

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów 10  
Wstęp 13

### **Rozdział 1. Wprowadzenie ogólne 15**

- 1.1. Podstawowe parametry silnika tłokowego 15
  - 1.1.1. Parametry geometryczne, operacyjne i lokalne 15
  - 1.1.2. Parametry teoretyczne, indykowane i użyteczne 16
- 1.2. Zakresy wielkości, zastosowania i warunki pracy 18
- 1.3. Tendencje rozwojowe 20
- 1.4. Napędy alternatywne 20

### **Rozdział 2. Obiegi teoretyczne 23**

- 2.1. Wprowadzenie i założenia 23
- 2.2. Obieg z doprowadzaniem ciepła przy stałej objętości (obieg Otta) 24
- 2.3. Obieg z doprowadzaniem ciepła przy stałym ciśnieniu (obieg Diesla) 26
- 2.4. Obieg z doprowadzaniem ciepła przy stałej objętości i stałym ciśnieniu (obieg Sabathégo) 28
- 2.5. Analiza sprawności obiegów teoretycznych 30
- 2.6. Obiegi z doładowaniem 32
  - 2.6.1. Uwagi ogólne 32
  - 2.6.2. Doładowanie mechaniczne 33
  - 2.6.3. Turbodoładowanie 35
- 2.7. Średnie ciśnienie teoretyczne 37

### **Rozdział 3. Obiegi porównawcze i ich urzeczywistnienie 39**

- 3.1. Wprowadzenie 39
- 3.2. Silniki o zapłonie iskrowym (ZI) 40
- 3.3. Silniki o zapłonie samoczynnym (ZS) 42
- 3.4. Silniki dwusuwowe 43
- 3.5. Silniki doładowane 45
- 3.6. Uwarunkowania techniczne parametrów obiegu 46

### **Rozdział 4. Termochemia spalania 48**

- 4.1. Zależności dla gazu doskonałego i półdoskonałego 48
- 4.2. Energia wiązań chemicznych a wywiązywanie ciepła (definicje) 54
- 4.3. Adiabatyczna temperatura spalania 58
- 4.4. I zasada termodynamiki 59
- 4.5. Spalanie w umiarkowanych temperaturach 60
- 4.6. Równowaga chemiczna 66
- 4.7. Kinetyka reakcji chemicznych 70
- 4.8. Zredukowane mechanizmy kinetyczne 75
- 4.9. Inne mechanizmy globalne i wieloetapowe 76

### **Rozdział 5. Termodynamiczna analiza obiegu na podstawie uproszczonego bilansu energii 79**

- 5.1. Uproszczona analiza obiegu silnika ZI 79
- 5.2. Przygotowanie ładunku 83
- 5.3. Praca silnika z częściowymi obciążeniami 84
- 5.4. Doładowanie 85
- 5.5. Uproszczona analiza obiegu silnika ZS 87

### **Rozdział 6. Procesy spalania 89**

- 6.1. Charakterystyka ogólna 89
- 6.2. Ruch ładunku w cylindrze 92

- 6.3. Proces spalania w silniku ZI 94
- 6.4. Proces spalania w silniku ZS 100
- 6.5. Spalanie mieszanek ubogich 104
- 6.6. Kształt komory spalania 109
- 6.7. Recyrkulacja spalin 111

## **Rozdział 7. Określanie przebiegu wywiązywania się ciepła 112**

- 7.1. Wprowadzenie 112
- 7.2. Sprzężenie między udziałem masowym spalin oraz ciśnieniem 113
- 7.3. Określanie przebiegu wywiązywania się ciepła w silniku ZI (metody predykcyjne) 115
  - 7.3.1. Metoda szacunkowa 115
  - 7.3.2. Metoda z uwzględnieniem danych doświadczalnych - funkcja Wibego 117
  - 7.3.3. Metoda z uwzględnieniem propagacji frontu spalania 118
- 7.4. Określanie przebiegu wywiązywania się ciepła na podstawie wykresu indykatorowego (metody diagnostyczne) 120
  - 7.4.1. Uwagi ogólne 120
  - 7.4.2. Określanie szybkości spalania w silniku ZI 121
  - 7.4.3. Określanie przebiegu wywiązywania się ciepła w silniku ZI - model jednostrefowy 122
  - 7.4.4. Określanie przebiegu wywiązywania się ciepła w silniku ZI - model dwustrefowy 125
- 7.5. Określanie przebiegu wywiązywania się ciepła w silniku ZS 127
  - 7.5.1. Szybkość wtrysku paliwa 127
  - 7.5.2. Analiza zmierzonego wykresu indykatorowego 128
- 7.6. Analiza obiegu termodynamicznego silnika ZI 132
- 7.7. Analiza obiegu termodynamicznego silnika ZS 139

## **Rozdział 8. Obiegi rzeczywiste 143**

- 8.1. Ogólna charakterystyka obiegów rzeczywistych 143
- 8.2. Wymiana ładunku 145
  - 8.2.1. Zadania procesu wymiany ładunku 145
  - 8.2.2. Współczynnik napełnienia 146
  - 8.2.3. Obliczanie procesu wymiany ładunku 148
  - 8.2.4. Przepływ przez zawory 150
  - 8.2.5. Fazy rozrządu 151
  - 8.2.6. Ruchy falowe 153
- 8.3. Geometria komory spalania 155
  - 8.3.1. Komory spalania silników ZI 155
  - 8.3.2. Komory spalania silników ZS 159
- 8.4. Wymiana ciepła 161
  - 8.4.1. Charakterystyka ogólna 161
  - 8.4.2. Uśredniony opis wymiany ciepła 163
- 8.5. Turbulencja 165
- 8.6. Pełny bilans energetyczny 167

## **Rozdział 9. Zasilanie i systemy spalania 169**

- 9.1. Przygotowanie ładunku 169
- 9.2. Zasilanie wtryskowe silników ZI 170
- 9.3. Zasilanie wtryskowe silników ZS 171
- 9.4. Systemy spalania silników ZI 174

- 9.5. Systemy spalania silników ZS 183
- 9.5.1. Uwagi ogólne 183
- 9.5.2. Rodzaje systemów spalania silników ZS 184
- 9.5.3. Mechanizm spalania strugi paliwa w silniku ZS 185

#### **Rozdział 10. Zjawiska niepożądane 188**

- 10.1. Zjawisko spalania stukowego 188
- 10.2. Niepowtarzalność procesów 193
- 10.3. Problemy rozruchowe silników ZS 196

#### **Rozdział 11. Toksyczność spalin 198**

- 11.1. Wprowadzenie 198
- 11.2. Mechanizmy powstawania konwencjonalnych toksycznych składników spalin 198
  - 11.2.1. Tlenek węgla (CO) 198
  - 11.2.2. Niespalone węglowodory (HC) 200
  - 11.2.3. Tlenki azotu (NO<sub>x</sub>) 201
  - 11.2.4. Cząstki stałe 203
  - 11.2.5. Wpływ warunków pracy silnika na emisję toksycznych składników spalin 204
- 11.3. Pozostałe toksyczne składniki spalin 206
  - 11.3.1. Aldehydy 206
  - 11.3.2. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH) 206
- 11.4. Dwutlenek węgla 206
- 11.5. Związki toksyczne powstające w atmosferze - ozon troposferyczny 206
- 11.6. Przepisy dotyczące emisji toksycznych składników spalin przez silniki 207
- 11.7. Sposoby zmniejszania emisji toksycznych składników spalin 208
  - 11.7.1. Modyfikacja procesu spalania 208
  - 11.7.2. Neutralizacja toksycznych składników spalin 209

#### **Rozdział 12. Parametry operacyjne i charakterystyki silników 211**

- 12.1. Parametry operacyjne 211
  - 12.1.1. Średnie ciśnienie indykowane i użyteczne 211
  - 12.1.2. Moc indykowana i użyteczna 212
  - 12.1.3. Moment obrotowy 213
  - 12.1.4. Zużycie paliwa 213
  - 12.1.5. Sprawności 213
  - 12.1.6. Inne wskaźniki 215
- 12.2. Ogólny podział charakterystyk 216
- 12.3. Charakterystyki prędkościowe 216
- 12.4. Charakterystyki obciążeniowe 220
- 12.5. Charakterystyki uniwersalne 221
- 12.6. Charakterystyki regulacyjne 222
- 12.7. Charakterystyki specjalistyczne 224

#### **Rozdział 13. Modelowanie matematyczne roboczego cyklu silnika tłokowego 226**

- 13.1. Wprowadzenie 226
- 13.2. Ogólna klasyfikacja modeli 227
- 13.3. Podział według kryterium "samodzielności" 228
- 13.4. Charakterystyka modeli strefowych 229
- 13.5. Charakterystyka modeli polowych 233

- 13.6. Wiarygodność wyników obliczeń 234
- 13.7. Zastosowania 235

**Rozdział 14. Paliwa i oleje 237**

- 14.1. Chemia paliw węglowodorowych 237
- 14.2. Ciepło właściwe węglowodorów 240
- 14.3. Charakterystyka paliw ciekłych 241
- 14.4. Benzyny 242
- 14.5. Oleje napędowe 249
- 14.6. Paliwa alternatywne 251
- 14.7. Materiały smarowe 253
  - 14.7.1. Oleje mineralne 254
  - 14.7.2. Oleje syntetyczne 255

**Dodatek A Programy komputerowe do wykonywania obliczeń w Internecie 257**

**Dodatek B Analiza obiegu termodynamicznego silnika ZI przy użyciu programu komputerowego STANJAN 263**

**Dodatek C Wybrane adresy internetowe 265**

- Literatura 267
- Skorowidz 269