УДК 629.7.067.8

Н.І. Кушнєрова

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

ФОРМАЛІЗОВАНА ПОСТАНОВКА СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНО РОЗПОДІЛЕНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ

У статті описанні деякі існуючі методи та моделі, які можливо використовувати для попередження нештатної ситуації та методи синтезу розподілених систем, виділенні їх позитивні якості та недоліки. Представлена формалізована постановка синтезу оптимально розподіленої структури системи прогнозування нештатних ситуацій. Також описана математична модель структури розподіленої системи прогнозування нештатних ситуацій, яка характеризується максимальним рівнем функціональності $F_{СПНС}$, що залежить від імовірності зв'язності Рij, при заданих обмеженнях на витрати для створення і експлуатації системи, а також інші параметри функціонування системи. Описані шляхи забезпечення функціональної стійкості системи.

Ключові слова: *нештатна ситуація, прогнозування, синтез, розподілена структура, функціональна стійкість.*

Вступ

Обґрунтування актуальності дослідження та аналіз літератури

Аналіз рівня безпеки польотів та заходів, щодо підвищення його рівня показав, що проблема прогнозування нештатних ситуацій на борту повітряного судна є багатогранна. Виникає необхідність в знаходженні нових шляхів підвищення рівня безпеки на авіаційному транспорті, а саме розробка та впровадження системи прогнозування нештатних ситуацій на борту повітряного судна, яка дасть змогу спрогнозувати та попередити відмову ще до прояву її негативних наслідків.

Під відмовою розуміється подія, що полягає в частковій або повній втраті працездатності, обумовлена фізичним старінням апаратури чи конструктивно-виробничими недоліками. Зважаючи на те, що всі заходи по виявленню відмов виконуються за умов нестачі часу на обробку інформації та прийняття рішення визначимо основні етапи роботи системи прогнозування нештатних ситуацій:

- завчасне формування бази знань параметрів штатного функціонування всіх систем повітряного судна;
- виявлення критичної зміни параметрів, що передують відмові;
- ідентифікація можливої нештатної ситуації;
- розробка рекомендацій, щодо (усунення відмови) парирування нештатної ситуації.

Якщо вчасно виявити зміни, що передують повній відмові, то можна прийняти відповідні заходи щодо усунення відмови, яка може призвести до нештатної ситуації.

В роботах Барабаша О.В., Биргера И.А., Ігнат'єва А.А. розглянуті наступні методи та моделі, які можна використовувати для виявлення збоїв, що призводять до нештатної ситуації на борту повітряного судна: методи, що використовують кількісні, якісні моделі та ретроспективні дані; методи виявлення відхилень у роботі на основі орієнтовного графу; методи пошуку шляхів підвищення рівня функціональної стійкості систем ; методи виявлення відхилень на основі дерева відмов, за допомогою якого є можливість прослідкувати шлях від відмови до його можливих наслідків; методи, що реалізовані на основі моделі «здорового глузду»; експертні системи [1-3].

Вищезгадані методи мають деякі недоліки, а саме: нездатність прогнозування, а лише констатування факту відмови; не забезпечення оперативного парирування аварійної ситуації. точність оцінювання параметрів; відсутність рекомендацій, щодо усунення відмови (нештатної ситуації.

Шляхом усунення виявлених недоліків є синтез розподіленої структури системи прогнозування нештатних ситуацій по критерію максимуму фунціоналу якості системи.

На сьогодні розроблено ряд методів синтезу розподілених структур, до основних з яких відносяться [4, 5]:

- синтез структур за критерієм мінімуму вартості при обмеженнях на обсяги переданої інформації $\varphi_{ij} < \rho_{ij}$, часу передачі повідомлення $\tau_{сер} < T$, ступінь вузловий зв'язності структури $\chi(G) > 1$;

- синтез мережі на основі мінімально-зв'язуючого дерева.;

- синтез параметрів мережі при заданій топології - централізованої, кільцевої, радіальної, деревоподібної, радіально-вузлової тощо.

Проте дані методи мають обмеженість внаслідок розгляду та дослідження певних класів структур – деревовидної, централізованої, кільцеві, радіально-кутової тощо. Крім того, дані методи використовують заданий, найбільш простий клас цільових функцій (лінійні, параболічні, монотонні, сепарабельні тощо), що виражають вартість, пропускну здатність або час передачі повідомлення. Внаслідок цього існуючими методами неможливо синтезувати розподілену структуру прогнозування нештатних ситуацій за критерієм, який не може бути виражений аналітичною залежністю в квадратурах. Саме таким і є критерій максимуму функціоналу якості системи розподіленої системи прогнозування нештатних ситуацій, який залежить від імовірності зв'язності структури. Ймовірність зв'язності, в свою чергу, не може бути виражена в квадратурах внаслідок наявності безлічі перехресних зв'язків між елементами СПНС, що не дозволяє звести їх до тривіальних послідовно-паралельних з'єднань.

Аналіз топологічних властивостей сучасних систем виявлення нештатних ситуацій на борту повітряного судна, аналіз існуючих методів синтезу структур розподіленої системи прогнозування нештатних ситуацій дозволяє 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 синтезу розподілених структур СПНС не дозволяють забезпечити необхідний рівень їх функціональності в умовах мінімуму часу, а також потоку відмов і пошкоджень.

Таким чином, на сьогодні загострилося протиріччя між необхідністю сталого функціонування розподілених систем прогнозування нештатних ситуацій в умовах мінімуму часу і можливостями існуючих методів забезпечення функціональності СПНС.

Тому, актуальність розробки методів та моделей синтезу системи прогнозування нештатних ситуацій на основі введення структурної, програмної та часової достатності є незаперечною.

Також необхідним є підвищення показників ймовірності прогнозу виникнення нештатних ситуацій на борту повітряного судна.

Метою статті є формалізована постановка синтезу оптимально розподіленої структури системи прогнозування нештатних ситуацій на борту повітряного судна по критерію максимуму фунціоналу якості системи.

Основний матеріал дослідження

Розглянемо детальніше формалізовану постановку синтезу оптимально розподіленої структури системи прогнозування нештатних ситуацій.

$\in N$ вузлів комутації системи прогнозування нештатних ситуацій, розташування яких відомо. Обмін інформацією між блоками літака, базою знань штатних параметрів роботи системи здійснюється згідно матриці інтенсивностей $H=||h_{ij}||$ розміру $N \times N$, де h_{ij} – обсяг інформації, що передається від блока i до блока j в одиницю часу, $i=1,...,N$, $j=1,...,N$, $i \div j$. Задані обмеження. Відома функція вартості побудови такої системи C та визначено допустимі витрати на її створення і експлуатацію $C_{ДОП}$. Задані також необхідні ймовірності зв'язності $P_{ПОТР}$ для кожної пари таких вузлів. Потрібно визначити структуру розподіленої СПНС, яка характеризується максимальним рівнем функціональності $F_{СПНС}$, що залежить від імовірності зв'язності P_{ij}, при заданих обмеженнях на витрати для створення і експлуатації системи, а також інші параметри функціонування системи.

Математична модель задачі виглядає наступним чином:

$$F_{СПНС} = f(P_{ij}) \to \max, \quad i,j,...,N, \quad i \neq j \qquad (1.1)$$

$$C = \sum_i \sum_j C_{ij}\,(l_{ij}, {}^{\circ}_{ij}, h_{ij}) \le C_{ДОП} \qquad (1.2)$$

$$\forall ® ij \qquad P_{ij} \ge P_{ПОТР} \qquad (1.3)$$

$$\varphi_{ij} \le \rho_{ij} \qquad (1.4)$$

$$^{2}\,cep \le T\max \qquad (1.5)$$

де N – число блоків комутації СПНС, що синтезується. В загальному випадку $N=var$.

$F_{СПНС}$ – функціонал якості системи, що максимізується;

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

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

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

Вираз (1.1) описує критерій оптимізації: максимум функціональності структури СПНС. В якості показника функціональної стійкості вибирається узагальнений показник, що характеризує зв'язність елементів системи (вершин графу) і залежить від імовірності зв'язності між кожною парою елементів P_{ij}. Вирази (1.2)-(1.5) описують обмеження на параметри системи для вирішення оптимізаційної задачі.

Умова (1.2) означає, що сумарні приведені витрати на СПНС з урахуванням їх пропускної здатності та обсягів переданої інформації не повинні перевищувати допустимої величини. Умова (1.3) визначає для всіх маршрутів ®$_{ij}$ значення ймовірності зв'язності P_{ij}. Умова (1.4) для кожного каналу з пропускною здатністю °$_{ij}$ обмежує обсяг потоку інформації, що передається ¨$_{ij}$. Умова (1.5) визначає середній час затримки повідомлення ²$_{сер}$ в системі.

Таким чином, після вирішення задачі оптимізації буде знайдена розподілена структура СПНС, що складається з N елементів (список суміжності ребер графа структури СПНС), яка буде задовольняти критерію оптимізації (1.1) та обмежень (1.2-1.5).

Побудова системи прогнозування нештатних ситуацій на борту повітряного судна являє собою сукупність методичних підходів, математичних моделей, методів і методик (рис. 1).

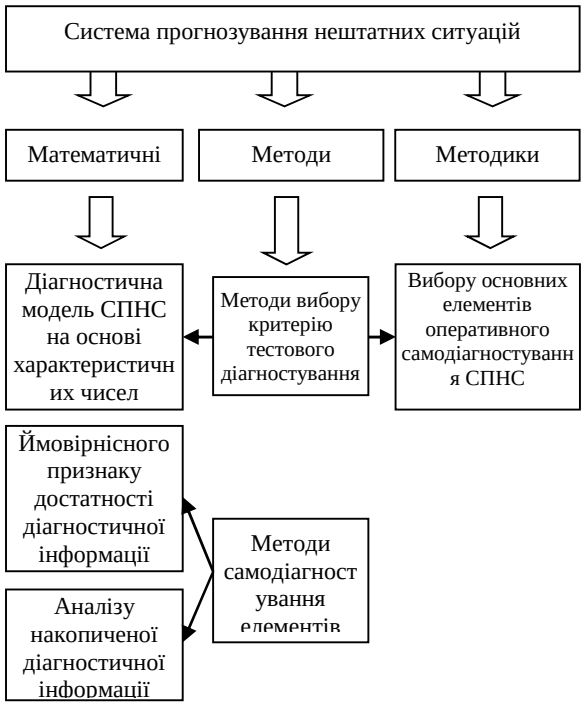

Рис. 1 Система прогнозування нештатних ситуацій

Якість функціонування системи тісно переплітається з поняттям функціональної стійкості систем, так як сутність принципів функціональної стійкості систем полягає в збереженні виконання функцій всією системою, можливо зі зниженням якості, при дії на неї внутрішніх (відмови, збої) і зовнішніх (пошкодження, навмисні пошкодження, помилки обслуговуючого персоналу) впливів.

Забезпечення якості функціонування системи пропонується здійснювати за рахунок раціонального введення надлишковості ліній зв'язку між структурними елементами системи.

Стратегія реалізації синтезу СПНС полягає в наступному. На етапі проектування забезпечення функціональної стійкості здійснюється введенням структурної, апаратної, програмної та часової надмірності. Для цього визначається оптимальна (за критерієм максимуму якості функціонування системи) структура системи прогнозування нештатних ситуацій, що характеризується надлишковістю ліній зв'язків між елементами системи з метою створення альтернативних маршрутів передачі інформації. В програмне забезпечення системи прогнозування нештатних ситуацій, встановлених на борту повітряного судна, вводиться програмна і часова надмірність для вирішення задач контролю і діагностування технічного стану елементів систем ПС.

На етапі експлуатації здійснюється функціонування в штатному режимі, при якому СПНС виконує призначені їй функції. Система контролю і діагностування виконує постійний контроль елементів системи тестовими методами [6]. При виявленні розходження параметрів роботи систем літака між величиною взятою з бази знань штатної роботи системи і її станом на момент тесту, тенденції і темпу зміни параметру, приймається рішення щодо можливої появи відмови, пошкодження або збою. Здійснюється локалізація елементу, параметри роботи якого вийшли за межі обмеження, змінюється структура проходження інформації шляхом корегування таблиць маршрутизації, видача інформації про виявлені відмови на дисплей командиру літака для ініціювання процесу прийняття рішення на предмет працездатності елементу системи або підсистем повітряного судна і достовірності інформації від них. Під час відновлення СПНС функціонує з використанням альтернативних, резервних маршрутів. Після відновлення відбувається коректування таблиць маршрутизації і відповідна зміна структури СПНС [6].

Таким чином, структура СПНС є динамічно змінюваною в процесі виявлення і встановлення фактів порушення функціонування підсистем. При цьому функціонування системи не порушується, і

вона постійно виконує свої основні функції, можливо, зі зниженням якості за рахунок зменшення ступеня надмірності при реструктуризації. Для членів екіпажу, при незначних відхилення параметрів систем літака від штатних їх параметрів, події настання відмов і процес відновлення залишаються непомітними .

Аналіз різних видів діагностування [7] допоміг визначити особливості організації системи діагностування [6]:

- відсутність розкладу проведення елементарних перевірок внаслідок випадкового характеру їх виконання;
- постійне відстеження поточної структури перевірочних зв'язків та синдрому кожним елементом системи;
- в кожен момент часу в ролі діагностичного ядра виступає тільки один елемент системи, а саме – перевіряючий. Таким чином, по мірі виконання елементарних перевірок ядро буде блукати по системі. Звідси назва "блукаюче ядро";
- можливість завдання необхідної достовірності діагностування, при цьому елементарні перевірки будуть виконуватися до тих пір, поки не буде досягнута задана достовірність.

Таким чином найбільш раціональним є метод самоконтролю і самодіагностування, що оснований на блукаючому діагностичному ядрі.

Висновки

1. Впровадження системи прогнозування нештатних ситуацій на борту повітряного судна дасть змогу спрогнозувати та попередити відмову ще до прояву її негативних наслідків.

2. Якщо вчасно виявити зміни параметрів, що передують повній відмові, то можна прийняти відповідні заходи щодо усунення відмови, яка може призвести до нештатної ситуації.

3. Існуючі методи та моделі, які можна використовувати для виявлення збоїв, що призводять до нештатної ситуації мають певні недоліки при застосуванні їх для розробки системи прогнозування нештатних ситуацій на борту повітряного судна

4. Синтез розподіленої структури системи прогнозування нештатних ситуацій по критерію максимуму фунціоналу якості системи є шляхом по усуненню виявлених недоліків.

5. Розроблено ряд методів синтезу розподілених структур, проте дані методи мають обмеженість внаслідок розгляду та дослідження певних класів структур. Внаслідок цього існуючими методами неможливо синтезувати розподілену структуру прогнозування нештатних ситуацій за критерієм, який не може бути виражений аналітичною залежністю в квадратурах.

6. На сьогодні загострилося протиріччя між необхідністю сталого функціонування розподілених систем прогнозування нештатних ситуацій в умовах мінімуму часу і можливостями існуючих методів забезпечення функціональності системи.

7. Розробки методів та моделей синтезу системи прогнозування нештатних ситуацій на основі введення структурної, програмної та часової достатності; підвищення показників ймовірності прогнозу виникнення нештатних ситуацій на борту повітряного судна є незаперечно важливою задачею.

8. Раціональним є метод самоконтролю і самодіагностування, що оснований на блукаючому діагностичному ядрі

Список літератури

1. *Биргер И.А. Техническая диагностика. / И.А. Биргер. М.: Машиностроение, 1978. 420 с.*

2. *Игнатьев А.А. Основы технической диагностики автоматизированных систем машиностроения. / А.А. Игнатьев, Ю.С. Филиппов. Саратов: СГТУ, 2001.68 с.*

3. *Иыуду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем. / К.А. Иыуду. М.: Высш школа, 1989. 216 с.*

4. *Янбых Г.Ф. Эттипгер Б.Я. Методы анализа и синтеза сетей ЭВМ. – Л.: Энергия, 1980. – 96*

5. *Андрусяк А.І., Дем'янчук В.С., Юр'єв Ю.М. Мережа авіаційного електрозв'язку. – К.: НАУ, 2001. – 446*

6. *Машков В.А., Барабаш О.В. Самоконтроль и самодиагностирование модульных систем по принципу блуждающего диагностического ядра // Электронное моделирование. – К.: НАН Украины, 1997. – Т. 19, № 1. – С. 41–49.*

7. *Барабаш О.В., Чмут О.В. Алгоритм пошуку найкоротших маршрутів у мережі передачі даних автоматизованої системи управління. // Мат-ли Першої наук.-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*

Надійшла до редколегії 07.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ПОСТАНОВКА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

Н.И. Кушнерова

В статье описаны некоторые существующие методы и модели, которые возможно использовать для предупреждения нештатной ситуации и методы синтеза распределенных систем, выделены их положительные качества и недостатки. Представлена формализованная постановка синтеза оптимально распределенной структуры системы прогнозирования нештатных ситуаций. Также описана математическая модель структуры распределенной системы прогнозирования нештатных ситуаций, которая характеризуется максимальным уровнем функциональности $F_{СПНС,}$ что зависит от вероятности связности P_{ij}, при заданных ограничениях на затраты для создания и эксплуатации системы, а также другие параметры функционирования системы. Описаны пути обеспечения функциональной устойчивости системы.

***Ключевые слова**: синтез, распределенная структура, функциональная устойчивость, прогнозирование, нештатная ситуація.*

A FORMALIZED STATEMENT OF THE SYNTHESIS OF OPTIMAL DISTRIBUTED STRUCTURE OF THE SYSTEM OF FORECASTING OF EMERGENCY SITUATIONS

N.I. Kushnerova

The article describes some of the existing methods and models that can be used to prevent emergency situations and methods for the synthesis of distributed systems, highlights their strengths and weaknesses. Presents a formalized statement of the synthesis of optimal distributed structure of the system of forecasting of emergency situations. Also the article describes the structure mathematical model of forecasting distributed system of emergency situations, which is characterized by a maximum level of functionality, that depends on the probability of connectivity, under the given constraints on the costs for establishing and operating system, as well as other parameters of the system. Describes ways to provide added system stability.

***Keywords**: synthesis, distributed structure, functional stability, forecasting, contingency.*