ALLERTON PRESS INC., Cybernetics and Computing Technology (Ergatic Control System). – 1999. – P. 89–94.
57. Барабаш О.В., Козелков С.В., Машков О.А. Понятійний апарат функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем // Збірник наукових праць НЦ ВПС ЗС України. – Вип. № 7. – 2005. – С. 87–95.
58. Козелков С.В., Машков О.А., Барабаш О.В. Побудова функціонально стійких розподілених інформаційних систем наземного базування // Тез. доп. XIV науково-технічної конференції ЖВІРЕ ім. С.П. Корольова. – Житомир: ЖВІРЕ ім. С.П. Корольова, 2004. – С. 107–108.
59. Машков О.А., Барабаш О.В. Синтез структуры автоматизированной системы по критерию максимума функциональной устойчивости // Аерокосмічні системи моніторингу та керування. – К.: НАУ, 2003. – Т. 2. – С. 193–196.
60. Gostev V.I., Mashkov O.A., Mashkov V.A. Self-diagnostic of modular systems in random performance of elementary tests // Cybernetics and Computing Technology, Discrete Control Systems. – 1995. – № 105. – P. 104–112.
61. Машков О.А., Кононов А.А. Проблемы обеспечения функциональной устойчивости бортового информационно-управляющего комплекса // Тез. докл. Международной научно-технической конференции «Аэронавигация-96». – К.: КМУЦА, 1996. – С. 91.
62. Машков О.А., Барабаш О.В. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем // Збірник наукових праць НАН України, ПІМЕ «Моделювання та інформаційні технології». – 2003. – Вип. 25. – С. 29–35.
63. Машков О.А., Савченко В.А. Методика синтезу функціонально стійкої структури локальної радіонавігаційної системи // Тез. доп. XIV науково-технічної конференції ЖВІРЕ ім. С.П. Корольова. – Житомир: ЖВІРЕ ім. С.П. Корольова, 2004. – С. 105–106.
64. Машков О.А., Кравченко Ю.В., Савченко В.А. Синтез високоточної радіонавігаційної системи на основі метода аналізу ієрархій показників якості // Збірник наукових праць НАН України «Моделювання та інформаційні технології». – К.: НАН України, 2003. – Вип. 22. – С. 41–48.

65. *Машков О.А., Барабаш О.В.* Проблеми моделювання функціонально стійких складних інформаційних систем // Інформаційне моделювання складних систем “MIMUZ-2002”. – К.: Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, 2002. – С. 137–142.
66. *Машков О.А., Кононов А.А., Кулиш В.В.* Методология исследования и парирования нештатных (аварийных) ситуаций для сверхлегких летательных аппаратов // *General Aviation*. – Харьков: ХАИ, 1995. – № 9. – С. 11.
67. *Машков О.А., Вихляев А.Ю., Кононов А.А., Кулиш В.В.* Особенности обеспечения отказоустойчивости информационно-управляющих комплексов на основе теории функционально устойчивых систем // Тез. докл. I Украинской научно-практической конференции: “Надежность, современное состояние, проблемы, перспективы”. – К.: Минмашпром, 1995. – С. 75–76.

МАШКОВ Олег Альбертович – доктор технічних наук, професор, начальник відділу природничих наук Вищої атестаційної комісії України.

Наукові інтереси:

- сучасна теорія управління;
- теорія функціонально стійких складних систем.

КОНОНОВ Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, докторант Державного науково-дослідного інституту авіації.

Наукові інтереси:

- сучасна теорія управління;
- теорія функціонально стійких ергатичних систем.

ПЕКАРСЬВ Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу наукового центру Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- теорія функціонально стійких ергатичних систем;
- алгоритми функціонування складних інформаційних систем.

Подано 08.06.2006