Г.А. Калашник, М.А. Калашник-Рибалко

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПЛЕКСУ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА DA-42 ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПІД ВПЛИВОМ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

У статті представлено результати дослідження ефективності функціонування комплексу бортового обладнання КБО-42 літака DA-42 в умовах дестабілізуючих впливів за показниками функціональної стійкості. Дослідження включало аналіз графу КБО-42 за критеріями: вид топології, число і розташування вузлів, кількість ліній зв'язку; визначення компонентів зв'язності графу; розрахунок структурних параметрів графа: коефіцієнта надмірності зв'язків, радіусу графа, діаметру графа, коефіцієнта централізованості; розрахунок показників функціональної стійкості: ступеню вершинної зв'язності, ступеню реберної зв'язності. Надано результати дослідження структурних показників функціональної стійкості КБО-42: запасу функціональної стійкості, вершинного запасу функціональної стійкості, реберного запасу функціональної стійкості. За результатами досліджень визначено, що комплекс бортового обладнання КБО-42 має низький рівень функціональної стійкості під впливом дестабілізуючих факторів. У статті запропоновано основні шляхи реалізації принципів функціональної стійкості для дослідженого комплексу бортового обладнання КБО-42 літака DA-42.

Ключові слова: комплекс бортового обладнання, функціональна стійкість, ефективність функціонування, дестабілізуючі фактори.

Вступ

Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями. В сучасних умовах інтенсивний розвиток та широке впровадження інформаційних технологій відкривають нові перспективи розробки авіаційної техніки в цілому і комплексів бортового обладнання сучасних літальних апаратів зокрема. Все актуальніше перед авіаційними спеціалістами постає питання розробки інтелектуальних багатофункціональних оптимальних розподілених систем комплексів бортового обладнання літального апарата, що мають розвинені властивості адаптації до мінливих в широких діапазонах умов польоту, до виникнення нештатних, малоймовірних ситуацій, які неможливо передбачити при відсутності повної апріорної інформації. Одним з перспективних напрямків підвищення ефективного функціонування КБО повітряного судна (ПС) під впливом дестабілізуючих факторів є забезпечення функціональної стійкості (ФС).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із способів підвищення ефективності функціонування бортового обладнання є його інтеграція в єдиний комплекс ІМА (ІМА – integrated module avionics). Центральне місце в структурі інтегрованого комплексу бортового обладнання (ІКБО) займає бортова обчислювальна система, яка по каналах інформаційного обміну здійснює управління, контроль і передачу інформації між системами. При наявності відповідної апаратно-програмної підтримки можлива побудова інтегрованого обчислюваль-

ного середовища, здатного динамічно перебудовувати свою структуру і перерозподіляти ресурси в залежності від режиму функціонування комплексу бортового обладнання. При непередбачуваних ситуаціях, в тому числі виникненнях відмов за рахунок таких перебудов, формуються раціональні обчислювальні структури. Для цього використовується метод реконфігурації структури ІКБО. Однак системи ІКБО з реконфігурацією структури відрізняються підвищеною складністю, високою надмірністю і великими обчислювальними витратами на реалізацію алгоритмів обробки інформації та управління [1].

В області теоретичних і практичних досліджень щодо забезпечення функціональної стійкості складних динамічних систем, широко розподілених інформаційних систем, псевдосупутникових радіонавігаційних систем, автоматизованої системи управління повітряним рухом, систем автоматизованого управління ЛА широко відомі роботи професорів Машкова О.А. [2], Кравченка Ю.В. [3–4], Барабаша О.В. [3–4], Неділька С.М. [5], Обідина Д.М. [6] та ін. Нами було досліджено та розроблено метод забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК) літального апарата (ЛА) на окремих режимах польоту [7–8], зокрема в умовах впливу дестабілізуючих факторів [9–10]. Але існуючі підходи забезпечення функціональної стійкості для їх застосування до КБО ПС потребують подальшого розвитку. Тому на даному етапі виникла важлива актуальна задача використання інформаційних ресурсів різних підсистем комплексу бортового обладнання та пере-

розподілу цих ресурсів у разі відмов підсистем для підвищення функціональної стійкості КБО в цілому.

Мета статті. Метою статті є дослідження ефективності функціонування комплексу бортового обладнання літака DA-42 за показниками функціональної стійкості.

Виклад основного матеріалу

Функціональна стійкість комплексу бортового обладнання ПС – це її властивість перебувати в стані працездатності, тобто виконувати необхідні функції протягом заданого інтервалу часу в умовах потоку відмов складових частин внаслідок впливу зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів. Функціональна стійкість як властивість авіаційного комплексу бортового обладнання забезпечується шляхом перерозподілу деякої існуючої в системі надмірності з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Здатність КБО виконувати необхідні функції при зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих впливах, здійснювати вибір оптимального режиму функціонування за рахунок власних внутрішніх ресурсів, перебудови структури, зміни функцій окремих підсистем та їх поводження характеризується властивістю функціональної стійкості.

Основною особливістю функціонально стійкого КБО ПС за стратегією забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем професора Машкова О.А. є парирування наслідків дестабілізуючих впливів, передбачених умовами, яке здійснюється в три етапи: виявлення; розпізнавання; парирування [2]. Функціонально стійке КБО сучасного ПС здатне виявляти відмови ще до виникнення позаштатної ситуації, розпізнавати відмови, виключати зі структури елементи, що відмовили, перебудовувати структуру, налагоджувати параметри систем комплексу бортового обладнання для пристосування до нових умов експлуатації.

Зважаючи на те, що всі заходи по виявленню відмов виконуються за умов нестачі часу на обробку інформації та прийняття рішення необхідним є: 1) завчасне формування бази знань параметрів штатного функціонування усіх систем комплексу бортового обладнання повітряного судна; 2) виявлення критичної зміни параметрів, що передують відмові; 3) ідентифікація можливої нештатної ситуації; 4) парирування наслідків нештатної ситуації.

Якщо завчасно виявити зміни, що передують повній відмові, то можна прийняти відповідні заходи щодо усунення відмови, яка може призвести до нештатної ситуації. Етап парирування позаштатних ситуацій полягає у формуванні та впливі на систему так званого відновлюючого управління. Під відновлюючим управлінням функціонально стійкого КБО ПС розуміється управління, що парирує наслідки відмов, збоїв, руйнувань, а також впливів інших

дестабілізуючих факторів, передбачених умовами, з метою збереження, можливо із деяким погіршенням, основних функцій систем КБО шляхом перерозподілу надмірності [2].

Аналіз топологічних властивостей сучасних комплексів бортових систем ПС, аналіз існуючих методів синтезу структур розподіленої системи КБО дозволили виявити протиріччя, сутність яких полягає в наступному: 1) розширення і нарощування структур розподілених систем, обумовлене зростанням вимог за обсягом обробки і передачі інформації, призводить до зниження рівня їх функціональності і зменшення відведеного часу на прийняття рішення; 2) можливості існуючих наукових методів забезпечення функціональної стійкості складних технічних динамічних до розподілених систем КБО ПС не дозволяють забезпечити необхідний рівень їх функціональності в умовах мінімуму часу, а також потоку відмов, збоїв, руйнувань і пошкоджень.

Таким чином, в даний час загострилося протиріччя між необхідністю сталого функціонування розподілених систем комплексів бортового обладнання ПС в умовах мінімуму часу і можливостями існуючих методів забезпечення функціональності КБО ПС. Тому, актуальність дослідження ефективності функціонування комплексів бортового обладнання ПС в умовах дестабілізуючих впливів за показниками функціональної стійкості з метою подальшої оптимізації є беззаперечною.

КБО сучасного ПС являє собою сукупність функціонально пов'язаних систем, приладів, датчиків, обчислювальних пристроїв. Системний аналіз особливостей побудови і функціонування складних систем показує, що сучасний інтегрований комплекс бортового устаткування є складною динамічною системою змінної структури [11].

Для проведення досліджень ефективності функціонування КБО в умовах дестабілізуючих впливів за показниками функціональної стійкості ми вибрали КБО-42 малорозмірних літаків Diamond DA-42, які використовувались для виконання навчально-тренувальних польотів в Льотній академії Національного авіаційного університету.

КБО сучасного ПС забезпечує вирішення багатьох завдань, в тому числі управління польотом, забезпечення безпеки польоту, тактичне і спеціальне застосування ПС та ін. Найважливішою частиною КБО-42 є пілотажно-навігаційний комплекс.

ПНК КБО-42 включає кілька функціональних груп: 1) інформаційно-управляюче поле кабіни ПС: органи управління ПС і засоби, призначені для введення-виведення інформації екіпажу ЛА; 2) навігаційне, радіонавігаційне обладнання, радіокерування; 3) електронно-обчислювальне середовище, до якого входять дві бортові електронно-обчислювальні машини, і яке здійснює інформацій-

не забезпечення вирішуваних завдань, зокрема: а) числення, корекція і відображення поточних координат ПС; б) обчислення, формування і індикація інформації про досягнення критичних режимів польоту ПС; в) формування сигналу траєкторного управління ПС; г) формування сигналів для системи автоматичного управління ПС; д) стабілізація ПС при різних режимах польоту; е) вимірювання, перетворення і відображення навігаційних параметрів ПС; 4) системи для вирішення спеціальних завдань і забезпечення інформаційної взаємодії всіх систем, в тому числі системи відображення інформації; системи автоматичного управління і т.п. [11].

Розглянемо КБО ПС як розподілену інтелектуальну систему виду:

$$G(V, L), V = \{v_i\}, L = \{l_{ij}\}, i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де множина вершин V графа $G(V, L)$ відповідає множині інформаційних (інтелектуальних) модулів КБО ПС розмірністю n , множина ребер L відповідає множині зв'язків l_{ij} між інформаційними модулями (i, j) .

Під функціональною стійкістю КБО ПС будемо розуміти його властивість збереження основних функцій, тобто можливість виконувати необхідне, повне цільове завдання протягом заданого інтервалу часу або функціонування в умовах потоку відмов через вплив зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів, можливо із деяким погіршенням своїх характеристик, але із збереженням виконання хоча б мінімально необхідних функцій. Необхідна і достатня умова функціональної стійкості КБО ПС у такому разі полягає в існуванні такого складу елементів та зв'язків між ними, при якому система продовжувала б виконувати хоча б мінімально необхідні функції, а також мала б достатню надмірність для парирования наслідків позаштатних ситуацій.

Нехай у КБО ПС постійно виконується обмін даними, якщо між парою модулів знайдеться хоча б один маршрут передачі інформації. Тоді зовнішній вигляд графу КБО, його структура у першому наближенні є функціонально стійкою, якщо граф є однокомпонентним і зв'язним. Але для значно розгалужених і багатовершинних графів оцінювати функціональну стійкість лише за зовнішнім виглядом складно. Тому для оцінки КБО ПС варто використовувати такі показники його функціональної стійкості [2–5; 12–13]:

1) ступінь вершинної зв'язності $\chi(G)$, як найменша кількість вершин, видалення яких разом з інцидентними їм ребрами приводить до незв'язного або одновершинного графу;

2) ступінь реберної зв'язності $\lambda(G)$, як найменша кількість ребер, видалення яких приводить до незв'язного графу;

3) ймовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ як ймовірність того, що повідомлення з модуля i до модуля j буде передано за час не більше t .

Ймовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ характеризує тільки зв'язність між однією парою вершин. Для визначення зв'язності між усіма парами вершин необхідно використовувати матрицю суміжності:

$$A_M = \|a_{ij}\|, i, j = 1 \dots n, \quad a_{Mij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } l_{ij} \in L; \\ 0, & \text{якщо } l_{ij} \notin L. \end{cases} \quad (2)$$

Критерії функціональної стійкості для структури КБО ПС:

1) структура є функціонально стійкою, якщо ступінь вершинної зв'язності задовольняє умові: $\chi(G) \geq 2$;

2) структура є функціонально стійкою, якщо ступінь реберної зв'язності задовольняє умові: $\lambda(G) \geq 3$;

3) структура є функціонально стійкою, якщо ймовірність зв'язності між кожною парою вершин буде не менш заданої:

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

де n – кількість вершин графа $G(V, L)$.

4) основні показники локальної функціональної стійкості розгалуженої інформаційної мережі КБО ЛА [14]:

$$\{\omega(G) \geq 2 \cap k > 1\} \cup \{\mu(G) \geq 2 \cap k > 1\},$$

де $\omega(G)$ – ω -поєднаність – максимальне число вершино незалежних маршрутів між будь якою парою вершин графа $G(V, L)$;

$\mu(G)$ – μ -сплетеність – максимальне число реберно-незалежних маршрутів між будь якою парою вершин графа $G(V, L)$;

k – число елементів оптимального руйнування $\omega(\mu)$ -зв'язного графа;

$\omega(\mu)$ – показник локальної зв'язності, тобто найменше число вершин (ребер), видалення яких призводить до незв'язності графа або формування одновершинного графа [14].

За аналогією з теорією графів [13], ознака границі функціональної стійкості КБО ПС визначається так: поточна структура знаходиться на границі функціональної стійкості, якщо граф структури зв'язний, має у своєму складі мости $N_L > 0$ чи вузли з'єднання $N_V > 0$ [5]:>

$$\{K = 1\} \wedge [\{N_V > 0\} \vee \{N_L > 0\}], \quad (4)$$

де K – кількість компонентів графа, а умова $K = 1$ означає, що граф зв'язний;

$N_V(N_L)$ – кількість вузлів з'єднання (мостів) графа.

Запас функціональної стійкості КБО ПС представляється такими показниками:

1) реберний запас стійкості Z_L – дорівнює потужності мінімального розрізу, що переводить однокомпонентний граф у двохкомпонентний;

2) вершинний запас стійкості – мінімальна кількість вершин Z_V графа, після видалення яких разом з інцидентними їм ребрами граф переходить з однокомпонентного у двохкомпонентний;

3) запас функціональної стійкості за ймовірністю зв'язності виражається квадратною матрицею, в якій кожен елемент буде мати значення $(P_{ij}^{zad} - P_{ij})$;

4) запас функціональної стійкості при використанні КБО ПС, на відміну від інших складних динамічних систем, вимагає, щоб деяка властивість КБО зберігалась на заздалегідь обраному інтервалі часу.

Запас функціональної стійкості $P_{ЗАПАС\ \Phi C}$ КБО ПС дорівнює [5]:

$$P_{ЗАПАС\ \Phi C} = 1 - P\{F_\tau[z(\alpha, t), t \leq \tau] \in B_{A_I}^\tau\}, \quad (5)$$

де $P\{F_\tau[z(\alpha, t), t \leq \tau] \in B_{A_I}^\tau\}$ – множина показників функціональної стійкості;

$F_\tau = F_\tau[z(\alpha, t), t \leq \tau] \in B_{A_I}^\tau$ – однопараметричне сімейство дійсних функціоналів;

$z(\alpha, t)$ – внутрішній стан системи, що є елементом фазового простору Z ;

α – параметр системи КБО, $\alpha \in A$ – де A – простір параметрів;

t – поточний час, $t \in I$ де I – сукупність розглянутих моментів часу;

τ – інтервал часу, на якому оцінюється функціональна стійкість;

$B_{A_I}^\tau$ – множина значень усіх функцій з B , розглянутих у точці τ ;

$0 \leq \varepsilon \leq 1$ – деяке число.

КБО ПС – це сукупність інтелектуальних елементів: бортових функціонально об'єднаних інформаційних засобів, обчислювально-програмних САУ, систем індикації і сигналізації, призначених для вирішення завдань літаководіння і забезпечення роботи інших бортових систем літального апарата.

Представимо математичну модель структури КБО-42 як розподілену інтелектуальну систему у вигляді орієнтованого графа $G(V, L)$ (рис. 1).

Рис. 1. Граф вихідної структури КБО-42 за матрицею суміжності з візуалізацією вагових коефіцієнтів компонентів графу
Джерело: розроблено авторами.

Представимо граф моделі КБО ПС у вигляді матриці суміжності:

$$A = \{a_{ij}\} \quad i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

де a_{ij} – елементи матриці суміжності діагностичного графа, які мають значення 1, якщо існує ребро:

$$l_{ij} = \{v_i, v_j\} \in L, \quad (7)$$

та 0 – якщо ребра не існує; v_i , v_j – модулі розподіленої системи КБО ПС, пов'язані інформаційними лініями зв'язку l_{ij} .

Графова модель є найбільш наочною, дозволяє без труднощів перейти до представлення у вигляді інших моделей з можливістю подальшого перенесення результатів досліджень на графову модель.

Множина вершин відповідає множині інформаційних (інтелектуальних) модулів КБО-42 літака

DA-42 розмірністю n , множина ребер – множині зв'язків між інформаційними модулями (табл. 1), значення δ_i – локального ступеня i -ї вершини представлено у табл. 2.

Таблиця 1

Матриця суміжності графа структури КБО-42 літака DA-42 $G(V, L)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	2	1	4		
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	3	1	3		
32	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 2

Значення δ_i – локального ступеня i -ї вершини

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
δ_i	10	9	5	3	19	9	16	15	15	5	2	5	2	1	5	1	6	1	1	1
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
δ_i	1	3	2	5	5	5	3	1	16	2	15	1	1	6	4	4	5	2	7	1

Джерело: розроблено авторами.

Виконаємо аналіз структури графа КБО-42 за низкою структурних, параметричних показників та показників функціональної стійкості.

1. Вид топології. Вихідна структура графу КБО-42 змішана, на окремих ділянках має деревоподібну ієрархічну структуру без додаткових ліній зв'язку. Структура графу не має циклів: відсутні Ейлерів та Гамільтонів цикли. Структура графа не має Гамільтонова та Ейлеревого ланцюгів. Граф структури КБО-42 однокомпонентний, зв'язний (рис. 2).

2. Число i розташування вузлів. Структура складається з $N = 40$ вузлів, з'єднаних лініями зв'язку. Передбачається можливість встановлення у кожному вузлі маршрутизатора для здійснення передавання інформації в декількох напрямках.

3. Лінії зв'язку. У структурі є $M = 220$ ліній зв'язку. Матриця суміжності представлена у табл. 1.

Рис. 2. Результати визначення компонентів зв'язності графу КБО-42

Джерело: розроблено авторами.

4. Структурні параметри графа. Коефіцієнт надмірності зв'язків (відношення різниці числа зв'язків у структурі M і міні

$M_{\min}$ зв'язків для забезпечення зв'язності графа до значення $M_{\min}$) [15]:

$$K_H = \frac{M - M_{\min}}{M_{\min}} = \frac{M}{N-1} - 1, \quad (8)$$

де $M_{\min} = N - 1$ – число ребер у деревоподібному графі;

N – число вершин графу.

Для графа КБО-42 (рис. 3):

$$K_H = (220 / (40 - 1)) - 1 = 4,64.$$

Діаметр графа за даними роботи [13]:

$$D = \max_{i,j} \{d_{ij}\}, \quad i, j = \overline{1, N}, i \neq j, \quad (9)$$

де d_{ij} – кількість ліній зв'язку, які входять до найдовшого маршруту між v_i і v_j .

Для графа КБО-42 радіус дорівнює 7 ($6 \Rightarrow 23 \Rightarrow 15 \Rightarrow 29 \Rightarrow 39$), діаметр графа дорівнює 13 (рис. 3): ($10 \Rightarrow 2 \Rightarrow 6 \Rightarrow 23 \Rightarrow 15 \Rightarrow 29 \Rightarrow 39$).

Рис. 3. Визначення діаметру та радіусу графа КБО-42
Джерело: розроблено авторами.

5. Коефіцієнт централізованості характеризує нерівномірність завантаження елементів КБО і визначається за даними роботи [16]:

$$K_U = \frac{(N-1)(2Z_{\max} - N)}{Z_{\max}(N-2)}, \quad (10)$$

де

$$Z_{\max} = \max_i \left\{ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_{ij} \right\}. \quad (11)$$

Для графа КБО-42 (рис. 2) $K_U = 0,842$. Чим нижче K_U , тим більш рівномірно завантажені вузли комутації і рівномірніше розподілені маршрути по вузлах комутації.

6. Алгоритм Флойда-Уоршелла. Використання алгоритму Флойда-Уоршелла [17] є ефективним для розрахунку усіх найкоротших шляхів у щільних графах (для випадку великої кількості пар ребер між

парами вершин графу). Для вихідного графу КБО-42 результат розрахунку за допомогою алгоритму Флойда-Уоршелла є досить громіздким (рис. 4).

Рис. 4. Граф результату розрахунку усіх найкоротших шляхів у графі КБО-42 за алгоритмом Флойда-Уоршелла
Джерело: розроблено авторами.

7. Алгоритм Дейкстри. Граф КБО-42 відноситься до розріджених з ребрами невід'ємної ваги, тому більш ефективним методом для розрахунку усіх найкоротших шляхів в даному випадку є використання алгоритму Дейкстри [18] для кожного з вузлів (рис. 6). Наприклад, найкоротший шлях між вузлами 1 та 33, розрахований з використанням алгоритму Дейкстри, дорівнює 3 (рис. 5): $1 \Rightarrow 3 \Rightarrow 33$.

Рис. 5. Визначення найкоротшого шляху між вузлами графу КБО-42 за алгоритмом Дейкстри з візуалізацією вагових коефіцієнтів компонентів графу
Джерело: розроблено авторами.

7. Показники функціональної стійкості КБО-42: ступінь вершинної зв'язності $\chi(G)$, ступінь реберної зв'язності $\lambda(G)$. Аналіз графу ПНК ЛА дозволив визначити, що максимальний ступінь вершинної зв'язності $\chi_{\max}(G)$ дорівнює 8, мінімальний ступінь вершинної зв'язності $\chi_{\min}(G)$ дорівнює 1. Максимальний ступінь реберної зв'язності

$\lambda_{\max}(G)$ дорівнює 8, мінімальний ступінь реберної зв'язності $\lambda_{\min}(G)$ дорівнює 1 (рис. 6). Кількість вершин графу КБО-42 з ступенем вершин рівним 1 дорівнює 15 (рис. 6).

Рис. 6. Визначення максимального ступеню вершинної зв'язності графу КБО-42
Джерело: розроблено авторами.

8. Дослідження структурних показників функціональної стійкості КБО-42. Запас функціональної стійкості. Для структури КБО-42 вершинний запас функціональної стійкості Z_V і реберний запас функціональної стійкості Z_L дорівнює: для 15 елементів КБО-42 $Z_V = 0$ та $Z_L = 0$. Таким чином, структура КБО-42 для низки вузлів перебуває на грані функціональної стійкості. Пошкодження єдиної лінії зв'язку для таких вузлів приведе до двохкомпонентного графа та часткового порушення функціонування окремих вузлів системи.

9. Мінімальне остовне дерево графу $G(V, L)$ КБО-42 – це його ациклічний зв'язний підграф, до якого входять усі його вершини, що мають мінімальну вагу ребер. Пошук мінімального остовного дерева графу КБО-42 та його аналіз дозволив визначити, що вага мінімального остовного дерева КБО-42 дорівнює 52 (рис. 7).

Рис. 7. Мінімальне остовне дерево графу КБО-42
Джерело: розроблено авторами.

10. Пошук в ширину графу КБО-42 представлений на рис. 8. Порядок обходу: $1 \Rightarrow 3 \Rightarrow 6 \Rightarrow 12 \Rightarrow 13 \Rightarrow 14 \Rightarrow 2 \Rightarrow 7 \Rightarrow 8 \Rightarrow 9 \Rightarrow 23 \Rightarrow 27 \Rightarrow 28 \Rightarrow 10 \Rightarrow 11 \Rightarrow 4 \Rightarrow 5 \Rightarrow 16 \Rightarrow 17 \Rightarrow 20 \Rightarrow 24 \Rightarrow 22 \Rightarrow 25 \Rightarrow 26 \Rightarrow 33 \Rightarrow 15 \Rightarrow 32 \Rightarrow 31 \Rightarrow 18 \Rightarrow 19 \Rightarrow 30 \Rightarrow 21 \Rightarrow 29 \Rightarrow 34 \Rightarrow 35 \Rightarrow 36 \Rightarrow 37 \Rightarrow 38 \Rightarrow 39 \Rightarrow 40$. Це дозволило виконати пошук компонент зв'язності в графі та пошук найкоротшого шляху між вузлами незваженого графа КБО-42.

Рис. 8. Пошук в ширину графу КБО-42
Джерело: розроблено авторами

11. Пошук в глибину графу КБО-42 представлений на рис. 9. Порядок обходу: $1 \Rightarrow 3 \Rightarrow 2 \Rightarrow 6 \Rightarrow 7 \Rightarrow 4 \Rightarrow 8 \Rightarrow 5 \Rightarrow 9 \Rightarrow 17 \Rightarrow 18 \Rightarrow 19 \Rightarrow 30 \Rightarrow 22 \Rightarrow 21 \Rightarrow 26 \Rightarrow 15 \Rightarrow 23 \Rightarrow 24 \Rightarrow 25 \Rightarrow 29 \Rightarrow 34 \Rightarrow 31 \Rightarrow 27 \Rightarrow 35 \Rightarrow 36 \Rightarrow 37 \Rightarrow 38 \Rightarrow 39 \Rightarrow 40 \Rightarrow 33 \Rightarrow 32 \Rightarrow 16 \Rightarrow 20 \Rightarrow 28 \Rightarrow 10 \Rightarrow 11 \Rightarrow 12 \Rightarrow 13 \Rightarrow 14$. Пошук в глибину дозволив дослідити топологічні властивості графа КБО-42, виконати пошук одно- та двохзв'язних компонент, топологічне сортування, пошук точок зчленування вузлів і мостів графа.

Рис. 9. Пошук в глибину графу КБО-42
Джерело: розроблено авторами.

Висновки та перспективи подальшого розвитку у визначеному напрямку

Результати дослідження ефективності функціонування КБО-42 малорозмірного літака Diamond DA-42 в умовах дестабілізуючих впливів підтвер-

джують низький рівень його функціональної стійкості. Причинами цього є:

1) ієрархічна деревоподібна структура системи передачі даних КБО-42 із малим числом альтернативних маршрутів;

2) низький ступінь вершинної зв'язності окремих вузлів структури КБО-42 $\chi(G) \leq 2$, що не дозволить ефективно функціонувати системі передачі даних комплексу бортового обладнання при руйнуванні більше ніж двох вузлів комутації;

3) низький рівень реберної зв'язності окремих вузлів структури $\chi(G) \leq 3$ КБО-42, що не дозволяє ефективно функціонувати системі передачі даних комплексу бортового обладнання при руйнуванні більше ніж трьох ліній зв'язку між вузлами;

4) низька ймовірна зв'язність окремих вузлів структури, що не дозволяє зберігати необхідний рівень локальної зв'язності при впливах зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Дослідження структурних показників ФС КБО-42 дозволило зробити наступні висновки:

1) запас ФС для окремих вузлів структури КБО-42 перебуває на грані функціональної стійкості $Z_V = Z_L = 0$. Пошкодження єдиної лінії зв'язку для

таких вузлів приведе до двохкомпонентного графа та часткового порушення функціонування окремих вузлів системи КБО-42;

2) структура має низький рівень функціональної стійкості, оскільки перебуває на границі ФС, тому вихідна структура підлягає оптимізації.

Аналіз структурних параметрів графа КБО-42 дозволив визначити, що: 1) структура КБО-42 потребує зменшення діаметру графа; 2) коефіцієнт централізації дещо вище прийнятих значень $K_C \leq 0,5$, що свідчить про певну нерівномірність навантаження окремих елементів комплексу бортового обладнання і потребує його зниження.

Одним із шляхів усунення зазначених проблем є реалізація принципів функціональної стійкості в КБО-42 і, відповідно до цього, виконання синтезу структури КБО шляхом застосування методів оптимізації за критерієм максимуму показника ФС, обраного в якості критерію переваги з групи критеріїв з обмеженням на вартість побудови оптимізованої структури комплексу бортового обладнання. Це є подальшим розвитком досліджень у визначеному напрямку.

Список літератури

1. Кивокурцев А.Л. Использование скользящего резервирования для построения отказоустойчивых интегрированных комплексов бортового оборудования / А.Л. Кивокурцев // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки: сборник тезисов докладов Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж: ВУНЦ ВВС “Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина”, 2014. – С.125-126.
2. Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
3. Кравченко Ю.В. Функціональна стійкість – властивість складних ТС / Ю.В. Кравченко, О.В. Барабаш // Труды академії. – К.: НАОУ, 2002. – № 40. – С. 225-228.
4. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАУ, 2004. – 226 с.
5. Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 220 с.
6. Обідін Д.М. Математична формалізація функціональної стійкості процесів управління літальними апаратами / Д.М. Обідін // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 1(37). – С. 179-182.
7. Калашник М.А. Постановка задачи обеспечения функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета / М.А. Калашник, Д.Н. Обидин // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 4(36). – С. 27-30.
8. Калашник Г.А. Забезпечення стійкого функціонування засобів навігації літальних апаратів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів / Г.А. Калашник, Д.М. Обідін, М.А. Калашник // Системи обробки інформації. – 2016. – Вип. 3(140). – С. 52-56.
9. Калашник М.А. Механізми забезпечення сталого функціонування засобів навігації літальних апаратів в умовах деструктивного впливу / М.А. Калашник // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2016. – Вип. 2(38). – С. 8-17.
10. Калашник Г.А. Основні заходи щодо забезпечення ефективного функціонування систем управління, зв'язку та навігації в умовах впливу деструктивних геологофізичних збурень / Г.А. Калашник, М.А. Калашник-Рибалко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України. – 2018. – № 1(30). – С. 92-98. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.13>.
11. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве: монография / под редакцией Г.И. Джанджгавы. – М.: ООО “Научтехлитиздат”, 2015. – 592 с.
12. Чернецкий В.И. Математическое моделирование динамических систем / В.И. Чернецкий. – Петрозаводск: Петрозаводский гос. ун-т, 1996. – 432 с.
13. Оре О. Графы и их приложение / О. Оре. – М.: Эдиториал, 2003. – 340 с.

14. Саланда І.П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж / І.П. Саланда, О.В. Барабаш, А.П. Мусієнко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип. 1(41). – С. 122-126.
15. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 199 с.
16. Fitzgerald Kent. Reliability Modeling and Assessment of the Star-Graph Networks / Kent Fitzgerald, Shahram Latifi, Pradip K. Srimani // IEEE Transactions on Reliability, March 2002. – Vol. 51, No. 1. – P. 49-57.
17. Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graphs / E.W. Dijkstra // Numer. Math – Springer Science Business Media. – 1959. – Vol. 1. – Iss. 1. – P. 269-271.
18. Zwick Uri. All pairs shortest paths using bridging sets and rectangular matrix multiplication / Uri Zwick // Journal of the ACM. – 2002. – Vol. 49(3). – P. 289-317.

References

1. Kivokurtsev, A.L. (2014), "Ispolzovaniye skolzyashchego rezervirovaniya dlya postroyeniya otkazoustoychivyykh integrirovannykh kompleksov bortovogo oborudovaniya" [The use of sliding redundancy for building fault-tolerant integrated complexes of avionics], *Topical issues of research in avionics: theory, service, development: collection of abstracts of the All-Russian scientific and practical conference*, VUNTS Air Force "Air Force Academy named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh, pp. 125-126.
2. Artyushin, L.M. and Mashkov, O.A. (1991), "Optimizatsiya tsifrovyykh avtomaticheskikh sistem, ustoychivyykh k otkazam" [Optimization of digital automatic systems, resistant to failures], KVVAIU, Kyiv, 89 p.
3. Kravchenko, Yu.V. and Barabash, O.V. (2002), "Funktionalna stikiest – vlastyivst skladnykh TS" [Functionality is the power of folding vehicles], *Trudy Akademii*, No. 40, NAOU, Kyiv, pp. 225-228.
4. Barabash, O.V. (2004), "Postroyeniye funktsionalno ustoychivyykh raspredelennykh informatsionnykh sistem" [Construction of functionally stable distributed information systems], NAU, Kyiv, 226 p.
5. Nedilko, S.M. (2011), "Osnovy teorii funktsionalnoi stikiosti avtomatyzovanoi systemy upravlinnia povitriannym rukhom" [Basic theory of functional stability automated air traffic management system], DLAU, Kirovohrad, 220 p.
6. Obidin, D.M. (2014), "Matematychna formalizatsiia funktsionalnoi stikiosti protsesiv upravlinnia litalnymi aparatamy" [The mathematical formalization of functional stability control processes aircraft], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(37), pp. 179-182.
7. Kalashnyk, M.A. and Obidin, D.N. (2015), "Postanovka zadachi obespecheniya funktsionalnoy ustoychivosti pilotazhno-navigatsionnogo kompleksa letatel'nogo aparata na otdelnykh rezhimakh poleta" [Establishment of the task of ensuring the functional stability of the aeronautical navigational complex of the aircraft on individual flight modes], *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 4(36), pp. 27-30.
8. Kalashnyk, G.A., Obidin, D.M. and Kalashnyk, M.A. (2016), "Zabezpechennia stikohu funktsionuvannia zasobiv navihatsii litalnykh aparativ pid vplyvom zovnishnikh destabilizuiuchykh faktoriv" [Provision of stable of aircraft navigation aids under the influence of destabilizing factors], *Information Processing Systems*, No. 3(140), pp. 52-56.
9. Kalashnyk, M.A. (2016), "Mekhanizmy zabezpechennia staloho funktsionuvannia zasobiv navihatsii litalnykh aparativ v umovakh destruktivnogo vplyvu" [Mechanisms to ensure sustainable functioning of the navigation of aircraft under conditions of the destructive impact], *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 2(38), pp. 8-17.
10. Kalashnyk, G.A. and Kalashnyk-Rybalko, M.A. (2018), "Osnovni zakhody shchodo zabezpechennia efektyvnoho funktsionuvannia system upravlinnia, zviazku ta navihatsii v umovakh vplyvu destruktivnykh helioheofizychnykh zburon" [Main activities to ensure the efficient of management, communication and navigation systems under the influence of destructive heliogeophysical disturbances], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(30), pp. 92-98. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.13>.
11. Avgustov, L.I., Babichenko, A.V., Orekhov, M.I., Sukhorukov, S.Ya. and Shkred, V.K. (2015), "Navigatsiia letatelnykh apparatov v okolozemnom prostranstve" [Navigation of flying vehicles in near-earth space], Nauchtehlitizdat, Moscow, 592 p.
12. Chernetsky, V.I. (1996), "Matematicheskoe modelirovaniye dinamicheskikh sistem" [Mathematical modeling of dynamic systems], Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, 432 p.
13. Ore, O. (2003), "Grafy i ih prilozheniye" [Graphs and their application], Editorial, Moscow, 340 p.
14. Salanda, I.P., Barabash, O.V. and Musienko, A.P. (2017), "Systema pokaznykiv ta kryteriyiv formalizatsiyi protsesiv zabezpechennia lokal'noyi funktsional'noyi stiykosti roz-haluzhenykh informatsiynykh merezh" [The system of indicators and criteria for formalizing the processes of ensuring the local functional stability of branched information networks], *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 1(41), pp. 122-126.
15. Nikolaev, V.I. and Brook, V.M. (1985), "Sistemotekhnika: metody i prilozheniya" [System engineering: methods and applications], Mechanical Engineering, Leningrad Branch, Leningrad, 199 p.
16. Fitzgerald, Kent, Latifi, Shahram and Srimani, Pradip K. (2002), Reliability Modeling and Assessment of the Star-Graph Networks, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 51, No. 1, pp. 49-57.
17. Dijkstra, E.W. (1959), A note on two problems in connexion with graphs, *Numer. Math - Springer Science Business Media*, Vol. 1, Iss. 1, pp. 269-271.
18. Zwick, Uri (2002), All pairs shortest paths using bridging sets and rectangular matrix multiplication, *Journal of the ACM*, Vol. 49(3), pp. 289-317.

Надійшла до редколегії 08.09.2020

Схвалена до друку 13.10.2020

Відомості про авторів:**Калашник Ганна Анатоліївна**

доктор геологічних наук
старший науковий співробітник
професор кафедри Льотної академії
Національного авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9581-9865>

Калашник-Рибалко Мирослава Анатоліївна

кандидат технічних наук
старший викладач Льотної академії
Національного авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0997-9609>

Information about the authors:**Ganna Kalashnyk**

Doctor of Geological Sciences
Senior Research
Professor of Department of Flight Academy
of National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9581-9865>

Myroslava Kalashnyk-Rybalko

Candidate of Technical Sciences
Senior Instructor of Flight Academy
of National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0997-9609>

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА
БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ САМОЛЕТА DA-42 ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

Г.А. Калашник, М.А. Калашник-Рыбалко

В статье представлены результаты исследования эффективности функционирования комплекса бортового оборудования КБО-42 самолета DA-42 в условиях дестабилизирующих воздействий по показателям функциональной устойчивости. Исследование включало анализ графа КБО-42 по критериям: вид топологии, число и расположение узлов, количество линий связи; определение компонентов связности графа; расчет структурных параметров графа: коэффициента избыточности связей, радиуса графа, диаметра графа, коэффициента централизованности; расчет показателей функциональной устойчивости: степени вершинной связности, степени реберной связности. Представлены результаты исследования структурных показателей функциональной устойчивости КБО-42: запаса функциональной устойчивости, вершинного запаса функциональной устойчивости, реберного запаса функциональной устойчивости. По результатам исследований установлено, что комплекс бортового оборудования КБО-42 имеет низкий уровень функциональной устойчивости под воздействием дестабилизирующих факторов. В статье предложены основные пути реализации принципов функциональной устойчивости для исследованного комплекса бортового оборудования КБО-42 самолета DA-42.

Ключевые слова комплекс бортового оборудования, функциональная устойчивость, эффективность функционирования, дестабилизирующие факторы.

**RESEARCH RESULTS OF THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF THE AIRCRAFT EQUIPMENT COMPLEX
OF THE AIRCRAFT DA-42 ON THE INDICATORS OF FUNCTIONAL STABILITY
UNDER THE INFLUENCE OF DESTABILIZING FACTORS**

G. Kalashnyk, M. Kalashnyk-Rybalko

The article presents the research results of the efficiency of functioning of the aircraft equipment complex OEC-42 of the DA-42 aircraft in the conditions of destabilizing effects in terms of functional stability. The research included the analysis of the level of functional stability of the initial structure of AEC-42 by the methods proposed in this work: analysis of the graph of the aircraft equipment complex structure by the following criteria: type of topology, number and location of nodes, communication lines, determination of connectivity components of the AEC-42 graph; calculation of structural parameters of the AEC-42 graph: the coefficient of redundancy of connections, the radius of the graph, the diameter of the graph, the coefficient of centralization. The calculation of the graph of minimum distances according to the Floyd-Worshell algorithm, determination of the shortest path between the nodes of the AEC-42 graph according to the Dijkstra algorithm with visualization of the weight coefficients of the graph components is presented. The results of calculation of indicators of functional stability of AEC-42 are presented: degree of vertex connectivity, degree of edge connectivity, determination of the maximum degree of vertex connectivity of the AEC-42 graph. The results of the research of structural indicators of functional stability of AEC-42 are presented: functional stability reserve, vertex functional stability reserve, edge functional stability reserve. The minimum frame tree of the AEC-42 graph is calculated, the search in the width of the graph is performed. The results of the research of the efficiency of the functioning of the AEC-42 small aircraft Diamond DA-42 under the influence of destabilizing factors confirm the low level of functional stability. It is determined that the aircraft equipment complex AEC-42 has a low level of functional stability, as it is on the border of functional stability, so its initial structure is subject to optimization. The main ways of realization of the principles of functional stability for the researched aircraft equipment complex AEC-42 of the Diamond DA-42 aircraft are presented.

Keywords: aircraft equipment complex, functional stability, the efficiency of the functioning, destabilizing factors.