

М.А. Калашник-Рибалко

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

СТРАТЕГІЯ І МЕТОДОЛОГІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНО РОЗПОДІЛЕНОЇ СТРУКТУРИ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ В УМОВАХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ВПЛИВІВ

В статті наведено стратегію та обґрунтовано методологію реалізації синтезу оптимально розподіленої структури пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК) літального апарату (ЛА) в умовах дестабілізуючих впливів шляхом застосування методів оптимізації структури ПНК за критерієм максимуму показника функціональної стійкості з обмеженням на вартість побудови системи. Реалізація запропонованої методології дозволяє з множини допустимих варіантів обрати компромісний і водночас найбільш раціональний з урахуванням можливих позаштатних ситуацій в умовах дестабілізуючих впливів шляхом врахування ймовірного характеру потужності як множини зв'язків між елементами системи ПНК.

Ключові слова: пілотажно-навігаційний комплекс, дестабілізуючі фактори, функціональна стійкість, синтез оптимально розподіленої структури.

Вступ

Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями. За результатами аналізу досліджень відмов і пошкоджень елементів складних систем, представлених дослідниками у роботах [1–2 та ін.], та виконаного нами аналізу [3] взаємозв'язку і взаємовпливу дестабілізуючих факторів на функціональну стійкість навігаційних систем літальних апаратів, відмови в роботі ПНК або його модулів найчастіше призводять до помилок позиціонування ЛА в просторі і відхилень ЛА від лінії заданого шляху, що значно впливає на рівень безпеки польотів. Виникає необхідність в знаходженні нових шляхів підвищення рівня безпеки польотів. Завдання забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату в умовах дестабілізуючих впливів є частиною проблеми забезпечення безпеки польотів та одним з найбільш актуальних напрямків наукових досліджень.

Одним з шляхів усунення проблеми низької функціональної стійкості ПНК ЛА та підвищення ефективності його функціонування в умовах дестабілізуючих впливів може бути виконання синтезу його структури шляхом застосування методів оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для різних складних технічних систем і різних визначень на цей час розроблено досить багато методів оптимізації [4–6 та ін.]. Незважаючи на це, існує ряд завдань, які вимагають розробки та використання специфічних методів дослідження і проектування системи, зокрема у векторній оптимізації, у рішенні завдань багатокритеріальної оптимізації за великою кількістю переглянутих варіантів побудови системи [7].

Для визначення оптимального варіанту побудови ПНК ЛА потрібно одночасне вирішення завдання вибору оптимальної структури та визначення відповідних основних варіюваних параметрів, які забезпечать найкращі показники якості проектованої системи, ефективності її функціонування, зокрема, й за показниками функціональної стійкості.

У випадку реалізації синтезу на основі використання дискретної оптимізації складних технічних систем, до яких відноситься і ПНК ЛА, дослідження повинні включати послідовне виконання наступних завдань [7]: обґрунтування комплексу критеріїв, прийнятних до оцінки різних варіантів побудови системи (показників якості) з визначенням критерію переваги; моделювання різних варіантів з бажаними змінами відомих параметрів системи і розрахунок показників якості; вибір методу оптимізації; визначення області ефективних варіантів на основі розгляду всього комплексу критеріїв, що відображають вимоги до системи ПНК; вибір оптимальних варіантів за сукупністю критеріїв з визначенням раціонального варіанту шляхом застосування пріоритетного критерію переваги. В якості критерію переваги нами обрано максимум показника функціональної стійкості ПНК ЛА.

Ключові положення теорії функціональної стійкості були розвинені в численних роботах професорів Машкова О.А., Барабаша О.В., Кравченка Ю.В., Неділька С.М., Обідіна Д.М. Окремі завдання забезпечення функціональної стійкості були відображені в роботах Авіжієніса А., Артюшина Л.М., Баранова Г.Л., Баранова В.Л., Гуляєва В.А., Дем'янчука В.С., Зіатдінова Ю.К., Козелкова С.В., Кононова А.А., Коростиля Ю.М., Пархоменка П.П., Савченка В.А., Тоценка В.Г. та інших вітчизняних і зарубіжних дослідників. Барабаш О.В. вперше довів

загальну відмінність стійкості функціонування від функціональної стійкості і формалізував функціональну стійкість в системі властивостей складних технічних систем.

У роботах Неділька С.М. [7–8] було запропоновано методологічні основи забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом, зокрема, подальший розвиток аналізу, синтезу й оптимізації структур, характеристик та програмного забезпечення складних технічних систем в частині розробки методів підвищення ефективності процесів навігації і управління рухом, засобів і систем навігаційного обслуговування.

У роботах Обідіна Д.М. [9–10] була реалізована стратегія забезпечення функціональної стійкості інтелектуальних розподілених систем управління літальним апаратом шляхом використання динамічної верифікаційної моделі розподілених баз знань інтелектуальної системи управління літальним апаратом.

За результатами досліджень нами у роботах [3; 11–12] були запропоновані нові підходи щодо забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК) літального апарату (ЛА) на окремих режимах польоту, зокрема в умовах впливу геліогеофізичних збурень [12–13], вивчено взаємний вплив зовнішніх дестабілюючих факторів один на одного та на функціонування складових систем навігаційного забезпечення літальних апаратів (рис. 1).

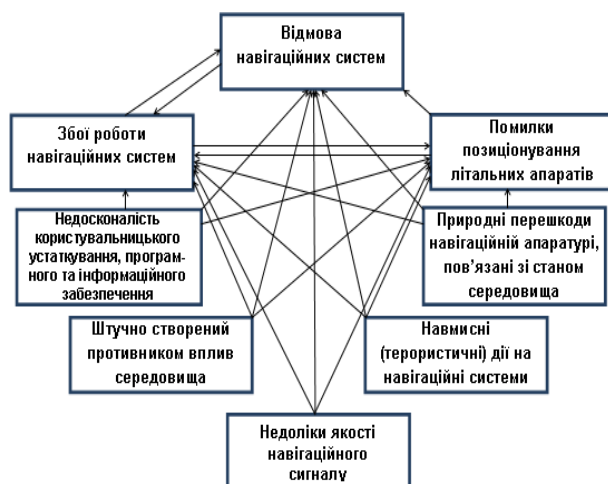


Рис. 1. Взаємозв'язок і взаємовплив зовнішніх дестабілюючих факторів на функціонування навігаційних систем літальних апаратів

Також нами було виконано дослідження ефективності функціонування однієї з моделей пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату в умовах дестабілюючих впливів за показниками функціональної стійкості [11]. Було виконано аналіз структури ПНК ЛА за наступними критеріями: вид

топології, число і розташування вузлів, лінії зв'язку, структурні параметри графа: коефіцієнт надмірності зв'язків, діаметр графа, коефіцієнт централізованості, структура та вага мінімального остовного дерева; показники функціональної стійкості ПНК ЛА: ступінь вершинної зв'язності, ступінь реберної зв'язності, запас функціональної стійкості.

Отримані результати досліджень підтвердили низький рівень функціональної стійкості окремих елементів дослідженого ПНК ЛА, зокрема системи передачі даних. Розрахунок мінімального остовного дерева ПНК ЛА дозволив визначити упорядкований граф ПНК з мінімальною вагою ребер та визначити прив'язку надлишкових елементів та зв'язків у його структурі (рис. 2). Оцінка визначених структурних параметрів графа ПНК ЛА та структурних показників функціональної стійкості дослідженого ПНК ЛА дозволила зробити наступні висновки: 1) структура ПНК ЛА потребує зниження діаметра графу; 2) коефіцієнт централізації ПНК ЛА, що характеризує нерівномірність завантаження елементів структури ПНК, значно вище прийнятних значень $K_{ц} \leq 0,5$ і повинен бути зменшений; 3) в структурі ПНК ЛА окремі елементи знаходяться на межі запасу функціонування і мають низький ступінь вершинної зв'язності структури і низький рівень реберної зв'язності (рис. 3), що потребує вирішення проблеми підвищення ефективності його функціонування в умовах дестабілюючих впливів.

Одним з шляхів усунення проблеми низької функціональної стійкості ПНК ЛА та підвищення ефективності його функціонування в умовах дестабілюючих впливів може бути виконання синтезу його структури шляхом застосування методів оптимізації структури за критерієм максимуму показника функціональної стійкості з обмеженням на вартість побудови системи.

На сьогодні розроблено низку методів синтезу розподілених структур, основними з яких є наступні [14–15]: 1) синтез структур за критерієм мінімуму вартості при обмеженнях на обсяги переданої інформації $\varphi_{ij} < \rho_{ij}$, часу передачі повідомлення $\tau_{сер} < T$, ступінь вузлової зв'язності структури $\chi(G) > 1$; 2) синтез мережі на основі визначення остовного мінімально-зв'язуючого дерева графу структури; 3) синтез параметрів мережі при заданій топології графу структури. Однак усі зазначені методи мають низку недоліків, а саме: обмеженість внаслідок розгляду та дослідження певних класів структур за топологією, використання найбільш простого класу цільових функцій (лінійні, параболічні, монотонні, тощо), що виражають вартість, пропускну здатність або час передачі повідомлення. При вирішенні задач структурного і параметричного

синтезу ПНК ЛА окрім установлення факту стійкості також повинні бути визначеними запас стійкості відповідно до конкретної ознаки, а також області стійкості у фазовому просторі параметрів системи ПНК ЛА.

Таким чином, проблема реалізації синтезу складних розподілених систем, до класу яких відноситься ПНК ЛА, на сьогоднішній день залишається вирішеною не повністю.

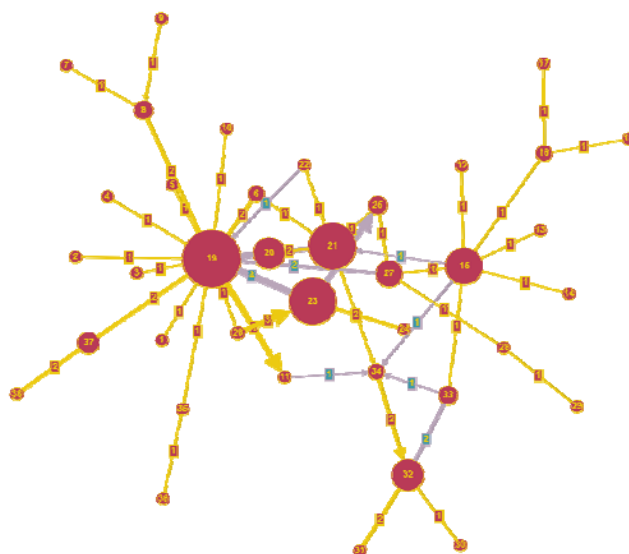


Рис. 2. Мінімальне остовне дерево графу пілотажно-навігаційного комплексу ЛА

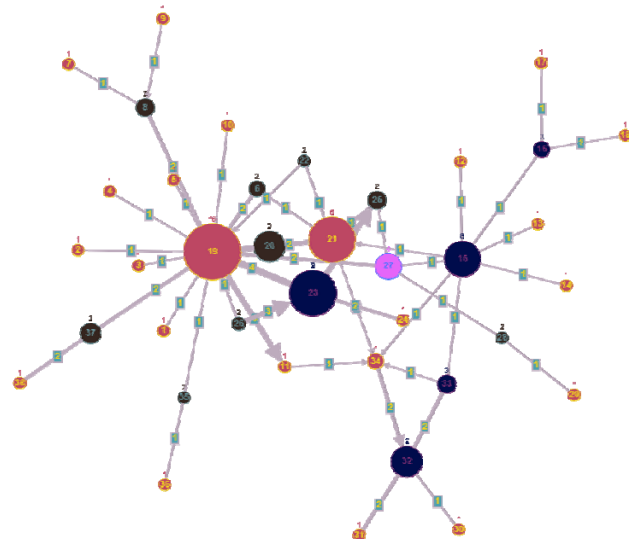


Рис. 3. Визначення максимального ступеню вершинної зв'язності графу ПНК ЛА

Мета статті. Метою статті є визначення стратегії та обґрунтування методології реалізації синтезу оптимально розподіленої структури пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату в умовах дестабілюючих впливів.

Основна частина

Під ПНК розуміють сукупність бортових функціонально об'єднаних інформаційних засобів (датчиків), обчислювально-програмних, систем автоматичного управління, систем індикації і сигналізації, призначених для вирішення завдань літаководіння і забезпечення роботи інших бортових систем ЛА.

До основних завдань, що вирішуються ПНК ЛА, можна віднести завдання побудови навігаційної програми польоту, навігаційні завдання, пілотажні завдання і завдання контролю роботи ПНК і режимів польоту [2].

При польоті за маршрутом ймовірність виконання повного цільового завдання описується виразом:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

де

$$P_i = P(\Delta x_i < \Delta_{i_{\text{пред}}}), (i = \overline{1, n});$$

$$P_2 = P(t_\phi < t_3);$$

$$P_3 = P(a_i < a_{i_{\text{пред}}}).$$

Під a_i будемо розуміти деякі параметри ПНК, такі як маса, вартість або інші, під параметром $a_{i_{\text{пред}}}$ – гранично допустимі значення параметрів, під Δx_i – відхилення i -ї координати вектору стану, під $\Delta_{i_{\text{пред}}}$ – гранично допустимі відхилення по i -ій координаті, t_ϕ та t_3 – фактичний і заданий час досягнення необхідної дальності польоту.

Тоді умови, відповідні виконанню основного завдання, можна представити у вигляді:

$$\Delta x_i(t) < \Delta_{i_{\text{пред}}}(t), (i = \overline{1, n}); \quad (2)$$

$$t_\phi = \frac{L(t)}{V_{\text{сер}}} \leq t_3,$$

де $\Delta x_i(t) = x_{i_{\text{зад}}}(t) - x_i(t)$ – відхилення координат вектора стану $\Delta x_i(t)$ від програмних $x_{i_{\text{зад}}}(t)$.

Під функціональною стійкістю ПНК ЛА будемо розуміти його властивість перебувати в стані працездатності і виконувати певне цільове завдання або впродовж заданого інтервалу часу, або в умовах потоку відмов через вплив зовнішніх і внутрішніх факторів, можливо із деяким погіршенням своїх характеристик, але зі збереженням виконання хоча б мінімально необхідних функцій.

Необхідна і достатня умова функціональної стійкості [7] ПНК ЛА 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 парирування наслідків позаштатних ситуацій.

Основними причинами низького рівня функціональної стійкості ПНК ЛА можуть бути [7]: ієрархічна деревоподібна структура системи передачі даних (СПД) з малим числом альтернативних маршрутів, низький ступінь вершинної зв'язності $\chi(G) \leq 2$, якій не дозволяє здійснювати функціонування СПД при виході з ладу або руйнуванні більше двох вузлів комутації; низький ступінь реберної зв'язності $\lambda(G) \leq 3$, що не дозволяє здійснювати функціонування СПД при виході з ладу або руйнуванні більше трьох ліній зв'язку; низька ймовірність зв'язності структури, що не дозволяє зберігати зв'язність структури при впливі внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів; низький запас функціональної стійкості структури.

Забезпечення функціональної стійкості ПНК ЛА включає в себе такі етапи: етап виявлення від-

мови; етап розпізнавання (верифікації розподіленої бази знань); парирування відмов ПНК: етап виявлення області надмірності системи ПНК, етап відновлюючого управління ПНК шляхом оптимального використання надмірності (рис. 4).

В основу забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату нами покладено процедури підтримання у валідному стані баз знань окремих модулів розподіленої системи через організацію динамічної верифікації таких баз знань під час їх застосування.

Розглянемо пілотажно-навігаційний комплекс як розподілену інтелектуальну систему виду:

$$G(V, L), V = \{v_i\}, L = \{l_{ij}\}, i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

де безліч вершин V відповідає безлічі інформаційних (інтелектуальних) модулів ПНК розмірністю n . Безліч ребер L відповідає безлічі зв'язків між інформаційними модулями.

В такому разі після виявлення відмови ПНК для забезпечення його функціональної стійкості необхідно визначити значення функцій приналежності μ_i для окремих модулів $v_i, i = 1 \dots n$, розподілених інформаційних модулів ПНК V на базі операцій з бульовими векторами коректності модуля X_i , отриманого в результаті верифікації розподілених інформаційних модулів:

$$\forall_i |v_i \in V, i = 1, \dots, |V|,$$

$$\exists \mu_i | \mu_i \in M, \quad (4)$$

$$M = \left\{ \mu_i | \mu_i = \frac{1}{|X_i|} \sum_{j=1}^{|X_i|} x_{ij}, x_{ij} \in X_i, i = 1, 2, \dots, n \right\}.$$

Підтримання елементів ПНК ЛА у валідному стані нами вирішено здійснювати через організацію його динамічного діагностування під час експлуатації за принципом ймовірного діагностичного ядра [16–19]. Цей процес для забезпечення функціональної стійкості ПНК ЛА включає:

- виконання перевірок у системах ПНК, при якому враховується випадкова структура діагностичних зв'язків і виконання перевірок окремих елементів пілотажно-навігаційного комплексу з боку інших модулів здійснюється у випадковій моменту часу;

- проведення обміну діагностичною інформацією шляхом використання засобу умовної передачі результатів перевірок і накопичення діагностичної інформації в пам'яті елементів ПНК;

- можливість завдання параметрів необхідної достовірності процесу діагностування елементів ПНК ЛА та вимоги виконання перевірок до моменту досягнення заданої достовірності;

– визначення достатності діагностичної інформації для виконання її аналізу з використанням у якості ознаки достатності ймовірності видачі ре-

зультатів на основі отриманої сукупності результатів перевірок модулів у вигляді синдрому $R = \{r_{ij}\}$;

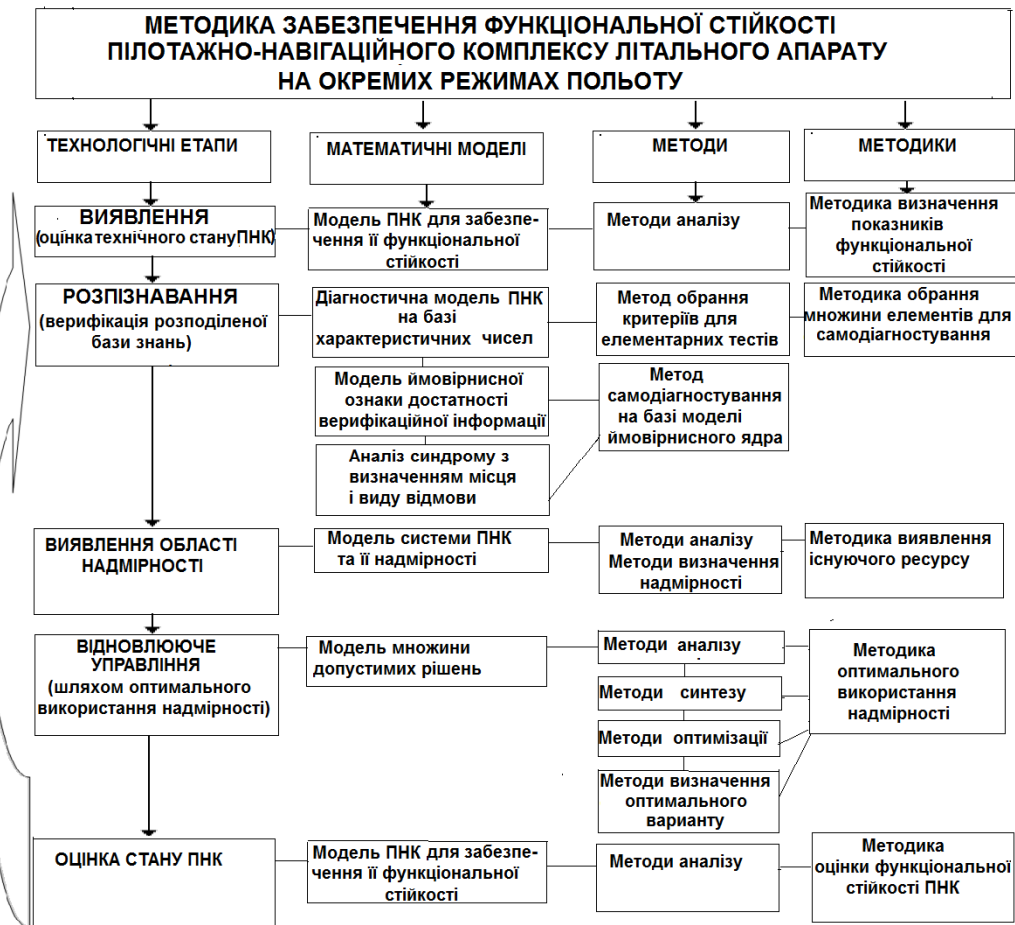


Рис. 4. Схема методики забезпечення функціональної стійкості пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату на окремих режимах польоту

– постійне відстеження стану структури перерішних зв'язків та отриманого синдрому кожним з коректних модулів системи;

– дешифрування діагностичної інформації для визначення стану елементів ПНК, при якому один з коректних модулів аналізує синдром й виконує його дешифрування з визначенням місця і виду відмови.

Якщо критичні зміни параметрів, що передують повній відмові будь якого елементу ПНК ЛА, або потоку відмов низки його елементів, будуть виявлені завчасно шляхом прогнозування відмови, у такому разі можливе своєчасне забезпечення оперативного парирування нештатної ситуації та формування відновлюючого управління, яке і завершує етап парирування відмови.

Забезпечення якості функціонування системи ПНК ЛА пропонується здійснювати за рахунок оптимального використання раціонально введеної на етапі проектування надлишковості ліній зв'язку між структурними елементами системи.

З урахуванням вищезазначеного, стратегія реалізації синтезу оптимально розподіленої структури

пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату в умовах дестабілізуючих впливів полягає у наступному. На етапі проектування забезпечення функціональної стійкості ПНК ЛА пропонується здійснювати шляхом введення структурної, часової, апаратної та програмної надмірності. Для цього проводиться визначення оптимальної структури ПНК ЛА за критерієм максимуму функціонування системи з раціонально введеною надлишковістю ліній зв'язку між елементами системи. Основні відмови і помилки при роботі ПНК можна парирувати програмним способом. При цьому, в програмне забезпечення системи прогнозування стану ПНК ЛА, вводиться програмна та часова надмірність для вирішення завдань контролю, діагностування та дешифрування діагностичної інформації. Забезпечення функціональної стійкості ПНК ЛА включає в себе три етапи: етап визначення; етап розпізнавання (верифікації розподіленої бази знань); етап парирування відмов ПНК [7]. Етап виявлення ідентичний етапу оцінки технічного стану (2), етап розпізнавання відмов та збоїв здійснюється на базі підтримання

у валідному стані баз знань окремих модулів розподіленої системи через організацію динамічної верифікації таких баз знань під час їх застосування виконується шляхом організації його динамічного діагностування під час експлуатації за принципом ймовірнісного діагностичного ядра (3). Якщо при діагностуванні шляхом постійного контролю елементів системи ПНК тестовими методами буде виявлено розходження параметрів роботи елемента або низки елементів ПНК з параметрами з діапазону безпечних умов їхнього стану з бази знань штатної роботи системи станом на момент тестування, шляхом аналізу тенденцій та темпу зміни параметру або параметрів, приймається рішення щодо можливої появи відмови або збою певного елемента ПНК ЛА. Найбільш раціональним є метод самодіагностування на базі використання ймовірнісного діагностичного ядра.

Після визначення достатньої верифікаційної інформації, один з коректних модулів аналізує синдром й виконує його дешифрування з визначенням місця і виду відмови. На підставі цієї інформації формується відновлююче управління, яке і завершує етап парирування відмов ПНК. Під відновлюючим управлінням розуміється управління, що парирує наслідки відмов, збоїв, руйнувань, а також вплив інших дестабілізуючих факторів з метою збереження, хоч і з деяким погіршенням основних функцій системи [7].

З огляду на структуру ПНК і основні причини відмов, можна зробити висновок, що система має значну апаратну і програмну надмірність. Основні відмови і помилки при роботі ПНК можна парирувати програмним способом. У загальному вигляді задача парирування полягає у визначенні нечіткого логічного висновку виду:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5)$$

Парирування виконується у два етапи [7]: 1) виявлення області надмірності існуючих ресурсів та 2) оптимальне використання надмірності.

На основі верифікації (4) інформаційних модулів ПНК (3) формується відновлююче управління (5) і на підставі умов задоволення основного завдання (2) визначається ймовірність виконання повного цільового завдання при польоті за маршрутом або на інших окремих режимах польоту. Після перерозподілу надмірності потрібно оцінити реальний стан системи ПНК ЛА.

Таким чином, структура ПНК ЛА є постійно динамічно змінною у процесі виявлення та дешифрування фактів порушення нормального функціонування підсистем та елементів системи ПНК ЛА. При цьому в цілому функціонування системи ПНК ЛА не порушується, вона здатна продовжувати функціонувати під впливом збурень можливо із деяким

погіршеннями своїх характеристик, але з виконанням хоча б мінімально необхідних функцій.

Формалізація задачі реалізації синтезу оптимально розподіленої структури пілотажно-навігаційного комплексу літального апарату в умовах дестабілізуючих впливів у загальному вигляді приймає наступний вид.

Для наочності діагностичну модель ПНК, яка взята нами для дослідження представимо у вигляді орієнтованого графа $G(V, L)$, множини вершин якого $V = \{v_i\}$ відповідає вузол комутації системи пілотажно-навігаційного комплексу, а орієнтовані ребра $L = \{v_i, v_j\}$ – елементарним перевіркам між елементами ПНК (рис. 3). Граф досліджуваного ПНК ЛА складається з $N = 38$ вершин.

Нехай обмін інформацією між елементами ПНК ЛА, базою знань валідних параметрів роботи елементів системи пілотажно-навігаційного комплексу здійснюється згідно до матриці інтенсивності $H = \|h_{ij}\|$ розміру $N \times N$, де h_{ij} – обсяг інформації, що передається від блока i до блока j в одиницю часу, $i=1, \dots, N, j=1, \dots, N, i \neq j$.

Обмеження оптимізації задамо за відомою функцією вартості побудови системи C шляхом визначення допустимих витрат за індексом заданої вартості $\xi = 1, 2, \dots, n$, на її створення і експлуатацію $C_{\text{доп}}$. Основними показниками функціональної стійкості є: 1) ступінь вершинної зв'язності $\chi(G) \geq 2$; 2) ступінь реберної зв'язності $\lambda(G) \geq 3$; 3) необхідні значення ймовірності зв'язності $P_{\text{ПОТР}}$.

Оскільки нам потрібно визначити оптимальну структуру розподіленої ПНК ЛА, яка характеризується максимальним рівнем функціональності $F_{\text{ПНК ЛА}}$, що залежить від ймовірності зв'язності P_{ij} , при заданих обмеженнях на витрати для створення і експлуатації системи, а також інші параметри функціонування системи, то математична модель синтезу буде виглядати наступним чином:

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

при обмеженнях:

$$C = \sum_i \sum_j C_{ij}(l_{ij}, \rho_{ij}, h_{ij}) \leq C_{\text{доп}};$$

$$\forall \pi_{ij} \quad P_{ij} \geq P_{\text{ПОТР}};$$

$$\chi(G) \geq 2; \quad \lambda(G) \geq 3;$$

$$G_0(V, E) \subseteq G_\xi(V, E);$$

$$\phi_{ij} \leq \rho_{ij};$$

$$\tau_{\text{сер}} \leq T_{\text{max}},$$

де N – число блоків комутації ПНК ЛА, що синтезуються;

$F_{\text{ПНК ЛА}}$ – функціонал якості системи, що максимізується;

P_{ij} – ймовірність зв'язності між парою (i, j) елементів системи;

π_{ij} – усі маршрути значення ймовірності зв'язності P_{ij} ;

$\chi(G)$ – ступінь вершинної зв'язності;

$\lambda(G)$ – ступінь реберної зв'язності;

l_{ij} – довжина лінії зв'язку між елементами (i, j) ;

ϕ_{ij} – обсяг потоку інформації, що передається;

ρ_{ij} – пропускна здатність;

ξ – індекс заданої вартості, $\xi = 1, 2, \dots, n$;

$\tau_{\text{СЕР}}$ – середній час затримки оповіщення, що передається від одного елемента до іншого.

В наведених залежностях:

$F_{\text{ПНК ЛА}}$ – функціонал якості системи, що максимізується, який розраховано за матрицею ймовірностей суміжності із урахуванням вагових коефіцієнтів b_{ij} :

$$F_{\text{ПНК ЛА}} = f(P_{ij}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N b_{ij} \cdot P_{ij},$$

де P_{ij} – ймовірність зв'язності двополюсного графа із вершиною витокком v_i і вершиною-стоком v_j .

Індекс ξ передбачає знаходження декількох структур для заданої вартості $C_{\text{ДОПС}}$.

Підхід вирішення декількох однокритеріальних оптимізаційних завдань із заданими значеннями $C_{\text{ДОПС}}$ приймається з метою уникнути рішення двокритеріальної задачі на графах, що є занадто складним [19]. У загальному випадку потрібна оптимізація системи і визначення її вигляду на основі усього зазначеного комплексу критеріїв функціональної стійкості та тих, що відображують умови до системи ПНК ЛА ($F_{\text{ПНК ЛА}}$), і коли кожний з них виступає самостійно. У такому випадку остаточне оптимальне та найбільш раціональне проектне рішення може бути обрано: 1) шляхом аналізу області ефективних варіантів; 2) шляхом компромісного варіанту із застосуванням обраного критерію переваги з комплексу критеріїв функціональної стійкості.

Визначення оптимального варіанту моделі ПНК ЛА буде здійснюватись за критерієм максимуму показника функціональної стійкості P_{ij} , обраного

у якості критерію переваги з обмеженням на вартість побудови системи.

Висновки та перспективи подальшого розвитку у визначеному напрямку

Таким чином, у статті запропоновано стратегію та обґрунтовано методологію реалізації синтезу оптимально розподіленої структури ПНК ЛА в умовах дестабілізуючих впливів шляхом застосування методів оптимізації структури пілотажно-навігаційного комплексу за критерієм максимуму показника функціональної стійкості з обмеженням на вартість побудови системи.

Реалізація запропонованої методології дозволяє з множини допустимих варіантів обрати компромісний і водночас найбільш раціональний, з урахуванням можливих позаштатних ситуацій в умовах дестабілізуючих впливів шляхом врахування ймовірнісного характеру потужності як множини зв'язків між елементами системи ПНК.

В даному випадку ми розглядаємо граф оптимізованої структури ПНК ЛА, у якому кількість зв'язків буде випадковою, а кількість вузлів N , залишається детермінованою. Це дозволяє розглядати, оцінювати, порівнювати різні моделі ПНК ЛА за низкою показників функціональної стійкості.

Визначення оптимального (компромісного) варіанту моделі ПНК ЛА запропоновано здійснювати за критерієм максимуму показника функціональної стійкості, з обмеженням на вартість побудови системи.

У подальшому потрібно виконати синтез обраної для дослідження структури ПНК ЛА (рис. 3) на основі обраних методів та методик при різних значеннях вартості побудови системи $C_{\text{ДОП}}$, та для різних значень ймовірності передачі інформації між будь-якою парою елементів v_i і v_j з вибором найбільш оптимального варіанту оптимально розподіленої структури ПНК ЛА.

Список літератури

1. Когге Ю.К. Основы надежности авиационной техники / Ю.К. Когге. – М.: Машиностроение, 1993. – 175 с.
2. Рогожин В.О. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден / В.О. Рогожин, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін. – К.: НАУ, 2005. – 316 с.
3. 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. 3-8.
4. Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
5. Boehm B.W. Software cost estimation with COCOMO II / B.W. Boehm. – New Jersey: Prentice Hall PTR, 2000. – 506 p.
6. Hosam M.F. A Neural Approach to Topological Optimization of Communication Networks, With Reliability Constraints/ M.F. Hosam, S. Al-Sumait Loulwa // IEEE Transactions on Reliability, December 2001. – Vol. 50, No. 4. – P. 397-408.

7. Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 220 с.
8. Навігаційне забезпечення Збройних сил України з використанням космічних систем: монографія / С.В. Козелков, К.С. Козелкова, С.М. Неділько та ін.; за ред. С.М. Неділька. – Кіровоград: Вид-во КЛІА НАУ, 2013. – 628 с.
9. Обідін Д.М. Математична формалізація функціональної стійкості процесів управління літальними апаратами / Д.М. Обідін // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – Вип. 1(37). – С. 179-182.
10. Обідін Д.М. Модель бази знань інтелектуальної системи управління високошвидкісного рухомого об'єкта на основі її верифікації / Д.М. Обідін, О.В. Барабаш, А.П. Мусієнко // Системи обробки інформації. – 2014. – Вип. 5(121). – С. 3-6.
11. Калашник М.А. Постановка задачі забезпечення функціональної 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.
12. 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.
13. Калашник Г.А. Основні заходи щодо забезпечення ефективного функціонування систем управління, зв'язку та навігації в умовах впливу деструктивних геліогеофізичних 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>.
14. Янбых Г.Ф. Методы анализа и синтеза сетей ЭВМ / Г.Ф. Янбых, Б.Я. Эттипгер. – Л.: Энергия, 1980. – 96 с.
15. Андрусак А.І. Мережа авіаційного електрозв'язку / А.І. Андрусак, В.С. Дем'янчук, Ю.М. Юр'єв. – К.: НАУ, 2001. – 446 с.
16. Mashkov V.A. Self-checking and Self-diagnosis of Module Systems on the Principle of Walking Diagnostic Kernel / V.A. Mashkov, O.V. Varabash // Engineering Simulation. – Amsterdam: OPA, 1998. – Vol. 15. – P. 43-51.
17. Барабаш О.В. Методика обнаружения отказов в вычислительных системах на основе блуждающего диагностического ядра / О.В. Барабаш, М.В. Кушлинский // Проблемы информатизации та управління. – 2005. – № 12. – С. 22-27.
18. Кравченко Ю.В. Функціональна стійкість – властивість складних ТС / Ю.В. Кравченко, О.В. Барабаш // Труды академії. – К.: НАОУ, 2002. – № 40. – С. 225-228.
19. Барабаш О.В. Алгоритм пошуку найкоротших маршрутів у мережі передачі даних автоматизованої системи управління / О.В. Барабаш, О.В. Чмут // Матеріали І науково-техн. конф. “Проблеми розробки і удосконалення засобів телекомунікацій та систем управління в Збройних Силах України”, 28-29 листопада 2002 р. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2002. – С. 39.

References

1. Kogge, Yu.K. (1993), “*Osnovni nadezhnosti aviatsionnoy tekhniki*” [Fundamentals of reliability of aviation equipment], Mashinostroenie, Moscow, 175 p.
2. Rogozhin, V.O., Sineglazov, V.M. and Filyshkin, M.K. (2005), “*Pilotazhno-navihatsiini kompleksi povitrianykh suden*” [Aeronautical Navigational Complexes of Aircraft], NAU, Kyiv, 316 p.
3. Kalashnyk, M.A. (2016), “*Mekhanizmy zabezpechennia staloho funktsionuvannia zasobiv navihatsii litalnykh aparativ v umovakh destruktivnoho 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.
4. Artyushin, L.M., Mashkov, O.A. (1991), “*Optimizatsiya tsifrovyykh avtomaticheskikh sistem, ustoychivyyh k otkazam*” [Optimization of digital automatic systems, resistant to failures], KVVAIU, Kyiv, 89 p.
5. Boehm, B.W. (2000), *Software cost estimation with COCOMO II*, Prentice Hall PTR, New Jersey, 506 p.
6. Hosam, M.F., Loulwa, S. Al-Sumait (2001), A Neural Approach to Topological Optimization of Communication Networks, With Reliability Constraints, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 50, No. 4, pp. 397-408.
7. Nedilko, S.M. (2011), “*Osnovy teorii funktsionalnoi stiiikosti avtomatyzovanoi systemy upravlinnia povitrianyim rukhom*” [Basic theory of functional stability automated air traffic management system], DLAU, Kirovohrad, 220 p.
8. Kozelkov, S.V., Kozelkova, K.S., Nedilko, S.M., Nedilko, V.M., Obidin, D.M. and Hrashevsky, R.V. (2013), “*Navihatsiine zabezpechennia Zbroinykh syl Ukrainy z vykorystanniam kosmichnykh system*”, [Navigational support of the Armed Forces of Ukraine using space systems], Vyd-vo KLA NAU, Kirovohrad, 628 p.
9. Obidin, D.M. (2014), “*Matematychna formalizatsiia funktsionalnoi stiiikosti protsesiv upravlinnia litalnyimi aparatami*” [The mathematical formalization of functional stability control processes aircraft], *Systems of Arms and Military equipment*, No. 1 (37), pp. 179-182.
10. Obidin, D.M., Barabash, O.V. and Musienko, A.P. (2014), “*Model bazy znan intelektualnoi systemy upravlinnia vysokoshvydkisnoho rukhomoho obiekta na osnovi yii veryfikatsii*” [Model of the knowledge base of the intelligent control system of high-speed moving object on the basis of its verification], *Information Processing Systems*, No. 5 (121), pp. 3-6.
11. Kalashnyk, M.A. and Obidin, D.M. (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.
12. Kalashnyk, G.A., Obidin, D.M. and Kalashnyk, M.A. (2016), “*Zabezpechennia stiiikoho 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.

13. Kalashnyk, G.A., Kalashnyk-Rybalko, M.A. (2018), "Osnovni zakhody shchodo zabezpechennia efektyvnoho funktsionuvannia system upravlinnia, zviazku ta navihatsii v umovakh vplyvu destruktivnykh helioheofizychnykh zburen" [Main activities to ensure the efficient of management, communication and navigation systems under the influence of destructive heliogeophysical disturbances], *Science and Technology of the AirForces of Ukraine*, No. 1(30), pp. 92-98. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.13>

14. Yanbykh, G.F. and Etytger, B.Ya. (1980), "Metodyi analiza i sinteza setey EVM" [Methods of analysis and synthesis of computer networks], Energia, Leningrad, 96 p.

15. Andrusyak, A.I., Demyanchuk, V.S. and Yuriev, Yu.M. (2001), "Merezha aviatsiinoho elektrozviazku" [Aviation Telecommunication Network], NAU, Kyiv, 446 p.

16. Mashkov, V.A. and Barabash, O.V. (1998), Self-checking and Self-diagnosis of Module Systems on the Principle of Walking Diagnostic Kernel, *Engineering Simulation*, Vol. 15, OPA, Amsterdam, pp. 43-51.

17. Barabash, O.V. and Kuklinskiy, M.V. (2005), "Metodika obnaruzheniya otkazov v vyichislitelnykh sistemah na osnove bluzhdayushchego diagnosticheskogo yadra" [Method for detection of failures in computing systems based on the roaming diagnostic core], *Problems of informatization and management*, No.12, pp. 22-27.

18. Kravchenko, Yu.V. and Barabash, O.V. (2002), "Funktionalna stiikist – vlastyvist skladnykh TS" [Functionality is the power of folding vehicles], *Trudi Akademii*, No. 40, NAU, Kyiv, pp. 225-228.

19. Barabash, O.V. and Chmut, O.V. (2002), "Alhorytm poshuku naikоротshykh marshrutiv u merezhi peredachi danykh avtomatyzovanoi systemy upravlinnia" [Algorithm for finding the shortest routes in the data transmission network of the automated control system], *Problems of development and improvement of telecommunication and control systems in the Armed Forces of Ukraine*, October 28-29, Kiyv, pp. 39.

Надійшла до редколегії 14.03.2018

Схвалена до друку 17.04.2018

Відомості про автора:

Калашник-Рибалко Мирослава Анатоліївна
аспірант Льотної академії
Національного авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0997-9609>
e-mail: kalashnik_miroslava2014@ukr.net

Information about the author:

Myroslava Kalashnyk-Rybalko
Postgraduate Student of Flight Academy of
National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0997-9609>
e-mail: kalashnik_miroslava2014@ukr.net

**СТРЕТЕГИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНО
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

М.А. Калашник-Рыбалко

В статье представлена стратегия и обоснована методология реализации синтеза оптимально распределенной структуры пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) летательного аппарата (ЛА) в условиях дестабилизирующих воздействий путем применения методов оптимизации структуры ПНК по критерию максимума показателя функциональной устойчивости с ограничением на стоимость построения системы. Реализация предложенной методологии позволяет из множества допустимых вариантов выбрать компромиссный и, одновременно, наиболее рациональный, с учетом возможных нештатных ситуаций в условиях дестабилизирующих воздействий путем учета вероятностного характера мощности как множества связей между элементами системы ПНК.

Ключевые слова: пилотажно-навигационный комплекс, дестабилизирующие факторы, функциональная устойчивость, синтез оптимально распределенной системы.

**STRATEGY AND METHODOLOGY OF SYNTHESIS REALIZATION OF OPTIMALLY
DISTRIBUTED STRUCTURE OF AIRCRAFT FLIGHT AND NAVIGATION COMPLEX
IN CONDITIONS OF DESTABILIZING IMPACTS**

M. Kalashnyk-Rybalko

In the article proposed a strategy and the methodology for realization of synthesis of optimally distributed structure of aircraft flight and navigation complex in conditions of destabilizing impacts was justified using methods of the structure optimization by the maximum criterion of the functional stability parameter with a limitation of the system construction cost.

The implementation of the proposed methodology allows to choose compromised and at the same time the most rational one from the set of permissible options taking into account possible extraordinary situations under conditions of destabilizing impacts by considering the probabilistic nature of the power as a plurality of connections between flight and navigation complex system elements.

Keywords: flight and navigation complex, destabilizing factors, functional stability, synthesis of optimally distributed structure.