

Г.А. Калашник, д.геол.н., М.А. Калашник-Рибалко, к.т.н.
(Льотна академія Національного авіаційного університету, Україна)

Результати синтезу функціонально стійкої структури комплексу авіоніки D-42 в умовах дестабілізуючих впливів

Представлено результати синтезу функціонально стійкої структури комплексу авіоніки D-42 в умовах дестабілізуючих впливів.

Інтелектуалізація сучасних комплексів бортового обладнання (КБО) насамперед повинна передбачати керування значними за обсягами інформаційними потоками, їх швидку обробку та використання для забезпечення безпеки польотів і ефективності повітряних суден, підтримання їх функціональності в умовах різних дестабілізуючих впливів [1]. Тому забезпечення функціональної стійкості комплексів бортового обладнання літальних апаратів є частковим завданням проблеми забезпечення безпеки польотів та одним з пріоритетних напрямків наукових досліджень.

Методологія теорії функціональної стійкості (ФС) була розвинута в роботах Машкова О.А. [2], Барабаша О.В. [3], Кравченка Ю.В. [4] та ін. Дослідження показників, ознак і критеріїв ФС свідчать про те, що основним методом підвищення функціональної стійкості розподіленої структури комплексу авіоніки є підвищення зв'язності його структури [5].

Проведене нами дослідження ефективності вихідної структури комплексу авіоніки D-42 за структурними параметрами графа та топологічними показниками ФС підтвердили висновок про недостатній рівень ФС окремих елементів цього комплексу [6]. Орієнтований граф вихідної структури комплексу авіоніки D-42 з візуалізацією ваг компонентів графа представлений на рис.1.

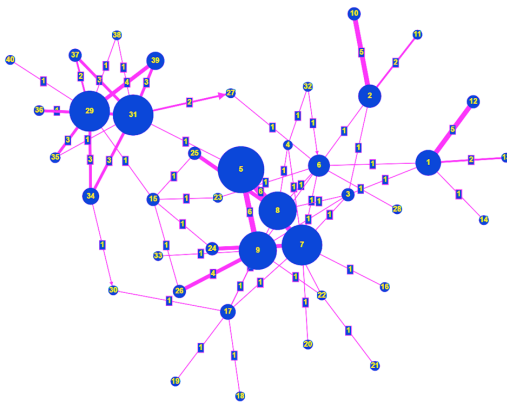


Рис. 1. Орієнтований граф вихідної структури комплексу авіоніки D-42 з візуалізацією ваг компонентів графа

Аналіз вихідного графа комплексу авіоніки D-42 (рис. 1) дозволив визначити, що максимальний ступінь вершинної зв'язності $\chi_{\max}(G)$ дорівнює 8, а мінімальний ступінь вершинної зв'язності $\chi_{\min}(G) = 1$. Максимальний ступінь реберної зв'язності $\lambda_{\max}(G)$ дорівнює 8, а мінімальний ступінь реберної зв'язності $\lambda_{\min}(G)$ дорівнює 1 (рис. 2). Кількість вершин графа комплексу авіоніки D-42 зі ступенем зв'язності вершин, що дорівнює 1, досягає 15 (рис. 2).

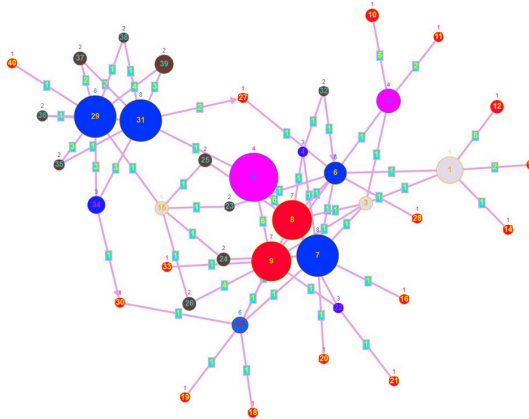


Рис. 2. Визначення максимального ступеня вершинної зв'язності графа комплексу авіоніки D-42

У структурі комплексу авіоніки D-42 (рис. 2) для 15 модулів вершинний запас ФС Z_V та реберний запас ФС Z_L рівні $Z_V = 0$ і $Z_L = 0$. Таким чином, структура комплексу авіоніки D-42 за рядом вузлів знаходиться на межі ФС. Пошкодження єдиного з'єднання для таких вузлів призведе до виникнення двокомпонентного графа та часткової несправності окремих вузлів у системі.

Ймовірність зв'язності P_{ij} окремих пар вузлів структури вихідного графа $G_0(V, L)$ комплексу авіоніки D-42 не відповідає вимозі $P_{ij} \geq P_{req}$, де P_{req} було задано $P_{req} = 0,9$. Графіки залежності ймовірнісної зв'язності P_{ij} для найбільш важливих вузлів зв'язку окремих модулів щодо ймовірності передачі інформації p для вихідної структури $G_0(V, L)$ між будь-якою парою модулів v_i, v_j $p = 0,5, \dots, 0,95$ представлені на рис. 3.

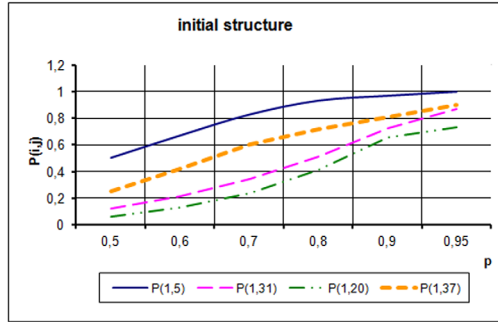


Рис. 3. Залежність ймовірностей зв'язності $P_{1,5}$, $P_{1,31}$, $P_{1,20}$, $P_{1,37}$ від ймовірності передачі інформації p для вихідної структури $G_0(V, L)$ комплексу D-42

Таким чином, для підвищення ФС комплексу авіоніки D-42 під впливом потоку дестабілізуючих факторів необхідно оптимізувати його вихідну структуру.

Визначимо умови математичного моделювання вихідної структури комплексу авіоніки D-42.

Задано. Вихідна структура D-42 представлена у вигляді графа $G_0(V, L)$, який складається з $N=40$ вершин (рис. 1). Нехай ймовірність передачі інформації між будь-якою парою модулів v_i , v_j дорівнює $p=0,9$.

Потрібно визначити. Оптимальну структуру комплексу авіоніки D-42, $G_\varepsilon(V, L)$, $\varepsilon=1,2,\dots,4$, згідно з формулою (1) з накладеними на неї обмеженнями.

$$F_{IMA \text{ AIRCRAFT}} = f(P_{ij}) \rightarrow \max, \quad i, j, \dots, N, \quad i \neq j \quad (1)$$

з обмеженнями [7]:

$$\begin{aligned} C_\varepsilon &= \sum_i \sum_j C_{ij} (l_{ij}, \rho_{ij}, q_{ij}) \leq C_{a \varepsilon}, \\ \forall \pi_{ij} \quad P_{ij} &\geq P_{req}, \\ \chi(G) &\geq 2; \quad \lambda(G) \geq 3, \\ \{\omega(G) \geq 2 \cap k > 1\} \cup \{\mu(G) \geq 2 \cap k > 1\}, \\ G_0(V, L) &\subseteq G_\varepsilon(V, L), \\ \rho_{ij} &> q_{ij}, \quad \tau_{aver} \leq T_{\max}, \end{aligned}$$

Для цього необхідно попередньо виконати математичне моделювання кількох оптимізованих структур комплексу авіоніки D-42 для різних значень вартості побудови системи $C_{a \varepsilon}$:

для $\varepsilon=1$: визначити $G_1(V, L)$ з $C_{a \ 1}=10000$ умовних одиниць (у.о.);

для $\varepsilon=2$: визначити $G_2(V, L)$ з $C_{a \ 2}=20000$ у.о.;

для $\varepsilon=3$: визначити $G_3(V, L)$ з $C_{a \ 3}=50000$ у.о.;

для $\varepsilon = 4$: визначити $G_4(V, L)$ з $C_{a_4} = 100000$ у.о.

і для різних значень ймовірності передачі інформації між будь-якою парою елементів v_i, v_j з наступним вибором найбільш оптимального варіанта оптимально розподіленої структури комплексу авіоніки D-42.

Припущення задачі синтезу. Синтез комплексу авіоніки здійснюється за наступних припущень: 1) синтезовані структури комплексу авіоніки D-42 не повинні мати кратних ребер; 2) усі лінії зв'язку вихідної структури $G_0(V, L)$ повинні зберігатися в синтезованих структурах $G_\varepsilon(V, L)$; 3) синтезовані структури не повинні мати заборонених ліній зв'язку; 4) пропускна здатність одного каналу передачі інформації ρ_{ij} приймається $\rho_{ij} > q_{ij}$, де q_{ij} – інтенсивність обміну інформацією між елементами v_i, v_j .

Умови експерименту. Синтез комплексу авіоніки D-42 здійснюється при різних допустимих значеннях вартості побудови системи C_{a_ε} , наведених в умовних одиницях (у.о.): 10000; 20000; 50000; 100000. Значення ймовірності передачі інформації p приймається однаковим для всіх каналів обміну інформацією і дорівнює $p = 0,9$. За результатами експертного опитування отримано експериментальні умови та припущення для задачі синтезу структури комплексу авіоніки.

Рішення задачі синтезу. Розраховані структурні показники оптимізованих структур, обраних для комплексу авіоніки D-42, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Структурні показники вихідної та оптимізованих структур комплексу D-42

Структура $G_\varepsilon(V, L)$	C_{a_ε} , у.о.	M	D	K_{centr}	K_r	C , у.о.
$G_0(V, L)$	0	220	13	0,842	4,641	1007
$G_1(V, L)$	10,000	229	13	0,711	4,872	9954
$G_2(V, L)$	20,000	245	12	0,503	5,282	19975
$G_3(V, L)$	50,000	281	12	0,417	6,205	50217
$G_4(V, L)$	100,000	395	10	0,308	9,128	117562

Примітки: C_{a_ε} , у.о. – допустима вартість, M – кількість ліній зв'язку, D – діаметр графа, K_{centr} – коефіцієнт централізації, K_r – коефіцієнт надлишковості зв'язків графа, C , у.о. – розрахована вартість

Аналіз структурних показників (табл. 1) оптимізованих структур та динаміка їх змін дозволяє зробити наступні висновки: 1) при збільшенні встановленої вартості C_{a_ε} збільшується кількість ліній зв'язку M і водночас коефіцієнт надлишковості K_r пропорційно збільшується; 2) зменшення

діаметра графа оптимізованих структур не пропорційно витracеним витратам, для найбільш розгалуженої структури $G_4(V, L)$ діаметр графа досягає значення $D = 10$; 3) коефіцієнт централізації також зменшується зі збільшенням C_a і досягає допустимого значення $K_{centr} \leq 0,5$ при вартості ≥ 20000 у.о.

Наведені на рис. 4 розраховані діаграми залежностей ймовірності зв'язності P_{ij} від ймовірності передачі інформації p для вихідної структури комплексу D-42 та синтезованих структур $G_\varepsilon(V, L)$ з вартістю 10000 у.о., 20000 у.о., 50000 у.о., 100000 у.о. дозволяють зробити висновок, що для всіх оптимізованих структур величина P_{ij} також зростає зі збільшенням параметра p . Для синтезованих структур $G_2(V, L)$, $G_3(V, L)$, і $G_4(V, L)$, діаграми залежностей ймовірності зв'язності P_{ij} від ймовірності передачі інформації p мають сильний характер насичення: для вихідних $G_2(V, L)$, починаючи зі значень показника $p \geq 0,9$, для $G_3(V, L)$, починаючи з значення показника $p \geq 0,8$, а для структури $G_4(V, L)$, починаючи зі значень показника $p \geq 0,65$.

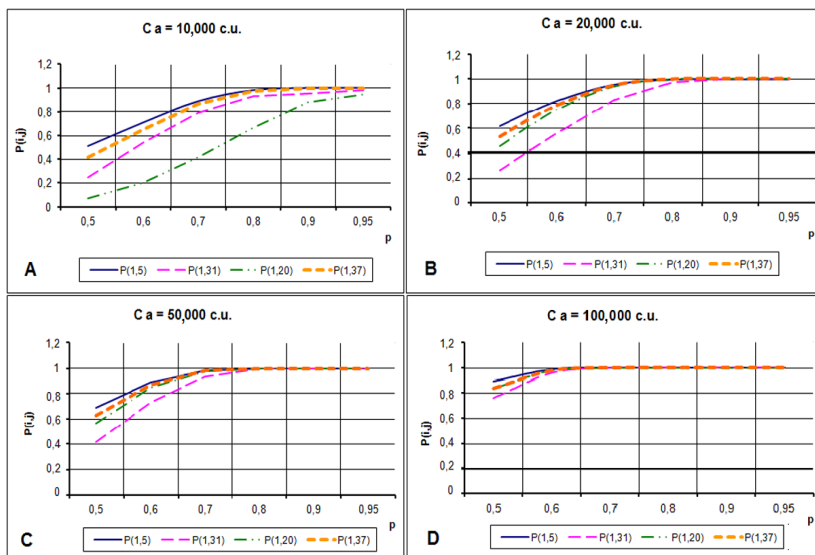


Рис. 4. Залежність ймовірностей зв'язності $P_{1,5}$, $P_{1,31}$, $P_{1,20}$, $P_{1,37}$ від ймовірності передачі інформації p для синтезованих структур $G_\varepsilon(V, L)$, $\varepsilon=1,2,3,4$ комплексу D-42 з обмеженнями на вартість: А – $C_{a1}=10000$ у.о., В – $C_{a2}=20000$ у.о., С – $C_{a3}=50000$ у.о., D – $C_{a4}=100000$ у.о.

Аналіз показників ефективності отриманих оптимізованих структур комплексу D-42 $G_\varepsilon(V, L)$ $\varepsilon = 1, 2, \dots, 4$, дозволив зробити висновок, що структуру досліджуваного комплексу авіоніки в прийнятну зону експлуатації можна вивести лише після оптимізації з розміром вартості $C_a \geq 20\ 000$ у.о. (табл. 2).

Таблиця 2

Показники ФС вихідної та оптимізованих структур комплексу авіоніки D-42

Структура $G_\varepsilon(V, L)$	C_a , у.о.	$\chi(G)$	$\lambda(G)$	Z_V	Z_L	Область функціональної стійкості (ФС)
$G_0(V, L)$	0	1	1	0	0	ФС обмежена (не прийнятно)
$G_1(V, L)$	10,000	2	3	1	0	ФС обмежена (не прийнятно)
$G_2(V, L)$	20,000	5	5	4	3	ФС (прийнятна)
$G_3(V, L)$	50,000	11	11	10	9	ФС (прийнятна)
$G_4(V, L)$	100,000	15	15	13	11	ФС (прийнятна)

Розрахункові значення узагальненого показника ФС $F_{IMA \text{ AIRCRAFT}}(P_{i,j})$ представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення узагальненого показника ФС $F_{IMA \text{ AIRCRAFT}}(P_{i,j})$

Структура $G_\varepsilon(V, L)$	C_a , у.о.	Для значень ймовірності, p					
		$p = 0,5$	$p = 0,6$	$p = 0,7$	$p = 0,8$	$p = 0,9$	$p = 0,95$
$G_0(V, L)$	0	80,1	112,7	150,2	221,3	294,2	336,5
$G_1(V, L)$	10,000	81,2	129,5	200,1	270,7	346,6	373,9
$G_2(V, L)$	20,000	176,9	277,1	348,9	383,2	384,9	385,0
$G_3(V, L)$	50,000	325,0	377,5	384,8	385,0	385,0	385,0
$G_4(V, L)$	100,000	373,4	382,7	384,9	385,0	385,0	385,0

Найбільш прийнятним для узагальненого показника ФС $F_{IMA \text{ AIRCRAFT}}(P_{i,j})$ як пріоритетного (табл. 3) з додатковим врахуванням структурних показників графа (табл. 1) і структурних показників ФС (табл. 2) є оптимізація структури вибраного комплексу авіоніки D-42 на задану умовну вартість $C_a = 20\ 000$ у.о. Оптимізація структури комплексу авіоніки для умови $p = 0,9$ та заданої умовної вартості $C_a = 20\ 000$ у.о. дозволило отримати пріоритет узагальненого показника ФС $F_{IMA \text{ AIRCRAFT}}(P_{i,j})$ на 30,8 % порівняно з вихідною структурою (з 294,2 до 384,9). Він є найбільш прийнятним за узагальненим показником $F_{IMA \text{ AIRCRAFT}}(P_{i,j})$, як критерію переваги при

заданих обмеженнях витрат та з урахуванням обмежень інших параметрів ефективної роботи комплексу.

Висновки.

Для підвищення ефективності інтегрованого комплексу авіоніки в умовах дестабілізуючих впливів синтезовано оптимальну структуру комплексу авіоніки літака D-42 за критерієм максимального показника ФС обмеженням вартості побудови системи. При розрахунках досягнуто приріст узагальненого показника ФС у порівнянні з вихідною структурою на 30,8 % (з 294,2 до 384,9) для заданої умовної вартості $C_a = 20\,000$ у.о. Подальші дослідження спрямовані на структурно-параметричний синтез інтегрованого модульного комплексу авіоніки літака, окрім встановлення факту ФС. Необхідно зосередитися на визначенні запасу стійкості за конкретною ознакою.

Список літератури

1. Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А. Проблеми забезпечення функціональної стійкості комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України*. 2021. №3(44). С.59-65. DOI: <https://doi.org/10.30748/nipts.2021.44.07>
2. Mashkov O., Chumakevych V., Ptashnyk V., & Puleko I. Qualitative evaluation of the process of functionally stable recovery control of the aircraft in emergencies with an algorithm based on solving inverse dynamic problems. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. 2631. P. 384–394.
3. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем : монография. К.: НАУ, 2004. 226 с.
4. Sobchuk A., Kravchenko Yu., Tyshchenko M., Gawliczek P., & Afanasyeva O. Analytical aspects of providing a feature of the functional stability according to the choice of technology for construction of wireless sensor networks. *IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. 2019. P. 102-106.
5. Калашник Г. А., Калашник-Рибалко М. А. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтегрованого комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна та перспективні напрямки його розвитку. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних сил*. 2021. №2 (42). С.7-15. <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.68.01>
6. Калашник Г. А., Калашник-Рибалко М. А. Результати дослідження ефективності функціонування комплексу бортового обладнання літака DA-42 за показниками функціональної стійкості під впливом дестабілізуючих факторів. *Системи обробки інформації*. 2020. №4 (163). С.27-36.
7. Калашник-Рибалко М. А., Калашник Г. А. Удосконалення методу синтезу оптимально розподіленої структури інтегрованого комплексу бортового обладнання літального апарата за показниками функціональної стійкості. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України*. 2021. №1(42). С.41-49. <https://doi.org/10.30748/nipts.2021.42.05>