

Nagroda zespołowa za osiągnięcia naukowe Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego - 2011

Podręcznik zawierający najważniejsze zagadnienia modelowania maszyn roboczych, obejmujące modele procesu roboczego, kinematyki osprzętu, układów napędowych i in., które mogą być wykorzystane w syntezie i analizie mechanizmów maszyn roboczych oraz do badania dynamiki maszyn mobilnych i ich osprzętu. Opisano także zagadnienia sterowania w układach otwartym i zamkniętym z elektronicznymi sprzężeniami zwrotnymi, wykorzystując układy mikroprocesorowe, dla których opracowano oryginalne algorytmy sterowania, tworząc system operator – maszyna – otoczenie. Wiele uwagi poświęcono automatyzacji pracy maszyn roboczych, którą przedstawiono na wybranych przykładach.

Odbiorcy książki: studenci wydziałów mechanicznych wyższych uczelni technicznych o specjalności maszyny robocze i pokrewnych, słuchacze studiów podyplomowych tej specjalności, inżynierowie zajmujący się zawodowo maszynami budowlanymi.

Spis treści

1. Wprowadzenie 9

2. Przejawy automatyzacji pracy wybranych maszyn roboczych 14

- 2.1. Narodziny zjawiska 14
- 2.2. Intensywność występowania zjawiska i jego zasięg 16
- 2.3. Przejawy automatyzacji w jednonaczyniowych koparkach hydraulicznych 17
 - 2.3.1. Systemy wzajemnej kontroli silnika i układu hydraulicznego 18
 - 2.3.2. Układy precyzyjnej realizacji założonego ruchu osprzętu 23
 - 2.3.3. Układy zapewniające bezawaryjną i bezkolizyjną pracę 31
- 2.4. Przejawy automatyzacji w koparko-ładowarkach 37
 - 2.4.1. Systemy wzajemnej kontroli silnika i układu hydraulicznego 37
 - 2.4.2. Układy precyzyjnej realizacji założonego ruchu osprzętu 38
 - 2.4.3. Układy zapewniające bezawaryjną i bezkolizyjną pracę 39
- 2.5. Przejawy automatyzacji w innych, masowo produkowanych maszynach roboczych 39
 - 2.5.1. Systemy sterowania zespołem silnika, pomp i przekładni głównej 40
 - 2.5.2. Automatyczne systemy wielofunkcyjnego sterowania 41
 - 2.5.3. Układy zapewniające bezawaryjną i bezkolizyjną pracę 42
 - 2.5.4. Układ automatycznej stabilizacji wysięgnika w czasie jazdy 44
 - 2.5.5. Układ automatycznej kontroli procesu ładowania urobku 44
- 2.6. Przewidywane kierunki rozwoju automatyzacji w maszynach roboczych 45

3. Metodyka tworzenia modeli funkcjonalnych maszyn roboczych 46

- 3.1. Wprowadzenie 46
- 3.2. Kinematyka pracy maszyny 46
 - 3.2.1. Wiadomości wstępne 46
 - 3.2.2. Pole pracy koparki 49
 - 3.2.3. Siły w polu pracy 51
 - 3.2.4. Podsumowanie 55
- 3.3. Proces roboczy –urabianie gruntów 56
 - 3.3.1. Wiadomości wstępne 56
 - 3.3.2. Siły w procesie urabiania 59
 - 3.3.3. Algorytmy sterowania procesem skrawania 61
 - 3.3.4. Maksymalna siła skrawająca 62
- 3.4. Optymalizacja wielokryterialna w procesach roboczych koparek hydraulicznych 64
- 3.5. Budowa strukturalna maszyn 66
 - 3.5.1. Silnik spalinowy 66
 - 3.5.2. Układ hydrauliczny 67
 - 3.5.3. Układ elektryczny 70
 - 3.5.4. Układ mechaniczny 70
- 3.6. System diagnostyczny koparki 70
 - 3.6.1. Parametry diagnostyczne systemu 71
 - 3.6.2. Wymagania dotyczące warunków pracy układu diagnostycznego 71
 - 3.6.3. Określenie parametrów pomiarowych (symbole) 71

3.6.4. Obwody czujnikowe 72

3.7. Podsumowanie 74

3.8. Literatura 74

4. Projektowanie układów hydraulicznych sterowanych i regulowanych z cyfrowym przetwarzaniem sygnałów 76

4.1. Wstęp 76

4.2. Wprowadzenie do projektowania układów hydraulicznych sterowanych i regulowanych z cyfrowym przetwarzaniem sygnałów 76

4.3. Etapy studium projektowania złożonego systemu 77

4.4. Podstawy teoretyczne projektowania napędu i sterowania hydraulicznego 80

4.4.1. Podstawy działania układów hydraulicznych 80

4.4.2. Pompy 91

4.4.3. Odbiorniki hydrauliczne 92

4.4.4. Elementy sterujące 92

4.4.5. Układy hydraulicznego zasilania w samojezdnych maszynach roboczych 99

4.4.6. Czujniki pomiarowe 109

4.5. Od sterowania do regulacji układu hydraulicznego 113

4.5.1. Wiadomości wstępne 113

4.5.2. Tor sterowania 114

4.5.3. Układ regulacji 115

4.6. Metoda projektowania sterowania układem hydraulicznym 116

4.6.1. Wiadomości wstępne 116

4.6.2. Modele funkcjonalne systemów sterowania 117

4.6.3. Wymagania dotyczące wyposażenia manipulatora ratowniczego 118

4.6.4. Etapy pracy podczas usuwania materiałów niebezpiecznych 119

4.6.5. Podstawowe rodzaje napędów stosowane w manipulatorach ratowniczych 120

4.6.6. Napęd hydrauliczny 121

4.7. Przykład zrealizowanego układu hydraulicznego mechanizmu obrotu 152

4.7.1. Opis stanowiska badawczego mechanizmu obrotu manipulatora sterowanego cyfrowo, z napędem silnikiem hydraulicznym 153

4.7.2. Opis użytych elementów hydraulicznych badanego układu 156

4.7.3. Opis programu sterującego 162

4.7.4. Wyniki badań 166

4.8. Podsumowanie 171

4.9. Literatura 172

5. Technologie i projektowanie komputerowych systemów pokładowych dla maszyn roboczych 175

5.1. Wprowadzenie 175

5.2. Podstawowe pojęcia i problemy 175

5.2.1. Systemy cyfrowe, komputerowe, informatyczne 175

5.2.2. Systemy cyfrowe w przemyśle (produkcyjnym) 176

5.2.3. Systemy cyfrowe w pojazdach 177

5.2.4. Maszyny robocze i ich specyfika 177

5.3. Systemy informatyczne w automatyzacji i sterowaniu (w tym w maszynach roboczych) 179

5.3.1. Rola sprzętu i oprogramowania 179

5.3.2. System wbudowany 180

5.3.3. System reaktywny 180

5.3.4. System czasu rzeczywistego 181

5.3.5. System rozproszony 182

5.4. Technologia sprzętu komputerowego w systemach wbudowanych 183

5.4.1. Sprzęt dedykowany a komercyjny 183

5.4.2. Wymagania związane z warunkami pracy i niezawodnością 184

5.4.3. Budowa komputerów przemysłowych 185

5.4.4. Komunikacja 188

5.4.5. Sensory i aktuatory oraz układy wejścia-wyjścia 192

5.4.6. Komunikacja człowiek-maszyna, czyli interfejs dla operatora, diagnosty i in. 194

5.5. Oprogramowanie 195

5.5.1. Oprogramowanie systemowe i aplikacyjne 196

| | |
|---|------------|
| 5.5.2. Systemy operacyjne czasu rzeczywistego (RTOS) | 196 |
| 5.5.3. Środowisko kodowania, uruchamiania i testowania oprogramowania | 200 |
| 5.5.4. Języki programowania (kodowania) systemów czasu rzeczywistego | 201 |
| 5.6. Projektowanie systemów wbudowanych | 203 |
| 5.6.1. Wprowadzenie | 203 |
| 5.6.2. Modele projektowania w informatyce | 203 |
| 5.6.3. Inżynieria oprogramowania i inżynieria systemów | 204 |
| 5.6.4. Projektowanie architektury przez modelowanie (MDA) | 206 |
| 5.6.5. UML i SysML | 208 |
| 5.7. Eksperymentalny system dla koparki hydraulicznej | 211 |
| 5.7.1. Założenia | 212 |
| 5.7.2. Budowa systemu eksperymentalnego | 212 |
| 5.7.3. Zadania i procesy w systemie | 214 |
| 5.7.4. Struktura oprogramowania systemu | 214 |
| 5.7.5. Uwagi końcowe | 215 |
| 5.8. Podsumowanie | 216 |
| 5.9. Rozwinięcia skrótów i akronimów | 216 |
| 5.10. Literatura | 217 |
| 6. Modelowanie dynamiczne maszyn roboczych | 219 |
| 6.1. Uwagi ogólne | 219 |
| 6.2. Kinematyka koparki | 220 |
| 6.2.1. Wprowadzenie | 220 |
| 6.2.2. Współrzędne opisujące ruch koparki | 221 |
| 6.2.3. Funkcje opisujące położenie punktów koparki | 223 |
| 6.2.4. Prędkość i przyspieszenie punktów koparki | 225 |
| 6.2.5. Kinematyka ostrza łyżki | 228 |
| 6.2.6. Kinematyka siłowników | 231 |
| 6.2.7. Kinematyka ruchu obrotowego | 240 |
| 6.2.8. Kinematyka podwozia | 243 |
| 6.3. Statyka koparki | 246 |
| 6.3.1. Statyka siłowników | 246 |
| 6.3.2. Siły nacisku na podłoże | 249 |
| 6.4. Dynamika koparki | 252 |
| 6.4.1. Wprowadzenie | 252 |
| 6.4.2. Wyznaczanie uogólnionej siły bezwładności metodą Lagrange'a | 252 |
| 6.4.3. Wyznaczanie uogólnionej siły bezwładności metodą Gaussa | 255 |
| 6.4.4. Opis siły bezwładności według metody Newtona-Eulera | 257 |
| 6.4.5. Siły obciążające koparkę | 259 |
| 6.4.6. Dynamika napełniania i rozładowania łyżki koparki | 262 |
| 6.5. Podsumowanie | 263 |
| 6.6. Literatura | 265 |
| 7. Problemy konfiguracji toru pomiarowego | 266 |
| 7.1. Wprowadzenie | 266 |
| 7.2. Realizacja fizyczna toru pomiarowego | 271 |
| 7.3. Parametry toru pomiarowego | 272 |
| 7.3.1. Właściwości statyczne toru pomiarowego | 273 |
| 7.3.2. Właściwości dynamiczne toru pomiarowego | 274 |
| 7.4. Wpływ struktury toru pomiarowego na błąd | 278 |
| 7.5. Zasilanie układów pomiarowych | 279 |
| 7.6. Przesyłanie informacji | 282 |
| 7.6.1. Przesyłanie sygnałów elektrycznych | 282 |
| 7.6.2. Transmisja radiowa | 285 |
| 7.6.3. Sieci wymiany danych | 285 |
| 7.7. Podsumowanie | 286 |
| 7.8. Literatura | 286 |
| 8. Algorytmy sterowania maszynami roboczymi | 287 |
| 8.1. Automatyczny system diagnostyczny | 287 |

| | |
|---|------------|
| 8.1.1. Budowa systemu | 287 |
| 8.1.2. Testy | 290 |
| 8.1.3. Obwody czujnikowe | 292 |
| 8.1.4. Algorytm działania systemu diagnostycznego | 297 |
| 8.2. Automatyczny system pozycjonowania | 297 |
| 8.3. Podsumowanie | 310 |
| 8.4. Literatura | 311 |
| 9. Komunikacja człowiek-maszyna robocza | 312 |
| 9.1. Wprowadzenie | 312 |
| 9.2. Podstawowe zasady projektowania interfejsów HMI | 314 |
| 9.2.1. Standaryzacja interfejsów HMI | 315 |
| 9.2.2. Podstawowe zasady projektowania interfejsów HMI | 315 |
| 9.3. System wspomagania operatora koparki | 323 |
| 9.4. System diagnostyczny koparki BRAWAL | 327 |
| 9.4.1. Automatyczny system diagnostyczny | 327 |
| 9.4.2. System automatycznego pozycjonowania | 329 |
| 9.5. Symulator diagnostyki koparki z interfejsem operatora | 332 |
| 9.5.1. Schemat funkcjonalny | 333 |
| 9.5.2. Sygnały diagnostyczne | 334 |
| 9.5.3. Selekcja i hierarchizacja wyświetlanych informacji | 335 |
| 9.5.4. Projekt interfejsu | 335 |
| 9.5.5. Program sterujący interfejsem | 355 |
| 9.6. Podsumowanie | 363 |
| 9.7. Literatura | 364 |
| 10. Praktyczne zastosowania systemów automatyzujących pracę maszyn roboczych | 365 |
| 10.1. Wprowadzenie | 365 |
| 10.2. System Wspomagania Operatora Maszyny Roboczej | 366 |
| 10.3. Automatyzacja ruchów roboczych minikoparki | 371 |
| 10.4. Badania energooszczędnych procesów urabiania | 380 |
| 10.4.1. Wprowadzenie | 380 |
| 10.4.2. Metoda przygotowania ośrodka gruntowego | 380 |
| 10.4.3. Procedura badań procesu urabiania | 381 |
| 10.4.4. Przygotowanie wzorcowej trajektorii | 381 |
| 10.4.5. Narzędzie do weryfikacji trajektorii | 385 |
| 10.4.6. Badania wpływu kąta skrawania na opory urabiania | 387 |
| 10.4.7. Podsumowanie | 390 |
| 10.5. Zdalne sterowanie pracą koparki | 392 |
| 10.6. Zastosowanie sieci CAN w sterowaniu maszyn roboczych | 397 |
| 10.7. Modułarny zautomatyzowany system sterowania agregatem ciągnikowym | 404 |
| 10.7.1. Wprowadzenie | 404 |
| 10.7.2. Model funkcjonalny układu ciągnik-narzędzie-podłoże | 406 |
| 10.7.3. Model komputerowy agregatu ciągnikowego | 409 |
| 10.7.4. Budowa systemu sterowania agregatu ciągnikowego | 413 |
| 10.7.5. Modułarny system sterowania | 415 |
| 10.7.6. Podsumowanie wyników badań | 427 |
| 10.7.7. Podsumowanie aplikacji sterowania agregatem ciągnikowym | 428 |
| 10.8. Literatura | 430 |
| 11. Podsumowanie | 433 |
| 12. Literatura uzupełniająca | 438 |