

УДК 651.34

С.Г. Семенов, І.С. Зиков, В.В. Давидов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ РИЗИКІВ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ АВІАЦІЇ

Доведено актуальність питання дослідження та визначення ризиків моніторингу технічного стану авіаційної системи. Наведено новий підхід щодо проблеми оцінки ризиків і уразливості об'єкта. Розглянуто імовірнісний підхід щодо оцінки залишкового ресурсу з урахуванням виявлених дефектів. Запропоновані еквівалентні втрат при оцінці ризиків прямих або непрямих наслідків несправного технічного стану авіаційної техніки. Визначено, що завдання оцінки ризиків, пошуку дефектів і пошкоджень, а також прогнозування залишкового ресурсу за даними приладового моніторингу в математичному сенсі відносяться до категорії обернених задач, оптимальним методом вирішення яких є метод байєсівськими реконструкції з використанням апріорної інформації.

Ключові слова: ризик, моніторинг технічного стану, авіаційна техніка, безпека авіації.

Вступ

Постановка проблеми. Конституція України в ч. 1 ст. 3 проголошує людину, її життя і здоров'я, недоторканність і безпеку найвищою соціальною цінністю [3]. Відповідно до ч. 1 ст. 16 Закону України «Про транспорт», підприємства транспорту зобов'язані забезпечувати безпеку життя і здоров'я громадян, безпеку експлуатації транспортних засобів, охорону навколишнього природного середовища [4].

В Указі Президента України «Про невідкладні заходи щодо забезпечення безпеки авіації України» наголошується, що «забезпечення безпеки авіації є першочерговим завданням державного регулювання діяльності авіації України» [5].

Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті в п. 1.9 визначає безпеку, як відсутність неприпустимого ризику, пов'язаного з травмуванням або загибеллю людей, заподіянням збитків навколишньому середовищу [6]. У п. 1.5 Положення про нагляд за безпекою польотів при організації повітряного руху безпека, на наш погляд, визначена ще точніше – як стан, при якому ризик шкоди чи ушкодження обмежений до прийняттого рівня [7].

Як видно з законів, підзаконних актів та нормативних документів, аналіз та оцінка ризиків в авіаційних технічних системах – це найважливіший крок на шляху управління ризиками в цій галузі.

Аналіз літератури [1, 7, 8] дозволив відзначити блискучі приклади успіхів при системному підході щодо аналізу та управління ризиками. Однак ризики як і раніше залишаються цілком відчутними. Відмови авіаційної техніки залишаються вирішальними в 15-23% випадків катастроф. Сучасний підхід до подолання технічних відмов втілений у концепції

літака "Boeing 787" [1], в якому вперше за допомогою різного типу сенсорних мереж створена система безперервного моніторингу технічного стану (Structural Health Monitoring, SHM) найбільш навантажених елементів конструкцій і імовірнісної оцінки ризиків їх руйнування. Ці мережі включають в себе вихрострумові й ультразвукові датчики, датчики акустичної емісії, електропотенціальні та інші. З їх допомогою проводиться спостереження за напруженим станом, корозією, деградацією матеріалу, розвитком наявних дефектів.

Кінцевою метою аналізу та оцінки ризиків є визначення кількісної або якісної міри ризику по відношенню до усвідомленої загрози або до конкретної ситуації.

Визначимо, що кількісна оцінка ризиків вимагає розрахунку двох компонент ризику R: величини потенційних втрат L, і ймовірності p, того, що ці втрати будуть мати місце при певних обставинах протягом деякого проміжку часу.

Проведені дослідження показали, що ризики в авіаційній техніці (АТ) виникають внаслідок появи в ній порушень, які за ступенем небезпеки відносять до категорій дефекту, пошкодження, руйнування і відмови.

В цьому контексті вирішимо завдання оцінки ризиків по даним моніторингу технічного стану авіаційної техніки.

Основна частина

Розіберемо множину наслідків несправного технічного стану авіаційної техніки на прямі та непрямі наслідки. Завдання оцінки ризиків прямих наслідків (ПН) і непрямих наслідків (НПН) може розглядатися тільки у взаємозв'язку з впливом, що діє на об'єкт. Під прямими наслідками тут розуміються руйнування елементів конструкції, що не приводять до

руйнувань інших елементів і втрати функціональності конструкції.

НПН пов'язують з послідовними руйнуваннями інших елементів. Здатності протистояти НПН та ПН характеризуються відповідно вразливістю та робастністю конструкції. Ризик R_e , асоційований з одним конкретним впливом e , можна оцінити за допомогою добутку ймовірності виникнення цього впливу, p_e , і наслідків c_e , викликаних цією подією:

$$R_e = p_e \cdot c_e. \quad (1)$$

У запропонованому підході ризик і його наслідки оцінюються в деякому еквіваленті, що можна представити у вигляді множини

$$(r_p, m_p, e_p, i_p, v_p)_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де r_p – втрати трудового ресурсу; m_p – втрати матеріального ресурсу; e_p – втрати енергетичного ресурсу; i_p – втрати ресурсу інфраструктури, v_p – вартість «екологічного навантаження» на навколишнє середовище.

Заходи і правила безпеки повинні бути гнучкими і відповідати оцінюваній ступені загрози, яка може варіюватися залежно від змінюваних чинників. При наявності конкретної загрози слід застосувати вибіркові та заздалегідь встановлені превентивні заходи безпеки в залежності від характеру загрози. Розглянемо можливості оцінки ризиків технічного стану авіаційної техніки за даними моніторингу.

Нехай c_i характеризує наслідки кожного наступного i -го стану, який може статися, тільки якщо перед цим був стан n . Імовірність i -го стану як наслідку стану n згідно з формулою Байєса [2] дорівнює умовній ймовірності

$$p(i) = p(i|n) = \frac{p(i) \cdot p(n|i)}{p(n)}. \quad (3)$$

де $p(i|n)$ – умовна ймовірність виникнення апостеріорного i -го стану (наприклад, руйнування одного або декількох елементів конструкції), якщо мав місце первинний стан n (пошкодження або руйнування іншого елемента).

Імовірність $p(i|n)$ – це так звана перехідна ймовірність між двома станами системи. Вона характеризує ймовірність послідовного переходу від одного пошкодження до іншого. Імовірність $p(i|n)$ є однією зі складових локальної уразливості системи, якщо стан $i \neq I$ не тягне за собою повне руйнування конструкції, останнє ідентифікується як стан I .

Інакше ймовірність $p(I|n)$ є однією зі складових глобальної вразливості системи, а величина $p(I|n)$ – однієї із складових її робастності.

Математичний опис визначень уразливості і робастності наведено як:

$$I_{\text{ПН}} = \frac{R_{\text{ПН}}}{C_{\text{ПН}}}, \quad (4)$$

$$I_R = \frac{R_{\text{ПН}}}{R_{\text{ПН}} + R_{\text{НПН}}}. \quad (5)$$

де $I_{\text{ПН}}$ – вразливість,

I_R – робастність,

$R_{\text{ПН}}$ і $R_{\text{НПН}}$ – ризики відповідно прямих і непрямих наслідків,

$C_{\text{ПН}}$ – вартість прямого ризику (наслідків).

Метою моделювання системи моніторингу є визначення функції розподілу перехідних ймовірностей при наявності заданого набору показань сенсорів і заданої апріорної ймовірності порушення цілісності.

Правомірно припустити, що послідовність станів елементів дослідження є марківською, оскільки кожний подальший стан системи залежить тільки від поточного стану і не залежить від передісторії [2].

Нехай початкові ймовірності станів і матриця перехідних ймовірностей відомі. Тоді ймовірності конкретних станів обчислюються за рекурентною формулою:

$$P_r(j) = \sum_{l=1}^L P_r(j-1) \cdot \|P_{r,l}\|, \quad (6)$$

де $P_r(j)$ – ймовірність стану j ; $\|P_{r,l}\|$ – матриця перехідних ймовірностей.

Очевидний шлях для побудови метамоделі в поданні динаміки поведінки об'єкта у вигляді марківської послідовності (моделі).

Для отримання множини перехідних ймовірностей на етапі проектування авіаційної техніки проводиться вибір граничних станів і моделювання поведінки системи при різних критичних впливах, в результаті чого складається матриця перехідних ймовірностей, оцінюються ймовірності небезпечних станів, ризики, вразливість і робастність, і, нарешті, визначається оптимальний набір сенсорів.

У загальному вигляді завдання оптимізації сенсорного набору може бути сформульована в байєсівській постановці [1, 2]:

$$\max P(D|A_r) = \frac{P(A_r|D) \cdot P(D)}{P(A_r)}.$$

де $P(D|A_r)$ – умовна ймовірність виявлення прогнозованого дефекту.

При функціонуванні системи моніторингу вимірюються поточні значення параметрів вимірю-

вання, обчислюються їх прирощення, часовий і просторовий розподіл збільшень, а також власні частоти коливань конструкції і інші характеристики, за якими проводять оцінку ймовірного місця розташування і вид дефекту.

Далі йде етап моделювання.

Обчислюються фактичні перехідні ймовірності та ймовірності станів, які є основою при визначенні поточної надійності елементів конструкції авіаційної техніки.

При більш глибокому аналізі можливо ситуаційне моделювання ризиків прямих і непрямих наслідків і оцінка залишкового ресурсу.

Висновки

В статті доведено актуальність питання дослідження ризиків моніторингу технічного стану авіаційної техніки.

Визначено, що завдання оцінки ризиків, пошуку дефектів і пошкоджень, а також прогнозування залишкового ресурсу за даними приладового моніторингу в математичному сенсі відносяться до категорії обернених задач, оптимальним методом вирішення яких є метод байєсівськими реконструкції з використанням апріорної інформації. Особливістю є відновлення цих характеристик з безперервного потоку даних моніторингу, представленого в матричному вигляді.

Пропонується спосіб побудови моделей як марківської послідовності взаємозв'язку між станами об'єкта авіаційної техніки і станами системи моніторингу.

В цьому випадку основним етапом моделювання є розрахунок перехідних ймовірностей об'єкта та системи моніторингу з одного стану в інше.

Список літератури

1. Венгринович В.Л. Мониторинг технического состояния. Анализ рисков в технических системах / В.Л. Венгринович // *Неразрушающий контроль и диагностика*. – 2014. – № 2. – С. 3-25.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
3. Конституція України: прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 року // *Відомості Верховної Ради України*. - 1996. - № 30. - Ст. 141.
4. Про транспорт: Закон України від 10 листопада 1994 р., № 232/94-ВР // *Відомості Верховної Ради України*. – 1994. – № 51. – Ст. 446.
5. Про невідкладні заходи щодо забезпечення безпеки авіації України: Указ Президента України від 15 січня 1998р. № 17/98 // *Урядовий кур'єр*. – 1998. – № 13-14.
6. Про затвердження Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті: наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації від 25.11.2005 р. № 895 // *Офіційний вісник України*. – 2005. – № 51. – Ст. 3230.
7. Про затвердження Положення про нагляд за безпекою польотів при організації повітряного руху: наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації від 05.12.2005 р. № 917 // *Офіційний вісник України*. – 2005. – № 52. – Ст. 3377.
8. Семенов С.Г. Розробка загальної структури ідентифікаційних вимірів з використанням окремих ймовірно-часових характеристик сигналів / С.Г. Семенов, О.В. Петров, С.О. Єнгаличев // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2011. – Вип. 1 (25). – С. 146-149.
9. Філіппов А.В. Безпека цивільної авіації як комплексне поняття / А.В. Філіппов // *Наукові праці Національного авіаційного університету. Юридичний вісник. Повітряне і космічне право*. – 2007. – № 3 (4). – С. 21-26.

Надійшла до редколегії 29.07.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.О. Можаяєв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКОВ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ АВИАЦИИ

С.Г. Семенов, И.С. Зыков, В.В. Давыдов

Доказана актуальность вопросов исследования и определения рисков мониторинга технического состояния авиационной системы. Приведен новый подход к проблеме оценки рисков и уязвимости объекта. Рассмотрен вероятностный подход к оценке остаточного ресурса с учетом выявленных дефектов. Предложены эквиваленты потерь при оценке рисков прямых или косвенных последствий неисправного технического состояния авиационной техники. Определено, что задача оценки рисков, поиска дефектов и повреждений, а также прогнозирования остаточного ресурса по данным приборного мониторинга в математическом смысле относятся к категории обратных задач, оптимальным методом решения которых является метод байесовской реконструкции с использованием априорной информации.

Ключевые слова: риск, мониторинг технического состояния, авиационная техника, безопасность авиации.

STUDY OF RISK MONITORING OF TECHNICAL STATE AVIATION FACILITIES

S.G. Semenov, I.S. Zykov V.V. Davydov

The urgency of the research questions and identifying risk monitoring of the technical state of the aviation system. An new approach to the assessment of risks and vulnerabilities of the object. Considered a probabilistic approach to the assessment of the residual resource, taking into account the identified defects. Proposed equivalents losses in assessing the risks of direct or indirect consequences of faulty technical condition of aircraft. It was determined that the problem of the risk assessment, finding defects and damages, as well as the prediction of residual life of the instrument according to monitoring in the mathematical sense, belong to the category of inverse problems, the best way to solve them is the method of reconstruction using Bayesian a priori information.

Keywords: risk, monitoring the technical condition of aircraft, aviation safety.