

ZAGADNIENIA WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI LOTNICZYCH

Henryk Kopecki, Tomasz Kopecki, Łukasz Święch



podręcznik

słowa kluczowe: *wytrzymałość konstrukcji lotniczych, struktury cienkościenne, stateczność, badania doświadczalne*

© Copyright by Oficyna Wydawnicza
Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2023

ISBN 978-83-7934-648-6

371 stron

format B5

oprawa miękka

Intensywny rozwój elektronicznej techniki obliczeniowej ukonstytuował szerokie spectrum formułowania i rozwiązywania problemów mechaniki konstrukcji. Sfera obliczeń inżynierskich obejmuje coraz bardziej złożone, dotychczas nierozwiązywane problemy mechaniki oparte na założeniach uwzględniających nieliniowość związków fizycznych i geometrycznych. Metody i ujęcia numeryczne, wspomagane grafiką komputerową niemal zupełnie wyeliminowały tradycyjne metody wykreślne. Zaistniała możliwość korzystania z obszernego zbioru oferowanych materiałów konstrukcyjnych o programowanych właściwościach fizycznych.

Dynamicznie rozwinęły się badania eksperymentalne wspomagane osiągnięciami współczesnej elektroniki, optoelektroniki, chemii tworzyw oraz wielu dziedzin pokrewnych. Trwa nieskrywana rywalizacja poszczególnych dyscyplin techniki, wśród których dziedzinami o znaczeniu pierwszorzędym są lotnictwo i kosmonautyka, dla których dominującą maksymą stała się dążność do konstruowania ustrojów nośnych o coraz korzystniejszym wskaźniku wyrażającym stosunek masy użytecznej do masy całkowitej, przy jednoczesnym spełnianiu rosnących wymogów w zakresie trwałości i niezawodności ustroju.

Publikacja prezentuje problematykę z zakresu wytrzymałości struktur lotniczych obejmującą zagadnienia statyki, stateczności oraz stanów deformacji zakrytycznych, dopuszczalnych w warunkach eksploatacji statków powietrznych. W celu ułatwienia poznawania przedstawionego materiału przywołano ciąg zależności podstawowych z zakresu teorii sprężystości. Wiele zagadnień zapisano w ujęciu macierzowym. Przedstawiono również niektóre zagadnienia badań doświadczalnych konstrukcji lotniczych.

Podręcznik jest kierowany w głównej mierze do studentów Politechniki Rzeszowskiej specjalności lotniczych, a także do inżynierów i studentów specjalizujących się w problemach obliczeń i badań wytrzymałościowych cienkościennych ustrojów nośnych.

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE

1. SPRĘŻYSTOŚĆ

1.1. Stan naprężenia

1.1.1. Definicje

1.1.2. Płaski stan naprężenia

1.1.3. Warunki brzegowe

1.1.4. Naprężenia w przekroju ukośnym

1.2. Stan odkształcenia

1.2.1. Definicje

1.2.2. Warunki ciągłości odkształceń

1.2.3. Płaski stan odkształcenia

1.3. Równania konstytutywne

1.4. Uwzględnianie wpływu temperatury

2. METODY ENERGETYCZNE W ANALIZIE KONSTRUKCJI

2.1. Energia odkształcenia i energia komplementarna

2.2. Całkowita energia potencjalna układu

2.3. Zasada prac wirtualnych (przygotowanych)

2.4. Zasada zachowania całkowitej energii potencjalnej

2.5. Zasada zachowania całkowitej energii komplementarnej

2.6. Metody energetyczne w zastosowaniu do analizy ustrojów jednowymiarowych

2.7. Ustroje statycznie niewyznaczalne

2.8. Równania Maxwella–Mohra (równania kanoniczne metody sił)

2.9. Ramy

2.9.1. Definicja ramy

2.9.2. Ramy jednoobwodowe ściśle płaskie

2.10. Rozkład obciążenia na część symetryczną i antysymetryczną

3. ANALIZA KONSTRUKCJI W UJĘCIU MACIERZOWYM

3.1. Sformułowanie problemu

3.1.1. Wprowadzenie

3.1.2. Jednowymiarowe struktury przestrzenne

3.1.3. Analiza macierzowa elementu poddanego zginaniu i ścinaniu

3.2. Metoda Elementów Skończonych

3.2.1. Wprowadzenie

3.2.2. Macierz sztywności elementu trójkątnego

3.2.3. Element czterowęzłowy

3.2.4. Elementy trójwymiarowe

3.3. Geometryczna nieliniowość w ujęciu MES

4. USTROJE WARSTWOWE

4.1. Wprowadzenie

4.2. Właściwości sprężyste materiału anizotropowego

4.3. Transformacja układu współrzędnych

4.4. Laminat – rodzaj kompozytu

4.5. Konstrukcje przekładkowe

4.5.1. Rozwiązania konstrukcyjne

4.5.2. Równania podstawowe

5. ZGINANIE PŁYT PROSTOKĄTNYCH

5.1. Czyste zginanie płyty

5.2. Zginanie i skręcanie płyty

5.3. Płyta poddana obciążeniu poprzecznemu

5.4. Warunki brzegowe

5.5. Rozwiązanie – metoda analityczna

5.6. Złożony stan obciążenia

5.7. Metoda energetyczna

6. MODELE STRUKTURALNE USTROJÓW NOŚNYCH

6.1. Umowny podział ustrojów

6.2. Model pręta cienkościennego

6.2.1. Założenia

- 6.2.2. Skręcanie prętów cienkościennych
- 6.2.3. Skręcanie swobodne profili otwartych
- 6.2.4. Skręcanie swobodne wieloobwodowych prętów cienkościennych
- 6.2.5. Cienkościenny pręt obciążony momentem gnącym i siłą normalną
- 6.2.6. Przenoszenie sił tnących przez otwarte struktury prętowe
- 6.2.7. Przenoszenie sił tnących przez jednoobwodowe struktury prętowe
- 6.2.8. Przenoszenie sił tnących przez wieloobwodowe pręty cienkościenne
- 6.2.9. Skręcanie nieswobodne prętów o profilu otwartym
- 6.2.10. Pręt cienkościenny ze zbieżnością
- 6.3. Statyka tarcz i brył cienkościennych
 - 6.3.1. Założenia
 - 6.3.2. Tarcze statycznie wyznaczalne
 - 6.3.3. Trójwymiarowe struktury statycznie wyznaczalne
 - 6.3.4. Złożone ustroje statycznie wyznaczalne
- 6.4. Konstrukcje statycznie niewyznaczalne
- 6.5. Ustroje wielosegmentowe
- 6.6. Analiza ustrojów brytowych w stanach deformacji zakrytycznej
- 6.7. Konkluzje

7. STATECZNOŚĆ

- 7.1. Eulerowska formuła wyboczenia
- 7.2. Wyboczenie niesprężyste prętów prostych
- 7.3. Wpływ imperfekcji
- 7.4. Pręt obciążony mimośrodowo
- 7.5. Stateczność prętów pod obciążeniem osiowym i poprzecznym
- 7.6. Wyznaczanie obciążeń krytycznych metodą energetyczną
- 7.7. Wyboczenie giętno-skrętne – wyniki rozważań
- 7.8. Stateczność płyt
- 7.9. Wyboczenie lokalne prętów cienkościennych
- 7.10. Stateczność płyt uźebrowanych
- 7.11. Naprężenie niszczące w płytach
- 7.12. Szczególne postaci zniszczenia
- 7.13. Praca ścinanej płyty po utracie stateczności. Pole ciągnięć

8. ZDATNOŚĆ DO LOTU

- 8.1. Wprowadzenie
- 8.2. Obciążenia w locie
- 8.3. Zjawiska aerosprężyste (aeroelastyczne)
- 8.4. Kryteria bezpieczeństwa w projektowaniu
- 8.5. Właściwości materiałów konstrukcyjnych determinujące zachowanie wymaganego bezpieczeństwa

9. STATYKA MODELOWA

- 9.1. Podobieństwo modelowe
- 9.2. Analiza wymiarowa

10. BADANIA DOŚWIADCZALNE KONSTRUKCJI LOTNICZYCH

- 10.1. Badania statyczne
- 10.2. Badania rezonansowe
- 10.3. Funkcja inżynierii odwrotnej
- 10.4. Polowe metody doświadczalnej analizy stanu odkształcenia i naprężenia elementów struktury nośnej

WYKAZ LITERATURY