

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA.....	9
OZNACZENIA.....	12
1. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA SPRĘŻAREK	17
1.1. Definicja sprężarki	17
1.2. Podział sprężarek	17
1.2.1. Podział w zależności od zasady działania	17
1.2.2. Podział w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego	18
1.2.3. Podział w zależności od przyrostu energii właściwej	19
1.3. Parametry pracy sprężarek różnych typów	20
1.3.1. Wielkości charakteryzujące pracę sprężarki	20
1.3.2. Wyznaczenie wymaganego przyrostu ciśnienia w sprężarce	20
1.3.3. Zakres stosowania sprężarek różnych typów	22
1.4. Konstrukcja sprężarek przepływowych.....	23
1.4.1. Sprężarki	23
1.4.2. Wentylatory	29
1.5. Zastosowanie sprężarek.....	31
2. PODSTAWY TERMODYNAMICZNE PROCESÓW SPRĘŻANIA	33
2.1. Stosowane jednostki	33
2.2. Termiczne i kaloryczne równania stanu	33
2.2.1. Gaz idealny	33
2.2.2. Gaz rzeczywisty	36
2.3. Przemiany porównawcze w procesach sprężania.....	42
2.3.1. Bilans energii w sprężarce	42
2.3.2. Przemiana izotermiczna	44
2.3.3. Przemiana izentropowa	45
2.3.4. Przemiana politropowa	47
2.3.5. Określenie sprawności sprężarki	48
2.4. Sprężanie wielostopniowe	55
2.5. Chłodzenie czynnika sprężanego	58
2.6. Moce i sprawności	64
2.6.1. Definicja mocy	64
2.6.2. Moc wewnętrzna sprężania	65
2.6.3. Moc strat mechanicznych	65
2.6.4. Sprawności	66
3. ZASADY PODOBIEŃSTWA PRZEPŁYWU GAZU PRZEZ SPRĘŻARKĘ.....	67
3.1. Warunki podobieństwa przepływu.....	67
3.2. Wskaźniki charakterystyczne sprężarek	69

3.2.1. Wskaźnik przepływu	70
3.2.2. Wskaźnik spiętrzenia	71
3.2.3. Wskaźniki szybkobieżności i średnicy	71
3.2.4. Wskaźnik mocy	75
3.3. Wpływ prędkości obrotowej i skali geometrycznej stopnia sprężarki na parametry pracy	76
3.3.1. Strumień przepływu	76
3.3.2. Praca, przyrost ciśnienia	76
3.3.3. Moc	77
3.4. Warunki odniesienia	78
3.4.1. Prędkość obrotowa odniesienia	78
3.4.2. Strumień wydajności odniesienia	79
3.4.3. Moc odniesienia	79
4. MODELOWANIE MATEMATYCZNE PRZEPŁYWU W SPRĘŻARKACH	81
4.1. Ogólny opis przepływu	81
4.2. Modelowanie przepływu w układzie współrzędnych prostokątnych	84
4.2.1. Przepływ nieustalony, ściśliwy i lepki	84
4.2.2. Model przepływu ustalonego, nieściśliwego i nielepkiego	85
4.3. Układ współrzędnych cylindrycznych	86
4.3.1. Równania ruchu	87
4.3.2. Model osiowosymetryczny	88
4.4. Warunek równowagi promieniowej	88
4.4.1. Przepływ na powierzchni prądu o tworzącej krzywoliniowej w układzie współrzędnych naturalnych	88
4.4.2. Przepływ cylindryczny	90
4.4.3. Zagadnienie projektowania	91
4.5. Modelowanie przepływu z uwzględnieniem wpływu tarcia przyściennego	92
4.5.1. Kształtowanie się przepływu w kanałach	92
4.5.2. Wielkości charakterystyczne warstw przyściennych	94
4.5.3. Blokada przepływu i odchylenie strugi	96
4.5.4. Model matematyczny warstwy przyściennej	97
4.5.5. Równania uzupełniające	101
5. ANALIZA PRZEPŁYWU W STOPNIU SPRĘŻARKI WIRNIKOWEJ	104
5.1. Przepływ jednowymiarowy	104
5.1.1. Uśrednione parametry strugi zastępczej	105
5.1.2. Trójkąty prędkości	108
5.1.3. Podstawowe równanie maszyn przepływowych	110
5.1.4. Termodynamika procesów sprężania	112
5.1.5. Współczynniki strat	113
5.1.6. Przepływy konfuzorowe i dyfuzorowe	115
5.1.7. Interpretacja procesu sprężania w stopniu sprężarki	117
5.1.8. Praca wewnętrzna sprężania	119
5.1.9. Udział koła wirnikowego	120
6. PROMIENIOWY STOPIEŃ SPRĘŻARKOWY	122
6.1. Koło wirnikowe	122
6.1.1. Przepływ w przekroju wlotowym koła wirnikowego	122
6.1.2. Przepływ w przekroju wylotowym koła wirnikowego	123
6.1.3. Podstawowe wielkości geometryczne kół wirnikowych	129

6.2. Dyfuzory	139
6.2.1. Dyfuzor bezłopatkowy	139
6.2.2. Dyfuzor łopatkowy	142
6.3. Przewal i kanał nawrotny	146
6.4. Kolektory	148
6.4.1. Równania przepływu przez kolektor	149
6.4.2. Kolektor wentylatora	150
6.4.3. Kolektor sprężarki o przekroju kołowym	151
6.5. Straty w stopniu sprężarki promieniowej	152
6.5.1. Wprowadzenie	152
6.5.2. Straty w kole wirnikowym	152
6.5.3. Straty przepływu w dyfuzorze	152
6.5.4. Straty przepływu w przewale i kanale nawrotnym	154
6.5.5. Straty brodenia kół wirnikowych	154
6.5.6. Straty szczelności	155
6.5.7. Straty występujące w kolektorze	158
6.5.8. Sprawność. Bilans energetyczny stopnia normalnego sprężarki	159
6.6. Urządzenia do wyrównywania sił osiowych	171
7. OSIOWY STOPIEŃ SPRĘŻAJĄCY	174
7.1. Ogólny opis przepływu przez osiowy układ łopatkowy	174
7.2. Przepływ przez płaską palisadę profili	175
7.2.1. Wprowadzenie	175
7.2.2. Geometria profilu i palisady	176
7.2.3. Podstawowe równanie sprężarek osiowych	180
7.2.4. Współczynnik obciążenia wieńca łopatkowego	184
7.2.5. Zjawiska przepływowe w przepływie rzeczywistym	185
7.2.6. Współczynnik siły oporu i siły nośnej	187
7.2.7. Sprawność palisady	189
7.3. Wyniki badań doświadczalnych	190
7.3.1. Charakterystyka palisady	190
7.3.2. Obciążenie aerodynamiczne palisad łopatkowych	191
7.4. Projektowanie palisad łopatkowych	202
7.4.1. Metoda Howella	202
7.4.2. Metoda Weiniga	204
7.5. Wpływ liczby Macha	206
7.6. Wpływ liczby Reynoldsa	208
7.7. Wybór kinematyki przepływu w projektowaniu wieńców łopatkowych	209
7.7.1. Zasada stałego wiru	209
7.7.2. Inne kinematyki przepływu	210
7.8. Podstawowe wielkości geometryczne stopnia sprężarki osiowej	213
7.8.1. Stosunek średnic	214
7.8.2. Wysokość łopatki	214
7.8.3. Szczelina nadłopatkowa	215
7.8.4. Szczeliny międzywieńcowe	215
7.9. Straty i sprawność przepływu w stopniu osiowym	216
7.9.1. Sprawność izentropowa stopnia	216
7.9.2. Strata przepływu w strudze elementarnej	217
7.9.3. Średnia strata stopnia	219

7.10. Współczynnik zmniejszenia mocy	220
7.11. Oderwanie bezwładnościowe	222
7.12. Zasady projektowania stopnia osiowego.....	224
7.12.1. Optymalne wskaźniki bezwymiarowe	224
7.12.2. Projektowanie układów łopatkowych	225
7.12.3. Zasady wstępnych obliczeń przepływowych wentylatorów osiowych.....	226
7.13. Projektowanie osiowych stopni sprężarkowych z merydionalnym przyspieszeniem strumienia	239
7.13.1. Uwagi wstępne	239
7.13.2. Wnioski z badań modelowych dla potrzeb projektowania	241
7.13.3. Projektowanie wieńców sprężających z merydionalnym przyspieszeniem strumienia z piastą stożkową	245
8. PODSTAWY PROJEKTOWANIA SPRĘŻAREK WIELOSTOPNIOWYCH	256
8.1. Konieczność budowy sprężarek wielostopniowych.....	256
8.2. Obliczenia wstępne.....	257
8.3. Wielostopniowe sprężarki promieniowe	258
8.3.1. Ograniczenia w konstrukcji sprężarek promieniowych.....	258
8.3.2. Wyznaczanie podstawowych wielkości sprężarek	261
8.3.3. Podstawowe zasady obliczeń sprężarek z chłodnicami międzystopniowymi.....	272
8.3.4. Przykład wstępnych obliczeń wielostopniowej, chłodzonej sprężarki promieniowej z chłodnicami zewnętrznymi	274
8.4. Wielostopniowe sprężarki osiowe.....	286
8.4.1. Ograniczenia w konstrukcji sprężarek osiowych	286
8.4.2. Podstawowe wielkości sprężarek osiowych	286
9. WSPÓŁPRACA SPRĘŻAREK Z ODBIORNIKIEM.....	290
9.1. Charakterystyki pracy sprężarek.....	290
9.1.1. Wprowadzenie	290
9.1.2. Charakterystyka sprężu.....	291
9.1.3. Charakterystyka mocy	300
9.2. Współpraca sprężarki z siecią sprężonego gazu.....	301
9.2.1. Charakterystyka sieci sprężonego gazu	301
9.2.2. Współpraca z siecią w statecznym i niestatecznym obszarze charakterystyki sprężarki	302
9.3. Współpraca kilku sprężarek z siecią	304
9.3.1. Równoległa współpraca sprężarek	304
9.3.2. Szeregową współpracę sprężarek	304
9.4. Regulacja i regulacyjność różnych typów sprężarek.....	305
9.4.1. Rodzaje i sposoby regulacji sprężarek.....	305
9.4.2. Regulacja poprzez zmianę prędkości obrotowej	306
9.4.3. Regulacja przez zmianę kąta ustawienia łopatek koła wirnikowego	308
9.4.4. Regulacja przez zmianę kąta ustawienia łopatek kierownicy wstępnej	309
9.4.5. Regulacja sprężarek promieniowych przez zmianę kąta ustawienia łopatek dyfuzorowych	312
9.4.6. Regulacja przez dławienie gazu w rurociągu ssącym	314
9.4.7. Regulacja przez dławienie gazu w rurociągu tłocznym	316
9.4.8. Porównanie charakterystyk regulacyjnych sprężarek promieniowych, regulowanych różnymi sposobami	317

9.4.9. Zabezpieczenia przeciwpompażowe	319
9.4.10. Zabezpieczenia i sygnalizacja przeciwwawaryjna sprężarek	325

10. PROCESY MODERNIZACYJNE UKŁADU

PRZEPŁYWOWEGO SPRĘŻAREK

10.1. Rodzaje modernizacji

10.2. Modernizacja geometrii sprężarek promieniowych w celu zwiększenia strumienia masy

10.2.1. Wymiana układu przepływowego

10.2.2. Zwiększenie prędkości obrotowej

10.2.3. Zastosowanie sprężarki wspomagającej na wlocie do sprężarki głównej ...

10.3. Modernizacja sprężarki w celu poprawienia sprawności pracy

10.3.1. Doskonalenie własności aerodynamicznych układu przepływowego

10.3.2. Poprawienie gładkości powierzchni kanału przepływowego

10.3.3. Zastosowanie odpornych na ścieranie ślizgowych uszczelnień labiryntowych

10.4. Modernizacja sprężarki w celu rozszerzenia zakresu roboczego charakterystyki pracy

10.4.1. Przewężenie dyfuzora

10.4.2. Zastosowanie dyfuzorów łopatkowych

10.5. Korzyści wynikające z modernizacji

10.6. Podsumowanie

11. PRÓBY I BADANIA SPRĘŻAREK

11.1. Rodzaje prób i badań

11.2. Próby odbiorowe i gwarancyjne

11.2.1. Zakres prób gwarancyjnych

11.2.2. Zakres badań odbiorowych sprężarek

11.2.3. Mechaniczne próby ruchowe

11.3. Badania charakterystyk pracy sprężarek

11.3.1. Uwagi ogólne

11.3.2. Krzywe charakterystyki sprężarki

11.3.3. Wielkości gwarantowane

11.3.4. Klasy dokładności wyznaczania charakterystyk aerodynamicznych sprężarek

11.3.5. Oprzyrządowanie sprężarki i procedura badawcza

11.3.6. Niepewność pomiaru

11.3.7. Zasady przeprowadzania badań charakterystyk pracy sprężarek

11.3.8. Przeliczanie wyników badań na warunki gwarantowane lub uzgodnione ...

11.3.9. Przeliczanie wyników badań w zależności od typu sprężarek i rodzaju napędu

11.3.10. Dopuszczalne odstępstwa od zasad wynikających z teorii podobieństwa

BIBLIOGRAFIA