

УДК 629.7.017.1

Застосування математичних моделей для визначення параметрів надійності високонавантажених конструкцій літальних апаратів

Комаров В.О.

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, м. Київ, Україна

Анотація: Проведено порівняльний аналіз використання математичних розрахункових методів надійності, який дозволяє зробити конкретні рекомендації щодо підвищення надійності літального апарату. Дослідження цих математичних моделей дозволяє зробити конкретні рекомендації щодо підвищення надійності літального апарату. Надійність недостатньо визначити на якісному рівні, потрібно вміти оцінювати її кількісно і порівнювати різні конструктивні елементи вимірюваного об'єкта за їх надійністю. Для цього вводяться критерії і показники властивостей надійності, які кількісно характеризують певні характеристики об'єкта, що обумовлюють його надійність. Для більш ефективного рішення задач щодо підвищення надійності літального апарату створюються математичні моделі, які більш точно відображають процеси функціонування досліджуваних реальних технічних систем. Показано, що моделі відновлюваності можна підбирати окремо для кожного конструктивного елемента конструкції, що діагностується.

Ключові слова: літальні апарати, математична модель, надійність, технічна система

Проблема надійності літальних апаратів (ЛА) є ключовою з моменту виникнення авіації. Особливо роль надійності зросла в останні роки через створення і установку на літаки складних технічних систем. Тому ретельне опрацювання питань надійності на всіх етапах, починаючи від проектування і виробництва ЛА і закінчуючи випробуваннями і експлуатацією, стала абсолютною необхідною.

На всіх етапах важко переоцінити роль теорії надійності, що забезпечує обґрунтоване прийняття рішень в процесі забезпечення і підвищення надійності. Основним завданням математичної теорії надійності є створення математичних моделей, що за можливістю більш точно відображають процеси функціонування досліджуваних реальних технічних систем. Під математичною моделлю будемо розуміти систему математичних рівнянь і логічних правил, користуючись якими можна отримати залежність обраного критерію надійності від усього різноманіття факторів, що впливають на надійність. Дослідження цих математичних моделей дозволяє зробити конкретні рекомендації щодо підвищення надійності літального апарату.

Природно, що та чи інша математична модель відображає ступінь пізнання технічної системи. Більш глибоке дослідження системи дозволяє будувати модель, яка більш відповідає реальній системі. Така модель виходить, як правило, більш складною. Але більш складна математична модель вимагає більш детальних вихідних даних, з одного боку, і більш тонких методів математичного дослідження - з іншого. І хоча, здавалося б, таке уточнення математичної моделі є бажаними і навіть необхідним для більш точного вивчення досліджуваного об'єкта, виникає далеко не просте запитання про доцільність точності математичної моделі досліджуваної системи.

Справа у тому, що завданням складання математичної моделі надійності є можливість визначення тих чи інших кількісних характеристик, що відображають якісну сторону функціонування реальної системи. Щоб отримати кількісні результати, користуються вихідними даними, що одержуються експериментальним шляхом, які не є, в силу різних причин, досить достовірними. Крім того, якщо математична модель надійності складна, то доводиться вдаватися до різних обчислювальних методів, що призводить до неминучих похибок (наприклад, чисельні методи наближеного обчислення). Ці два фактори - недостовірність (або неточність) вихідних даних в похибках обчислювальних методів - можуть звести нанівець всі ті переваги, яких намагаються домогтися, створюючи дуже точну

математичну модель. Іншими словами, сама ж по собі «чиста» модель надійності не є самоціллю: тому точність її повинна визначатися конкретними умовами (точністю вихідної інформації, потрібною точністю рішення і т.і.). Очевидно, що при допуску неточностей в математичній моделі надійності, та ще приймаючи до уваги малу достовірність вихідних статистичних даних і - як наслідок - похибки в остаточних результатах, можуть виникнути сумнівні в корисності розрахунків надійності. Тому дуже важливо зрозуміти, коли і для чого потрібні розрахунки надійності [1].

По-перше, розрахунки надійності функціонування таких складних технічних систем, яким є ЛА в цілому і його складові елементи, наприклад, крило, приносять велику користь на різних етапах проектування ЛА, коли виникає питання про порівняння різних можливих варіантів і виборі найкращого з них, а на більш пізніх етапах дозволяють перевірити правильність прийнятих рішень, знайти слабкі місця і виробити певні рекомендації щодо підвищення надійності.

По-друге, розрахункові методи часто виявляються незамінними, а часом і єдиними можливими як на етапі випробування ЛА, так і при необхідності діагностування його технічного стану. У цьому випадку одним з основних способів отримання оцінки показників надійності, є розрахунковий або розрахунково-експериментальний метод.

І, нарешті, по-третє, розрахункові методи (з проведення профілактичного обслуговування по організації контролю справності авіаційної техніки) можуть забезпечити найбільш оптимальний режим експлуатації авіаційної техніки.

Слід особливо підкреслити, що з ускладненням авіаційної техніки, використання математичних розрахункових методів буде більш ефективним на всіх етапах її розробки і експлуатації, щоб забезпечити надійність літальних апаратів (ЛА).

Проблема надійності (ЛА) є ключовою з моменту виникнення авіації. Особливо роль надійності зростає в останні роки через створення і установку на літаки складних технічних систем. Тому ретельне опрацювання питань надійності на всіх етапах, починаючи від проектування і виробництва ЛА і закінчуючи випробуваннями і експлуатацією, стала абсолютно необхідною.

На всіх етапах важко переоцінити роль теорії надійності, що забезпечує обґрунтоване прийняття рішень в процесі забезпечення і підвищення надійності. Основним завданням математичної теорії надійності є створення математичних моделей, що за можливістю більш точно відображають процеси функціонування досліджуваних реальних технічних систем. Під математичною моделлю будемо розуміти систему математичних рівнянь і логічних правил, користуючись якими можна отримати залежність обраного критерію надійності від усього різноманіття факторів, що впливають на надійність. Дослідження цих математичних моделей дозволяє зробити конкретні рекомендації щодо підвищення надійності літального апарату.

Природно, що та чи інша математична модель відображає ступінь пізнання технічної системи. Більш глибоке дослідження системи дозволяє будувати модель, яка більш відповідає реальній системі. Така модель виходить, як правило, більш складною. Але більш складна математична модель вимагає більш детальних вихідних даних, з одного боку, і більш тонких методів математичного дослідження - з іншого. І хоча, здавалося б, таке уточнення математичної моделі є бажаними і навіть необхідним для більш точного вивчення досліджуваного об'єкта, виникає далеко не просте запитання про доцільність точності математичної моделі досліджуваної системи [2].

Справа у тому, що завданням складання математичної моделі надійності є можливість визначення тих чи інших кількісних характеристик, що відображають якісну сторону функціонування реальної системи. Щоб отримати кількісні результати, користуються вихідними даними, що одержуються експериментальним шляхом, які не є, в силу різних причин, досить достовірними. Крім того, якщо математична модель надійності складна, то

доводиться вдаватися до різних обчислювальних методів, що призводить до неминучих похибок (наприклад, чисельні методи наближеного обчислення).

По-перше, розрахунки надійності функціонування таких складних технічних систем, яким є ЛА в цілому і його складові елементи, наприклад, крило, приносять велику користь на різних етапах проектування ЛА, коли виникає питання про порівняння різних можливих варіантів і виборі найкращого з них, а на більш пізніх етапах дозволяють перевірити правильність прийнятих рішень, знайти слабкі місця і виробити певні рекомендації щодо підвищення надійності.

По-друге, розрахункові методи часто виявляються незамінними, а часом і єдино можливими як на етапі випробування ЛА, так і при необхідності діагностування його технічного стану. У цьому випадку одним з основних способів отримання оцінки показників надійності, є розрахунковий або розрахунково-експериментальний метод.

І, нарешті, по-третє, розрахункові методи (з проведення профілактичного обслуговування по організації контролю справності авіаційної техніки) можуть забезпечити найбільш оптимальний режим експлуатації авіаційної техніки [3].

Слід особливо підкреслити, що з ускладненням авіаційної техніки, використання математичних розрахункових методів буде більш ефективним на всіх етапах - розробки і експлуатації (включаючи бойові дії).

Для забезпечення безпеки експлуатації конструкцій, що володіють властивостями експлуатаційної живучості, розглядається необхідність розвитку нормативних вимог; спрямованих на підвищення опору утому й живучості літакових конструкцій шляхом використання принципів безпечного ресурсу, безпечного руйнування й допустимості руйнувань (при яких ЛА може виконувати бойове завдання зі зміненими (зменшеними) на величину зниження залишкової міцності від еталонної ТТХ).

Забезпечення міцності конструкцій літального апарата (ЛА) у процесі його проектування й випробувань є важливим і складним завданням. У сучасному розумінні міцність ЛА - це здатність його конструкції зберігати цілісність у всіх очікуваних умовах експлуатації протягом призначеного терміну служби. Проектування раціональної за умовами міцності конструкції ЛА є комплексним завданням, що повинне забезпечити одночасне задоволення вимогам статичної; міцності, витривалості й живучості конструкції, а також умовам безпеки від флатера, дивергенції і реверса органів керування. Основним для бойових ЛА є можливість експлуатації при наявності бойових ушкоджень.

Розробка нових технологій стендових випробувань літаків (і устаткування для цих цілей) передбачає зниження строків і вартості їхнього проведення, удосконалювання технології моделювання й відтворення умов експлуатації в лабораторних умовах, використання сучасних розрахункових методів для «доведення» конструкції [4].

Процес проведення сучасних ресурсних випробувань натурних авіаційних конструкцій досить трудомісткий і дорогий. При невдалому плануванні порядку випробувань і контролю за конструкцією велика ймовірність одержанням катастрофічних руйнувань конструкції, які можуть звести до мінімуму результати випробувань. Крім того, необхідно експериментально визначати швидкості розвитку ушкоджень у процесі навантаження конструкції від початку їхнього зародження до величин, близьких до критичних. Тому однією із цілей ресурсних випробувань авіаційних конструкцій є виявлення втомленісних ушкоджень як можна менших розмірів на ранніх стадіях їхнього розвитку при як можна менших витратах коштів і часу.

У свою чергу збільшення строків проведення випробувань визначає час затримки введення в експлуатацію авіаційної техніки й своєчасне виконання ремонтів і доробок конструкцій в бойових умовах, що істотно збільшує експлуатаційні й виробничі витрати.

Крім того, у процесі підготовки й проведення випробувань виникає ряд технічних і методичних питань, що вимагають попередньої оцінки завантаженості конструкцій у процесі випробувань для оцінки залишкової міцності при наявності ушкоджень силових конструкцій.

Висновки.

Забезпечення високого проектного ресурсу бойової авіаційної техніки належить до числа пріоритетних напрямків розвитку вітчизняного авіабудування. Досягнутий рівень науково-технічного прогресу дозволяє створювати високоресурсні конструкції й у цей час заставляються умови, при яких тривалість експлуатації сучасних бойових літаків повинна становити не менше 20 років при загальному ресурсі планера до декількох тисяч літних годин і більше. Основою для цього служить комплекс мір, застосовуваних на стадіях проектування; виготовлення й експлуатації літаків. На стадії проектування - це вибір раціональних конструктивних схем і матеріалів, прогнозування показників довговічності з використанням розрахункових схем, максимально наближених до умов експлуатації літака, із широким залученням методів математичного й фізичного моделювання, засобів і методик діагностичного контролю. На стадії виготовлення - це ретельний контроль матеріалів і комплектуючих виробів, високий рівень організації й контролю технологічних процесів, проміжні випробування елементів, вузлів і агрегатів літака. Застосування систем технічного обслуговування, що включають комплекс діагностичних і планово-профілактичних заходів; дозволяють знизити до мінімуму ймовірність не виявлення утомленісних руйнувань у процесі експлуатації літака і його експлуатацію при наявності uszkodжень (включаючи бойові). Практичне значення проблеми ресурсу досить велико й з економічної точки зору, тому що збільшення ресурсу літака приводить до істотної економії матеріалів, енергетичних і трудових витрат. Відзначені проблеми забезпечення ресурсу бойових і транспортних літаків ВПС України визначають актуальність теми розробки методів діагностичного контролю з одержанням даних про можливість експлуатації ЛА із залишковою міцністю його високоавантажених конструктивних елементів, насамперед таких, як крило.

Підтвердження ресурсу літака здійснюється за допомогою втомленісних випробувань натурної конструкції й проведенням великого обсягу чисельних досліджень і діагностичного контролю. Підвищенням якості ресурсних випробувань і скорочення їхніх строків можна домогтися проведенням, паралельно з реальним експериментом і розрахунковими дослідженнями, діагностики за допомогою розроблювальних сучасних методів діагностичного неруйнівного контролю, оснований математичних моделях, які більш точно відображають процеси функціонування досліджуваних реальних технічних систем.

Применение математических моделей для определения параметров надежности высоконагруженных конструкций летательных аппаратов

Комаров В.А.

***Аннотация:** Проведен сравнительный анализ использования математических расчетных методов надежности, который позволяет сделать конкретные рекомендации по повышению надежности летательного аппарата. Исследование этих математических моделей позволяет сделать конкретные рекомендации по повышению надежности летательного аппарата. Надежность недостаточно определить на качественном уровне, потребно уметь оценивать ее количественно и сравнивать различные конструктивные элементы измеряемого объекта с их надежностью. Для этого вводятся критерии и показатели свойств надежности, которые количественно характеризуют определенные характеристики объекта, обуславливающих его надежность. Для более эффективного решения задач по повышению надежности летательного аппарата создаются математические модели, которые более точно отражают процессы функционирования исследуемых реальных технических систем. Показано, что модели восстанавливаемости можно подбирать отдельно для каждого конструктивного элемента конструкции диагностируется.*

Ключевые слова: летательные аппараты, математическая модель, надежность, техническая система

Application of mathematical models for determination of the reliability parameters of high-loaded aircraft structures

Komarov V.O.

***Abstract:** A comparative analysis of the use of mathematical calculation methods of reliability is conducted, which allows to make specific recommendations for increasing the reliability of the aircraft. The study of these mathematical models allows us to make specific recommendations for improving the reliability of the aircraft. Reliability is not sufficiently defined at a qualitative level, it is necessary to be able to evaluate it quantitatively and to compare different structural elements of a measured object for their reliability. To do this, criteria and metrics for reliability properties are introduced that quantify certain characteristics of an object that determine its reliability. To more effectively solve the problems of increasing the reliability of the aircraft, mathematical models are created that more accurately reflect the processes of functioning of the studied real technical systems. It is shown that reproducibility models can be selected individually for each structural element of the diagnosed structure.*

***Key words:** aircraft, mathematical model, reliability, technical system*

Список літератури:

1. Основи надійності літальних апаратів: навч. посіб. / О.М. Нечипоренко. – К.: НТТУ «КПІ». 2010., 240 с.
2. Ицкович А.А. Надежность летательных аппаратов и авиадвигателей: учеб. пособие для вузов / А.А. Ицкович; Моск. ин-т инженеров гражд. авиации – М.: МНИИГА, 1990. – 104 с. – Библиогр.: с. 104.
3. Міляєв Ю.П. Основи надійності технічних систем: навч. посіб. / Ю.П. Міляєв, О.М. Нечипоренко. – К.: Видавн.-полігр. центр Акад. муніцип. управління, 2008, - 246 с. – Бібліогр.: с. 250.
4. Гнеденко Б.П. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.