
SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	9
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	13
WIADOMOŚCI WSTĘPNE	15
1. RÓWNANIA ANALIZY TERMOAERODYNAMICZNEJ.....	19
1.1. Wprowadzenie	19
1.2. Równanie ciągłości przepływu	19
1.3. Równanie zachowania energii dla przepływu stacjonarnego.....	22
1.3.1. Wprowadzenie.....	22
1.3.2. Równanie energetyczne przepływu	23
1.3.3. Równanie pierwszej zasady termodynamiki w zastosowaniu do przepływu strumienia lepkiego.....	24
1.3.4. Uogólnione równanie Bernoulliego.....	26
1.4. Druga zasada dynamiki Newtona	28
1.5. Równanie ilości ruchu (pędu) i momentu ilości ruchu (krętu) Eulera	29
1.6. Druga zasada termodynamiki	33
1.7. Parametry strumienia jako funkcje gazodynamiczne.....	38
1.7.1. Wprowadzenie.....	38
1.7.2. Parametry spiętrzenia	39
1.7.3. Parametry krytyczne.....	43
1.7.4. Funkcje gazodynamiczne	46
2. SPRĘŻARKI PROMIENIOWE	57
2.1. Wprowadzenie	57
2.2. Interpretacja termodynamiczna procesu sprężania w sprężarce promieniowej	59
2.3. Określenie sprawności sprężarki promieniowej.....	64
2.4. Schemat i zasada działania sprężarki odśrodkowej (promieniowej).....	71
2.4.1. Wprowadzenie.....	71
2.4.2. Budowa wlotu sprężarki promieniowej	72
2.4.3. Analiza termogazodynamiczna pracy wlotu sprężarki	73
2.4.4. Przepływ strumienia powietrza przez wirnik (koło wirnikowe)...	82
2.4.5. Wyznaczanie parametrów strumienia na wejściu do wirnika	86
2.4.6. Współczynnik zmniejszenia mocy	92
2.4.7. Moc napędu sprężarki.....	96
2.4.8. Wyznaczanie parametrów strumienia powietrza na wyjściu z wirnika.....	100

2.5.	Przepływ strumienia powietrza przez dyfuzory	106
2.5.1.	Wprowadzenie	106
2.5.2.	Przepływ strumienia przez dyfuzor bezłopatkowy	107
2.5.3.	Wyznaczanie parametrów strumienia na wylocie z dyfuzora bezłopatkowego	113
2.5.4.	Sprawność dyfuzora bezłopatkowego	118
2.5.5.	Przepływ strumienia przez dyfuzor łopatkowy	119
2.5.6.	Parametry strumienia na wylocie z dyfuzora łopatkowego	126
2.5.7.	Odmiany konstrukcyjne łopatek dyfuzora łopatkowego	132
2.5.7.1.	Dyfuzor z pogrubionymi łopatkami	132
2.5.7.2.	Dyfuzor z łopatkami klinowymi	133
2.5.7.3.	Dyfuzor z dodatkowymi półłopatkami rozdzielającymi (splitter)	133
2.5.8.	Przepływ strumienia przez dyfuzor rurkowy	134
2.5.8.1.	Wprowadzenie	134
2.5.8.2.	Parametry geometryczne dyfuzora rurkowego	135
2.5.8.3.	Parametry strumienia na wylocie dyfuzora	141
2.5.8.4.	Badania eksperymentalne dyfuzora rurkowego	145
2.5.9.	Przepływ strumienia przez kolektor	147
2.5.9.1.	Wprowadzenie	147
2.5.9.2.	Metoda stałej cyrkulacji	151
2.5.9.3.	Metoda średniej prędkości strumienia	161
2.5.9.4.	Parametry strumienia na wylocie kolektora	165
2.5.9.5.	Uwagi końcowe	170
2.6.	Układy wylotowe sprężarek promieniowych i osiowo-promieniowych	174
2.6.1.	Wprowadzenie	174
2.6.2.	Dyfuzor typu łącznika	175
2.6.3.	Osiowy dyfuzor łopatkowy	180
2.6.4.	Dyfuzor stożkowy	192
2.6.5.	Dyfuzor typu kolana	203
2.6.6.	Dyfuzor zakrzywiony	210
2.6.6.1.	Wprowadzenie	210
2.6.6.2.	Parametry strumienia na wylocie dyfuzora	211
2.6.6.3.	Parametry geometryczne dyfuzora zakrzywionego	215
2.6.6.4.	Parametry strumienia w przekrojach pośrednich dyfuzora	220
2.6.6.5.	Profilowanie zarysu zewnętrznego	223
2.7.	Dwustopniowe sprężarki promieniowe	225
2.8.	Rotalpia	232
2.9.	Parametry stanu gazu w przepływie względnym	238
2.10.	Reakcyjność stopnia (udział wirnika, udział kinematyczny wirnika)	242
3.	SPRĘŻARKI OSIOWE	247
3.1.	Wprowadzenie	247
3.2.	Zasada pracy stopnia sprężarki osiowej	248
3.3.	Interpretacja termodynamiczna procesu sprężania w stopniu osiowym sprężarki	256
3.4.	Określenie sprawności stopnia sprężarki osiowej oraz jego wieńców	261

3.5.	Charakterystyczne parametry i wskaźniki stopnia sprężarki	265
3.6.	Warunki równowagi promieniowej strumienia.....	275
3.7.	Analiza parametrów kinematycznych stopnia wzdłuż promienia dla stałej wartości pracy efektywnej i pracy tarcia	281
3.7.1.	Rozkład parametrów kinematycznych na wlocie do wirnika	281
3.7.2.	Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wylocie z wieńca wirnikowego.....	290
3.8.	Porównanie łopatek o stałej cyrkulacji i stałej reakcyjności.....	295
3.9.	Analiza parametrów kinematycznych w osiowym stopniu sprężającym ze zmienną pracą wzdłuż wysokości łopatki $l_{ust} = l_{ust}(r) = var$	296
3.10.	Podstawowe zależności aerodynamiczne dla palisady stopnia	307
3.11.	Przepływ przestrzenny w palisadzie o skończonej wysokości łopatek.....	315
3.12.	Analiza strat w osiowym stopniu sprężającym	321
3.12.1.	Współczynniki oceny dyssypacji energii w palisadach łopatkowych	321
3.12.2.	Podział strat oraz ich wyznaczanie	325
3.13.	Geometria dwuwymiarowej palisady i profilu łopatek sprężarki osiowej	327
3.13.1.	Parametry geometryczne płaskiej palisady profilów	327
3.13.2.	Parametry geometryczne profilu	329
3.14.	Charakterystyki płaskich palisad łopatek.....	331
3.15.	Wpływ liczby Macha na przebieg charakterystyki palisady	336
3.16.	Profilowanie łopatek	340
3.17.	Specyfika okołodźwiękowego i naddźwiękowego stopnia sprężarki osiowej.....	351
3.18.	Wielostopniowa sprężarka osiowa.....	354
3.19.	Schematy kanałów przepływowych wielostopniowej sprężarki osiowej..	362
3.20.	Charakterystyki sprężarek.....	366
3.21.	Linia współpracy sprężarki i turbiny (linia S-TS).....	374
3.22.	Współczynnik oraz zapas statecznej pracy sprężarki.....	384
3.23.	Niestateczna praca sprężarki.....	392
3.24.	Sprężarki osiowo-odśrodkowe	400
3.25.	Spręż obliczeniowy sprężarki	405
3.26.	Pasywne i aktywne sposoby rozszerzania użytecznego zakresu pracy sprężarki.....	412
3.26.1.	Wprowadzenie.....	412
3.26.2.	Pasywne metody oddziaływania na pompaż	413
3.26.3.	Aktywne sterowanie przebiegiem pompażu	429
4.	TURBINY	435
4.1.	Wprowadzenie	435
4.2.	Schemat i zasada działania stopnia	436
4.3.	Podstawowe równania stopnia turbiny	439
4.3.1.	Wprowadzenie.....	439
4.3.2.	Równanie ciągłości strumienia.....	439
4.3.3.	Równanie zachowania energii (równanie energetyczne przepływu).....	440
4.3.4.	Równanie Bernoulliego	442
4.3.5.	Równanie momentu ilości ruchu Eulera.....	448

4.4.	Zmiany parametrów spiętrzenia i statycznych strumienia w stopniu osiowym turbiny	450
4.5.	Sprawność stopnia turbiny	454
4.6.	Podstawowe parametry stopnia.....	457
4.6.1.	Parametry geometryczne (wymiary) stopnia	457
4.6.2.	Parametry geometryczne płaskiej palisady profilów	460
4.6.3.	Parametry kinematyczne stopnia	462
4.7.	Proces rozprężania w wieńcu dyszowym.....	470
4.8.	Proces rozprężania spalin w wieńcu wirnikowym	478
4.9.	Wypływ strumienia z palisady łopatek turbiny	487
4.10.	Analiza strat energii w kanale przepływowym stopnia turbiny	492
4.10.1.	Wprowadzenie.....	492
4.10.2.	Zależności współczynników strat przepływu od zasadniczych parametrów palisad wieńców stopnia turbiny	495
4.10.3.	Straty wtórne	498
4.10.4.	Straty związane z przeciekami spalin przez luz promieniowy ...	500
4.11.	Rozkład parametrów strumienia wzdłuż wysokości łopatek	503
4.11.1.	Wprowadzenie.....	503
4.11.2.	Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wlocie do wieńca wirnikowego (przekrój 1-1)	503
4.11.3.	Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wylocie z wieńca wirnikowego (przekrój 2-2).....	509
4.12.	Analiza parametrów kinematycznych w osiowym stopniu turbiny ze zmienną pracą wzdłuż wysokości łopatki wirnikowej $l_{ust} = l_{ust}(r) = \text{var} \dots$	516
4.12.1.	Wprowadzenie.....	516
4.12.2.	Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wlocie do wieńca wirnikowego (przekrój 1-1)	518
4.12.3.	Rozkład parametrów kinematycznych strumienia na wylocie z wieńca wirnikowego (przekrój 2-2).....	518
4.13.	Wielostopniowe turbiny reakcyjne	522
4.14.	Dobór geometrii kanału przepływowego	530
4.15.	Charakterystyki turbin osiowych	532
4.15.1.	Wprowadzenie.....	532
4.15.2.	Metody obliczeniowe wyznaczania charakterystyk turbiny	534
4.15.3.	Metody eksperymentalne określania charakterystyk turbiny	544
4.16.	Chłodzenie turbin.....	551
4.17.	Siły działające w palisadzie łopatek wieńca wirnika turbiny	564
5.	MODELOWANIE PRZEPEŁYWU W WIEŃCACH MASZYN WIRNIKOWYCH	567
5.1.	Wprowadzenie	567
5.2.	Charakterystyka poziomów uproszczeń analizy przepływu przez wieńce sprężarek i turbin	567
5.2.1.	Przepływ trójwymiarowy	567
5.2.1.1.	Równania Naviera–Stokesa w przepływie trójwymiarowym	567

5.2.1.2.	Równania Eulera w przepływie trójwymiarowym	577
5.2.1.3.	Równania dla potencjału prędkości przepływu trójwymiarowego.....	579
5.2.2.	Przepływ dwuwymiarowy	581
5.2.2.1.	Równania Naviera–Stokesa w przepływie dwuwymiarowym.....	581
5.2.2.2.	Równania Eulera w przepływie dwuwymiarowym....	583
5.2.2.3.	Równania dwuwymiarowych przepływów potencjalnych.....	585
5.2.2.4.	Równania przepływu quasi-trójwymiarowego	588
5.2.2.5.	Równania przepływu walcowego.....	595
5.2.3.	Równania przepływu jednowymiarowego	597
5.3.	Uwagi końcowe	600
LITERATURA.....		605
SUMMARY		623