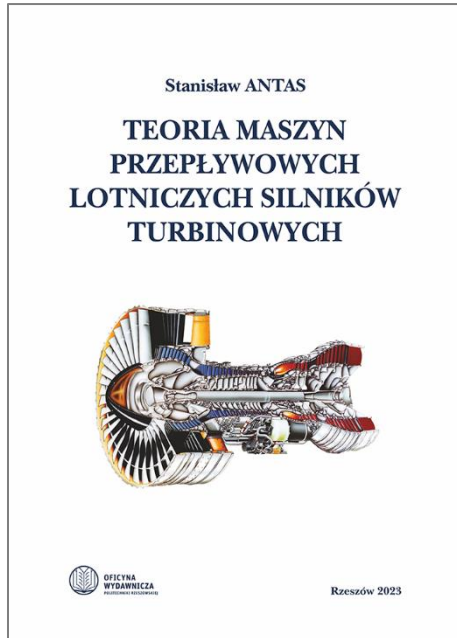


TEORIA MASZYN PRZEPŁYWOWYCH LOTNICZYCH SILNIKÓW TRUBINOWYCH

Stanisław Antas



monografia

słowa kluczowe: *maszyny przepływowe, lotnicze silniki turbinowe*

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2023

ISBN 978-83-7934-645-5

623 strony

format B5

oprawa twarda

Teoria maszyn przepływowych jest nauką stosowaną, opartą w swych rozważaniach na naukach podstawowych, takich jak: termodynamika, mechanika płynów i dynamika gazów. Jej fundamenty stanowią nie tylko nauki podstawowe, lecz głównie teoria zespołów i podzespołów lotniczych silników przepływowych: sprężarek, turbin oraz dyfuzorów i dyszy. Charakterystyki lotniczych silników turbinowych w danych warunkach lotu są zależne od osiągnięć pracujących w ich układzie sprężarki wirnikowej oraz turbiny. W ramach teorii tych silników stawia się maszynom przepływowym określone wymagania. Teoria maszyn przepływowych określa zatem metody ich projektowania, które umożliwiają spełnienie tych wymagań oraz bada zmiany osiągnięć tych maszyn przepływowych w warunkach pracy nieobliczeniowej. Podane w monografii relacje są równaniami liczbowymi, do których należy podstawiać wartości liczbowe wielkości fizycznych w jednostkach miary układu SI. Aby ułatwić zrozumienie i posługiwanie się tymi równaniami, załączono wiele ich wyprowadzeń oraz wykaz ważniejszych oznaczeń. Niniejsza praca jest przeznaczona dla pracowników naukowych, doktorantów, inżynierów oraz studentów posiadających wspomniane przygotowanie.

Układ monografii i zawartą w niej treść starano się ułożyć w logiczną całość, przedstawioną w kolejności ułatwiającej zrozumienie zasad pracy i obliczeń przepływowych. Zarówno treść, jak i materiał ilustracyjny opracowano w taki sposób, aby stanowiły wystarczającą pomoc w poznaniu teorii maszyn przepływowych wymienionych silników. Jednocześnie wykaz literatury zawiera 334 pozycje źródłowe, umożliwiając Czytelnikowi pogłębienie podanych tutaj wiadomości. Tamże za pomocą odsyłaczy kieruje się zainteresowanych.

Niniejsza monografia jest rezultatem wieloletniego doświadczenia autora jako wykładowcy przedmiotów „maszyny przepływowe” na studiach stacjonarnych oraz „silniki lotnicze” na studiach podyplomowych Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Doświadczenie to wzbogacone było badaniami teoretycznymi i eksperymentalnymi zjawisk występujących w sprężarkach i turbinach w trakcie opracowania konstrukcji lotniczych silników turbinowych na potrzeby polskiego przemysłu lotniczego.

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

WIADOMOŚCI WSTĘPNE

1. RÓWNANIA ANALIZY TERMOAERODYNAMICZNEJ

- 1.1. Wprowadzenie
- 1.2. Równanie ciągłości przepływu
- 1.3. Równanie zachowania energii dla przepływu stacjonarnego
 - 1.3.1. Wprowadzenie
 - 1.3.2. Równanie energetyczne przepływu
 - 1.3.3. Równanie pierwszej zasady termodynamiki w zastosowaniu do przepływu strumienia lepkiego
 - 1.3.4. Uogólnione równanie Bernoulliego
- 1.4. Druga zasada dynamiki Newtona
- 1.5. Równanie ilości ruchu (pędu) i momentu ilości ruchu (krętu) Eulera
- 1.6. Druga zasada termodynamiki
- 1.7. Parametry strumienia jako funkcje gazodynamiczne
 - 1.7.1. Wprowadzenie
 - 1.7.2. Parametry spiętrzenia
 - 1.7.3. Parametry krytyczne
 - 1.7.4. Funkcje gazodynamiczne

2. SPRĘŻARKI PROMIENIOWE

- 2.1. Wprowadzenie
- 2.2. Interpretacja termodynamiczna procesu sprężania w sprężarce promieniowej
- 2.3. Określenie sprawności sprężarki promieniowej
- 2.4. Schemat i zasada działania sprężarki odśrodkowej (promieniowej)
 - 2.4.1. Wprowadzenie
 - 2.4.2. Budowa wlotu sprężarki promieniowej
 - 2.4.3. Analiza termogazodynamiczna pracy wlotu sprężarki
 - 2.4.4. Przepływ strumienia powietrza przez wirnik (koło wirnikowe)
 - 2.4.5. Wyznaczanie parametrów strumienia na wejściu do wirnika
 - 2.4.6. Współczynnik zmniejszenia mocy
 - 2.4.7. Moc napędu sprężarki
 - 2.4.8. Wyznaczanie parametrów strumienia powietrza na wyjściu z wirnika
- 2.5. Przepływ strumienia powietrza przez dyfuzory
 - 2.5.1. Wprowadzenie
 - 2.5.2. Przepływ strumienia przez dyfuzor bezłopatkowy
 - 2.5.3. Wyznaczanie parametrów strumienia na wylocie z dyfuzora bezłopatkowego
 - 2.5.4. Sprawność dyfuzora bezłopatkowego
 - 2.5.5. Przepływ strumienia przez dyfuzor łopatkowy
 - 2.5.6. Parametry strumienia na wylocie z dyfuzora łopatkowego
 - 2.5.7. Odmiany konstrukcyjne łopatek dyfuzora łopatkowego
 - 2.5.7.1. Dyfuzor z pogrubionymi łopatkami
 - 2.5.7.2. Dyfuzor z łopatkami klinowymi
 - 2.5.7.3. Dyfuzor z dodatkowymi półłopatkami rozdzielającymi (splitter)
 - 2.5.8. Przepływ strumienia przez dyfuzor rurkowy
 - 2.5.8.1. Wprowadzenie
 - 2.5.8.2. Parametry geometryczne dyfuzora rurkowego
 - 2.5.8.3. Parametry strumienia na wylocie dyfuzora
 - 2.5.8.4. Badania eksperymentalne dyfuzora rurkowego
 - 2.5.9. Przepływ strumienia przez kolektor
 - 2.5.9.1. Wprowadzenie
 - 2.5.9.2. Metoda stałej cyrkulacji
 - 2.5.9.3. Metoda średniej prędkości strumienia
 - 2.5.9.4. Parametry strumienia na wylocie kolektora
 - 2.5.9.5. Uwagi końcowe
- 2.6. Układy wylotowe sprężarek promieniowych i osiowo-promieniowych
 - 2.6.1. Wprowadzenie
 - 2.6.2. Dyfuzor typu łącznika
 - 2.6.3. Osiowy dyfuzor łopatkowy
 - 2.6.4. Dyfuzor stożkowy
 - 2.6.5. Dyfuzor typu kolana

- 2.6.6. Dyfuzor zakrzywiony
 - 2.6.6.1. Wprowadzenie
 - 2.6.6.2. Parametry strumienia na wylocie dyfuzora
 - 2.6.6.3. Parametry geometryczne dyfuzora zakrzywionego
 - 2.6.6.4. Parametry strumienia w przekrojach pośrednich dyfuzora
 - 2.6.6.5. Profilowanie zarysu zewnętrznego
- 2.7. Dwustopniowe sprężarki promieniowe
- 2.8. Rotalpia
- 2.9. Parametry stanu gazu w przepływie względnym
- 2.10. Reakcyjność stopnia (udział wirnika, udział kinematyczny wirnika)

3. SPRĘŻARKI OSIOWE

- 3.1. Wprowadzenie
- 3.2. Zasada pracy stopnia sprężarki osiowej
- 3.3. Interpretacja termodynamiczna procesu sprężania w stopniu osiowym sprężarki
- 3.4. Określenie sprawności stopnia sprężarki osiowej oraz jego wieńców
- 3.5. Charakterystyczne parametry i wskaźniki stopnia sprężarki
- 3.6. Warunki równowagi promieniowej strumienia
- 3.7. Analiza parametrów kinematycznych stopnia wzdłuż promienia dla stałej wartości pracy efektywnej i pracy tarcia
 - 3.7.1. Rozkład parametrów kinematycznych na wlocie do wirnika
 - 3.7.2. Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wylocie z wieńca wirnikowego
- 3.8. Porównanie łopatek o stałej cyrkulacji i stałej reakcyjności
- 3.9. Analiza parametrów kinematycznych w osiowym stopniu sprężającym ze zmienną pracą wzdłuż wysokości łopatki $\text{lust} = \text{lust}(r) = \text{var}$
- 3.10. Podstawowe zależności aerodynamiczne dla palisady stopnia
- 3.11. Przepływ przestrzenny w palisadzie o skończonej wysokości łopatek
- 3.12. Analiza strat w osiowym stopniu sprężającym
 - 3.12.1. Współczynniki oceny dyssypacji energii w palisadach łopatkowych
 - 3.12.2. Podział strat oraz ich wyznaczenie
- 3.13. Geometria dwuwymiarowej palisady i profilu łopatek sprężarki osiowej 327
 - 3.13.1. Parametry geometryczne płaskiej palisady profili
 - 3.13.2. Parametry geometryczne profilu
- 3.14. Charakterystyki płaskich palisad łopatek
- 3.15. Wpływ liczby Macha na przebieg charakterystyki palisady
- 3.16. Profilowanie łopatek
- 3.17. Specyfika okołodźwiękowego i naddźwiękowego stopnia sprężarki osiowej
- 3.18. Wielostopniowa sprężarka osiowa
- 3.19. Schematy kanałów przepływowych wielostopniowej sprężarki osiowej
- 3.20. Charakterystyki sprężarek
- 3.21. Linia współpracy sprężarki i turbiny (linia S-TS)
- 3.22. Współczynnik oraz zapas statecznej pracy sprężarki
- 3.23. Niestateczna praca sprężarki
- 3.24. Sprężarki osiowo-odśrodkowe
- 3.25. Spręż obliczeniowy sprężarki
- 3.26. Pasywne i aktywne sposoby rozszerzania użytecznego zakresu pracy sprężarki
 - 3.26.1. Wprowadzenie
 - 3.26.2. Pasywne metody oddziaływania na pompaż
 - 3.26.3. Aktywne sterowanie przebiegiem pompażu

4. TURBINY

- 4.1. Wprowadzenie
- 4.2. Schemat i zasada działania stopnia
- 4.3. Podstawowe równania stopnia turbiny
 - 4.3.1. Wprowadzenie
 - 4.3.2. Równanie ciągłości strumienia
 - 4.3.3. Równanie zachowania energii (równanie energetyczne przepływu)
 - 4.3.4. Równanie Bernoulliego
 - 4.3.5. Równanie momentu ilości ruchu Eulera
- 4.4. Zmiany parametrów spiętrzenia i statycznych strumienia w stopniu osiowym turbiny
- 4.5. Sprawność stopnia turbiny
- 4.6. Podstawowe parametry stopnia
 - 4.6.1. Parametry geometryczne (wymiary) stopnia
 - 4.6.2. Parametry geometryczne płaskiej palisady profili

- 4.6.3. Parametry kinematyczne stopnia
- 4.7. Proces rozprężania w wieńcu dyszowym
- 4.8. Proces rozprężania spalin w wieńcu wirnikowym
- 4.9. Wypływ strumienia z palisady łopatek turbiny
- 4.10. Analiza strat energii w kanale przepływowym stopnia turbiny
 - 4.10.1. Wprowadzenie
 - 4.10.2. Zależności współczynników strat przepływu od zasadniczych parametrów palisad wieńców stopnia turbiny
 - 4.10.3. Straty wtórne
 - 4.10.4. Straty związane z przeciekami spalin przez luz promieniowy
- 4.11. Rozkład parametrów strumienia wzdłuż wysokości łopatek
 - 4.11.1. Wprowadzenie
 - 4.11.2. Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wlocie do wieńca wirnikowego (przekrój 1-1)
 - 4.11.3. Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wylocie z wieńca wirnikowego (przekrój 2-2)
- 4.12. Analiza parametrów kinematycznych w osiowym stopniu turbiny ze zmienną pracą wzdłuż wysokości łopatki wirnikowej $\text{lust} = \text{lust}(r) = \text{var} \dots 516$
 - 4.12.1. Wprowadzenie
 - 4.12.2. Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wlocie do wieńca wirnikowego (przekrój 1-1)
 - 4.12.3. Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wylocie z wieńca wirnikowego (przekrój 2-2)
- 4.13. Wielostopniowe turbiny reakcyjne
- 4.14. Dobór geometrii kanału przepływowego
- 4.15. Charakterystyki turbin osiowych
 - 4.15.1. Wprowadzenie
 - 4.15.2. Metody obliczeniowe wyznaczania charakterystyk turbiny
 - 4.15.3. Metody eksperymentalne określania charakterystyk turbiny
- 4.16. Chłodzenie turbin
- 4.17. Siły działające w palisadzie łopatek wieńca wirnika turbiny

5. MODELOWANIE PRZEPŁYWU W WIEŃCACH MASZYN WIRNIKOWYCH

- 5.1. Wprowadzenie
- 5.2. Charakterystyka poziomów uproszczeń analizy przepływu przez wieńce sprężarek i turbin
 - 5.2.1. Przepływ trójwymiarowy
 - 5.2.1.1. Równania Naviera–Stokesa w przepływie trójwymiarowym
 - 5.2.1.2. Równania Eulera w przepływie trójwymiarowym
 - 5.2.1.3. Równania dla potencjału prędkości przepływu trójwymiarowego
 - 5.2.2. Przepływ dwuwymiarowy
 - 5.2.2.1. Równania Naviera–Stokesa w przepływie dwuwymiarowym
 - 5.2.2.2. Równania Eulera w przepływie dwuwymiarowym
 - 5.2.2.3. Równania dwuwymiarowych przepływów potencjalnych
 - 5.2.2.4. Równania przepływu quasi-trójwymiarowego
 - 5.2.2.5. Równania przepływu walcowego
 - 5.2.3. Równania przepływu jednowymiarowego
- 5.3. Uwagi końcowe

LITERATURA

SUMMARY