

Spis treści

Przedmowa	11
Zestawienie ważniejszych oznaczeń	13
1. Wprowadzenie	15
1.1. Wstęp do maszyn	15
1.2. Podział maszyn	15
1.2.1. Maszyny technologiczne	15
1.2.2. Maszyny transportowe	16
1.2.3. Maszyny energetyczne	16
1.3. Rys historyczny rozwoju konstrukcji oraz badań wentylatorów	16
2. Podstawowe prawa przepływowe i termodynamiczne	19
2.1. Równanie Eulera wzdłuż linii prądu	19
2.2. Równanie Bernoulliego	20
2.3. Równanie ciągłości strugi	21
2.4. Zasada zachowania krętu	22
2.5. Lepkość gazów	22
2.6. Współczynnik ściśliwości przy ściężaniu gazu	26
2.7. Wpływ czynnika przez mały otwór	28
2.8. Pierwsza zasada termodynamiki	30
2.9. Druga zasada termodynamiki	32
2.10. Termiczne równanie stanu gazu	33
2.11. Przemiany gazowe	35
2.11.1. Izobara	36
2.11.2. Izochora	37
2.11.3. Izoterma	38
2.11.4. Adiabata	39
2.11.5. Politropa	42
2.12. Mieszaniny gazów	42
2.13. Gazy wilgotne	44
3. Podział wentylatorów i schematy aerodynamiczno-konstrukcyjne	49
3.1. Definicja wentylatora	49
3.2. Kształt powierzchni prądu stosowany w wentylatorach	50
3.3. Podział wentylatorów według kierunku przepływu przez wirnik ...	52
3.3.1. Wentylatory osiowe	54

3.3.2. Wentylatory diagonalne	56
3.3.3. Wentylatory promieniowe	57
3.3.4. Wentylatory osiowo-promieniowe	59
3.3.5. Wentylatory peryferyjne	60
3.3.6. Wentylatory tarczowe	60
3.3.7. Wentylatory poprzeczne	61
3.4. Podział wentylatorów według innych kryteriów	62
3.5. Porównanie charakterystyk ciśnienia wentylatorów różnych typów ...	65
3.6. Schemat aerodynamiczny i główne wymiary wentylatora promieniowego	67
3.6.1. Rodzaje łopatek w wirnikach promieniowych	68
3.6.2. Schemat konstrukcyjny wentylatora promieniowego	70
3.7. Schemat i parametry geometryczne wentylatora osiowego	71
3.7.1. Schemat konstrukcyjny wentylatora osiowego	74
4. Teoria wentylatorów	75
4.1. Podstawowe równanie maszyn przepływowych	75
4.2. Wydajność wentylatora promieniowego	79
4.3. Opis przepływu przez palisadę osiową	81
4.4. Kinematyka i osiągi stopnia osiowego	83
4.5. Warunek równowagi sił promieniowych	85
4.6. Określenie parametrów przepływowych wentylatora osiowego	87
4.7. Porównanie kinematyki przepływu osiowego i promieniowego	87
4.8. Udział energii potencjalnej przekazanej do gazu w wirniku	88
4.8.1. Udział wirnika promieniowego	89
4.8.2. Stopień reakcyjności wirnika osiowego	90
4.9. Wpływ krzywizny łopatek na osiągi wentylatora	91
4.10. Liczba zmniejszenia mocy	95
4.10.1. Ujęcie Stodoli	97
4.10.2. Rozwiązanie przepływu względnego według Ecka	98
4.10.3. Inne wzory na liczbę zmniejszenia mocy	102
4.10.4. Moment statyczny łopatki w przekroju wzdłużnym	104
4.11. Zwężenie kanału międzyłopatkowego przez grubość łopatki	105
4.12. Cyrkulacja wokół łopatki wirnika	107
4.13. Równanie toru cząstki wypływającej z wirnika do przestrzeni ograniczonej	109
4.13.1. Wpływ gazu z wirnika do dyfuzora równoległotarczowego	109
4.13.2. Wpływ gazu z wirnika do dyfuzora stożkowego	112
4.13.3. Wpływ gazu z wirnika do kolektora płaskiego	114

4.13.4. Wyprowadzenie wzoru na kąt wypływu gazu w funkcji liczby wirnika	116
5. Termodynamiczny i mechaniczny opis procesu spiętrzania w wentylatorze	119
5.1. Bilans masy i energii w wentylatorze	119
5.2. Praca wewnętrzna i użyteczna	121
5.3. Sprawność politropowa i wewnętrzna	124
5.4. Współczynnik korekcyjny ściśliwości wentylatorów wysokociśnieniowych	125
5.5. Mechaniczny opis procesu spiętrzania ciśnienia w wentylatorze	126
5.5.1. Moc użyteczna i rodzaje strat	126
5.5.2. Straty ciśnienia w przepływie przez wirnik i obudowę	128
5.5.2.1. Strata w leju wlotowym	129
5.5.2.2. Strata zmiany kierunku przepływu	129
5.5.2.3. Strata tarcia w wirniku	130
5.5.2.4. Strata niestycznego napływu do wieńca	130
5.5.2.5. Strata w obudowie spiralnej	131
5.5.3. Strata brodzenia	131
5.5.4. Strata wolumetryczna	138
5.5.5. Sprawności układu przepływowo-mechanicznego wentylatora	141
6. Eksperymentalne i teoretyczne wyznaczanie charakterystyk aerodynamicznych	145
6.1. Omówienie metod pomiarowych w badaniach wentylatorów	145
6.1.1. Pomiar strumienia gazu za pomocą zwężek	145
6.1.2. Wyznaczanie średniej prędkości za pomocą rurki Prandtla ...	150
6.1.3. Pomiary ciśnień w instalacjach wentylatorowych	156
6.1.4. Pomiar mocy mechanicznej silnika	157
6.2. Eksperymentalne wyznaczanie charakterystyk wentylatorów	159
6.2.1. Znormalizowane stanowiska pomiarowe	161
6.2.2. Wyznaczanie charakterystyki wentylatora na podstawie wyników pomiaru	164
6.2.2.1. Opis stanowiska i pomiaru	165
6.2.2.2. Zestawienie wzorów do obliczania charakterystyki ...	167
6.3. Teoretyczne wyznaczanie charakterystyk	171
6.3.1. Określenie strat tarcia i niestycznego napływu oraz strat w obudowie	172
6.3.2. Wykreślenie teoretycznej krzywej spiętrzenia	175

7. Podstawy projektowania wentylatorów	177
7.1. Teoretyczne podstawy obliczania wymiarów geometrycznych wirnika promieniowego i obudowy	177
7.1.1. Obliczanie kąta łopatki u wlotu	178
7.1.2. Dobór kąta wylotowego	183
7.1.3. Dobór stosunku średnic	185
7.1.4. Obliczanie szerokości wirnika u wlotu i wylotu	190
7.1.5. Obliczanie ilości łopatek	192
7.1.6. Wyznaczanie kształtu łopatek	194
7.1.6.1. Krzywizna łukowa	194
7.1.6.2. Krzywizna dwułukowa	196
7.1.6.3. Metoda punktowa	196
7.1.6.4. Łopatki proste	198
7.1.6.5. Sprawdzenie przekrojów kanału międzyłopatkowego	198
7.1.7. Geometria płaskiego kolektora spiralnego	200
7.2. Tok obliczeń projektowych wentylatora promieniowego	205
7.2.1. Dane wyjściowe do projektowania i określenie liczb bezwymiarowych	205
7.2.2. Obliczanie średnic wirnika	205
7.2.3. Wyznaczanie szerokości łopatki	206
7.2.4. Wyznaczanie kształtu krzywizny łopatki oraz ilości łopatek	207
7.2.5. Obliczanie szerokości i zarysu obudowy spiralnej	208
7.2.6. Przykład obliczeniowy wentylatora promieniowego	209
7.3. Wielomiany Bommesa	216
7.4. Obliczenia wytrzymałościowe	218
7.4.1. Przybliżone obliczenia naprężeń w tarczach	219
7.4.2. Naprężenia w łopatce i określanie dopuszczalnej prędkości obwodowej	220
7.5. Projektowanie wentylatora osiowego	223
8. Teoria podobieństwa w wentylatorach	231
8.1. Podstawy teorii podobieństwa przepływów	231
8.2. Podobieństwo przepływów płynów rzeczywistych	235
8.3. Podobieństwo geometryczne wentylatorów	237
8.4. Liczby podobieństwa stosowane w wentylatorach	239
8.4.1. Liczba wydajności ϕ	239
8.4.2. Liczba ciśnienia ψ	240
8.4.3. Liczba mocy λ	240

8.4.4. Liczby szybkobieżności σ i średnicy δ	241
8.5. Przeliczanie charakterystyki na inną wielkość wentylatora i liczbę obrotów	245
8.6. Przeliczanie wydajności z uwzględnieniem sprawności wolumetrycznych	247
8.7. Przeliczanie spiętrzenia z uwzględnieniem sprawności przepływu	248
8.8. Przeliczanie mocy	249
8.9. Budowa typoszeregu	249
9. Napęd elektryczny	253
9.1. Charakterystyki momentu maszyn roboczych	253
9.2. Silniki indukcyjne	254
9.2.1. Przyłączanie silnika	256
9.2.2. Rozruch silników klatkowych	257
9.2.2.1. Rozruch bezpośredni	257
9.2.2.2. Rozruch za pomocą przełącznika gwiazda – trójkąt	258
9.2.3. Rozruch silników pierścieniowych	258
9.2.4. Regulacja prędkości	259
9.2.4.1. Silniki wielobiegunowe	259
9.2.4.2. Regulacja prędkości silników pierścieniowych	259
9.2.5. Moc, sprawność i współczynnik mocy silnika	259
9.3. Równanie ruchu układu napędowego	260
9.4. Nagrzewanie się silnika	261
9.4.1. Wyznaczanie czasu rozruchu	262
9.5. Dobór silnika napędowego do wentylatora	264
9.5.1. Dobór silników w zależności od warunków środowiska	267
9.5.2. Zabezpieczenie silników o napięciu do 1000 V	267
9.6. Pomiar mocy silnika	268
9.7. Głośność silników	271
10. Akustyka i drgania	273
10.1. Podstawowe zagadnienia akustyki	273
10.1.1. Aerodynamiczna teoria dźwięku	273
10.1.2. Mechanizmy powstawania sił łopatkowych	275
10.1.2.1. Siły stacjonarne	275
10.1.2.2. Siły niestacjonarne	275
10.1.3. Rozprzestrzenianie dźwięku w ośrodku. Ciśnienie i moc akustyczna	277
10.1.4. Hałas kilku źródeł	280
10.1.5. Analiza spektralna hałasu	282

10.1.6.	Percepcja dźwięku przez człowieka	283
10.2.	Hałas emitowany przez wentylator	287
10.2.1.	Przewidywanie poziomu mocy akustycznej wentylatora ...	287
10.2.2.	Rozprzestrzenianie hałasu w przewodach i pomieszczeniu	292
10.3.	Empiryczne metody wyznaczania hałasu maszyn	293
10.3.1.	Przybliżona charakterystyka akustyczna wentylatora	293
10.3.2.	Kryterium oceny hałasu wentylatora	297
10.4.	Możliwości obniżenia hałasu aerodynamicznego wentylatora	299
10.5.	Przyczyny drgań wentylatorów	300
10.6.	Istota reakcji dynamicznych	302
10.7.	Wyważanie statyczne i dynamiczne	305
10.7.1.	Klasy niewyważenia	306
10.8.	Praca wentylatora w pobliżu rezonansu	308
10.9.	Dopuszczalne drgania wentylatorów	314
11.	Współpraca wentylatora z siecią i regulacja parametrów pracy	317
11.1.	Punkt pracy i dobór wentylatora	317
11.1.1.	Rodzaje krzywych dławienia i mocy	319
11.1.2.	Rodzaje charakterystyk instalacji	324
11.2.	Regulacja wydajności i przyrostu ciśnienia	329
11.2.1.	Regulacja przez zmianę obrotów wirnika	330
11.2.2.	Regulacja przez zmianę kąta ustawienia łopatek wirnika	331
11.2.3.	Regulacja przez zmianę krętu na wlocie wirnika	332
11.2.4.	Współpraca wentylatorów	334
11.2.4.1.	Współpraca szeregową	334
11.2.4.2.	Współpraca równoległą	335
11.2.5.	Specjalne metody regulacji	341
11.2.6.	Dławienie przepływu w instalacji	341
11.2.7.	Regulacja obejściowa – bajpas	342
11.3.	Zjawiska pompazowe	343
11.3.1.	Oderwanie wirujące	344
12.	Niezawodność i zasady instalowania wentylatorów	353
12.1.	Niezawodność mechaniczna	352
12.2.	Wpływ obciążeń dynamicznych na niezawodność	354
12.3.	Odchylenia aerodynamiczne	355
12.4.	Zasady prawidłowego instalowania wentylatorów	357
12.5.	Sposoby monitorowania stanu technicznego wentylatorów	359

13. Wentylatory specjalne i małe wentylatory	361
13.1. Wentylatory przeciwwybuchowe i zagadnienia ochrony przeciwwybuchowej	364
13.2. Wentylatory transportowe	367
13.3. Wentylatory do gazów gorących	372
13.4. Wentylatory gazoszczelne	375
13.5. Właściwości konstrukcyjno-przepływowe małych wentylatorów ...	376
13.5.1. Pomiary przepływowe małych wentylatorów	378
13.5.2. Rodzaje małych wentylatorów i ich zastosowanie	379
13.5.3. Wyznaczenie ilości powietrza cyrkulującego	381
13.5.4. Wymagania techniczne i akustyczne	382
13.5.5. Niezawodność i bezpieczeństwo elektryczne	384
Literatura	387
Skorowidz rzeczowy	393
Reklamy	401
Wykaz sponsorów	417