

В. Ж. Яценко, В. М. Онищенко

## МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КРИТИЧНИХ МІСЦЬ КОНСТРУКЦІЇ ЗВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ АЕРОПРУЖНОСТІ ТА БОРТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** Аналізується можливість моніторингу технічного стану конструкції на основі використання математичних моделей аеропружності для визначення навантаження, напружено-деформованого стану силових елементів, міцності та витрати ресурсу планера в польоті через використання даних бортових реєстраторів та вбудованих в силову систему конструкції датчиків (сенсорів). Описано стратегію технічного обслуговування повітряних суден за допомогою отриманих даних. Розглянута стратегія дозволяє експлуатувати виробі без обмежень викликаних проведенням безперервного або періодичного контролю технічного стану в польоті і на землі. Стратегія базується на докладному аналізі інформації про технічний стан конструкції та його критеріїв передвідмовного стану.

**Ключові слова:** *математичні моделі аеропружності, навантаження конструкції, перевантаження, пружні коливання, напружено-деформований стан, силові елементи, міцність, ресурс, планер, датчики.*

**Abstract.** *The article considers possibilities of monitoring technical conditions of an airframe on the basis of the mathematical model of aeroelasticity in order to determine the load, the stress-strain state of the power elements, the strength, and resource consumption of an aircraft in-flight through analyzing the data from recorders and sensors built into the on-board power system. The strategy of aircraft maintenance in accordance with the recorded data is described. Such a strategy allows to operate the aircraft without restrictions caused by continuous or periodic inspection of its technical condition in-flight and on the ground. The strategy is based on the in-depths study of the aircraft's technical condition and its pre-failure condition criteria.*

**Key words:** *mathematical models of aeroelasticity, aircraft load, overload, elastic oscillations, stress-strain state, power elements, strength, recourse, airframe, sensors*

Для підтримання заданого рівня надійності та боєготовності авіаційної техніки (АТ) в процесі її експлуатації одним з важливих та малодосліджених складових життєвого циклу ПС є оперативне визначення спектру навантаження основних силових елементів планера, а також обчислення та індивідуальний облік витрачання ресурсу конструкції ПС. На різних етапах польоту літак піддається різного роду змінним навантаженням.

Дані щодо навантаження конструкції необхідні для визначення критичних місць в конструкції, які небезпечні з позицій утворення та розвитку багатоосередкового пошкодження та темпу витрати ресурсу ПС, а також для розробки методології інспектування парку повітряних суден та надійного визначення дефектів в критичних місцях конструкції та обґрунтування інтервалів у оглядах.

Аналіз досліджень показує, що визначення історії експлуатаційного навантаження в режимі «on-line» і прогнозування остаточного ресурсу дозволяє прийняти рішення щодо стратегії технічного обслуговування (ТО) та перейти до експлуатації конкретного екземпляру ПС за фактичним технічним станом (ТС). Такі комплексні інтелектуальні системи моніторингу життєвого циклу ПС відносяться до бортових систем безперервного контролю ТС – системи Structural Health Monitoring (SHM).

Дані розрахункових методів про режими навантаження ПС дають важливу інформацію щодо технічного стану (ТС) конструкції. З'являється можливість ідентифікувати історію навантаження об'єкту контролю і ступені накопичених в ньому пошкоджень.

Бортові обчислювальні машини виробляють сигнали управління на основі інформації про задану програму польоту і реальну. Відбувається збір даних щодо параметрів технічної системи: обчислення польотної маси та моментів інерції ПС, витрати та розподілу по бакам палива,

розміщення вантажів та озброєння, визначення етапу польоту (руління, злет, набір висоти, політ по маршруту, зниження, приземлення) і т. ін. Паралельно, у реальному часі, з використанням даних датчиків о перевантаженнях ПС, кінематичних параметрів руху та вбудованих в силову систему конструкції датчиків перевантажень пружної конструкції та її деформації (лічильників ресурсу) відбувається реєстрація, ідентифікація та корегування величини і розподілу поверхневих сил, що діють на ПС. Чисельне моделювання рівнянь аеропружності ПС дозволяє детально визначити у реальному часі розрахункові параметри руху ПС, його напружено-деформований стан та темп витрачання ресурсу силових елементів.

Лічильники ресурсу встановлюються на борту в критичних зонах конструкції. Для визначення критичних зон використовуються експериментальні дані та результати розрахункової моделі аеропружності.

Розрахунковий аналіз дозволяє проводити широкі параметричні дослідження і аналізувати закономірності та особливості навантаження пружного літального апарата. Умовою застосування цього методу є сформовані математичні моделі функціонування ЛА і наявність інформації щодо літального апарата – його масово-інерційних, жорсткісних та аеродинамічних характеристик.

Математичні моделі аеропружності ПС, як показує досвід їх використання, дозволяють достатньо точно описати динаміку руху конструкції, її деформування та навантаження. Вона базується на нестационарній аеродинаміці та динаміці польоту, автоматичі та теорії систем управління, будівельної механіки ЛА та теорії пружності. Тому цю проблему природно називати аероавтопружністю.

При побудові ММ аеропружності ЛА деформація конструкції розкладається за власними функціями, що відображають пружні властивості конструкції в інтегральному сенсі. Пружні коливання і деформацію літака розраховують на основі методу заданих форм – деформацію ЛА розкладають за симетричними та косиметричними формами вільних коливань конструкції.

Результати моделювання динамічного навантаження транспортного літака розглянемо на прикладі дії атмосферної турбулентності.

Змінна у часі аеродинамічна сила збуджує пружні коливання конструкції. Максимальне перевантаження на кінці та середині крила в залежності від тривалості пориву і запасу статичної стійкості літального апарату зображено на рис. 1.

При дії вертикального пориву на ЛА в процесі короткоперіодичного руху змінюються кути атаки, тангажу і нахилу траєкторії. Статично стійкий літак здійснює затухаючі коливання як тверде тіло з частотою 0.55 Гц. Під час дії пориву вважаємо, що льотчик не втручається в управління.

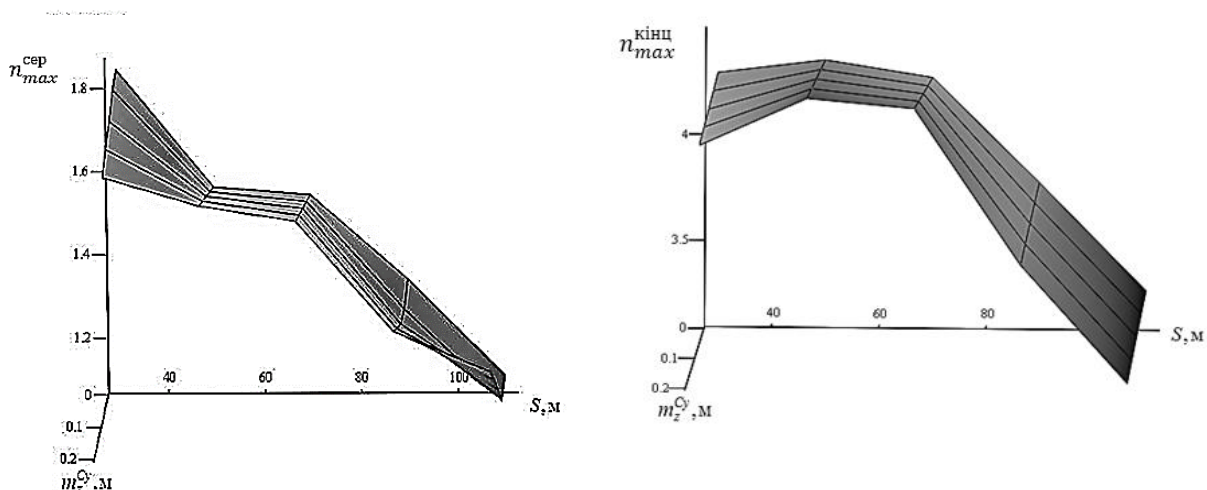


Рис. 1. Зміна максимального перевантаження на кінці та середині крила

Розрахункові дані дозволяють визначити небезпечні місця в конструкції, оцінити частотний спектр навантаження та рівень змінних напружень.

На основі гіпотези лінійного підсумовування пошкоджень з'являється можливість оперативної оцінки витрачання ресурсу конструкції, а також проводити широкі параметричні дослідження щодо впливу дій льотного складу та умов експлуатації на навантаження літака.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Онищенко В.М., Яценко В.Ж. Використання математичних моделей аеропружності та бортових інформаційних систем для оцінки навантаження планера повітряного судна і ресурсу конструкції. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації, №18 (25) (2022), с. 91-97.

2. Онищенко В.М. Динамічна реакція та стійкість пошкодженої конструкції транспортного літака. Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун -та им. Н. Е. Жуковского "Харьков. авиац. ин-т". – Вып.85. – Харьков, 2020. –С. 165...169.

***Яценко Володимир Жоржевич*** – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: zhorzhevich71@ukr.net.

***Онищенко Володимир Михайлович*** – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: vladimironisenko83@gmail.com.

***Volodymyr Yachenok*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; head of the department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: zhorzhevich71@ukr.net.

***Volodymyr Onishchenko*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Design and Strength of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: vladimironisenko83@gmail.com.