

# Spis treści

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Przedmowa</b> .....                                                           | <b>5</b>  |
| <b>1. Wprowadzenie</b> .....                                                     | <b>7</b>  |
| 1.1. Zadania i warunki sterowania ruchu statku .....                             | 7         |
| 1.2. Struktura układu sterowania ruchu statku .....                              | 8         |
| 1.3. Przyczyny i skutki nieoptymalnego sterowania ruchu statku .....             | 9         |
| <b>2. Model matematyczny ruchu statku</b> .....                                  | <b>11</b> |
| 2.1. Charakterystyki statyczne statku .....                                      | 12        |
| 2.2. Charakterystyki dynamiczne statku .....                                     | 14        |
| 2.3. Ogólna postać równań ruchu statku .....                                     | 14        |
| 2.3.1. Siły i momenty wymuszające, występujące w ruchu statku .....              | 19        |
| 2.3.2. Uprozczone postaci modelu ruchu statku .....                              | 20        |
| 2.4. Maszyna sterowa .....                                                       | 24        |
| <b>3. Zakłócenia ruchu statku</b> .....                                          | <b>27</b> |
| 3.1. Wymuszenia spowodowane wiatrem .....                                        | 27        |
| 3.2. Wymuszenia spowodowane falą .....                                           | 30        |
| 3.2.1. Opis deterministyczny .....                                               | 30        |
| 3.2.2. Opis probabilistyczny .....                                               | 31        |
| 3.2.3. Stan morza jako sposób opisu fali .....                                   | 34        |
| 3.2.4. Model oddziaływania wymuszeń spowodowanych falą morską na ruch statku ... | 37        |
| 3.3. Filtracja wymuszeń od fal morskich .....                                    | 39        |
| 3.3.1. Strefa nieczułości w roli filtra dolnopasmowego .....                     | 40        |
| 3.3.2. Dolnopasmowy filtr liniowy .....                                          | 40        |
| 3.3.3. Filtr pasmowo-zaporowy .....                                              | 42        |
| 3.4. Wymuszenia spowodowane prądami morskimi .....                               | 44        |
| <b>4. Identyfikacja statku jako obiektu sterowania</b> .....                     | <b>46</b> |
| 4.1. Identyfikacja statku metodą eksperymentu czynnego .....                     | 46        |
| 4.2. Identyfikacja statku metodą eksperymentu biernego .....                     | 51        |
| <b>5. Stateczność ruchu statku</b> .....                                         | <b>54</b> |
| 5.1. Stateczność ruchu prostoliniowego .....                                     | 56        |
| 5.2. Stateczność kursowa .....                                                   | 57        |
| 5.3. Stateczność trajektorii .....                                               | 61        |



|                                                                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6. Sterowanie kursu statku .....</b>                                                                                                        | <b>62</b>  |
| 6.1. Regulator kursu typu proporcjonalnego (P) .....                                                                                           | 64         |
| 6.2. Regulator kursu typu proporcjonalno-różniczkującego (PD) .....                                                                            | 65         |
| 6.3. Regulator kursu typu proporcjonalno-całkująco-różniczkującego (PID) .....                                                                 | 67         |
| <b>7. Sterowanie zmiany kursu statku – sterowanie w czasie manewrów .....</b>                                                                  | <b>69</b>  |
| 7.1. Model odniesienia 2. rzędu w roli filtru wstępnego .....                                                                                  | 69         |
| 7.2. Model odniesienia 2. rzędu w adaptacyjnym układzie sterowania zmiany kursu statku ..                                                      | 72         |
| <b>8. Sterowanie trajektorii statku .....</b>                                                                                                  | <b>75</b>  |
| 8.1. Metoda „od punktu do punktu” określania trajektorii statku .....                                                                          | 76         |
| 8.2. Metoda konwencjonalna określania trajektorii statku.....                                                                                  | 78         |
| <b>9. Stabilizacja kołysań bocznych statku .....</b>                                                                                           | <b>80</b>  |
| 9.1. Układ sterowania płetw stabilizujących .....                                                                                              | 82         |
| 9.2. Stabilizacja kołysań bocznych statku przy użyciu steru .....                                                                              | 86         |
| <b>10. Sterowanie napędu statku .....</b>                                                                                                      | <b>91</b>  |
| 10.1. Charakterystyki statyczne śrub napędowych .....                                                                                          | 92         |
| 10.2. Charakterystyki dynamiczne śrub napędowych .....                                                                                         | 96         |
| 10.3. Model matematyczny silnika napędowego .....                                                                                              | 97         |
| 10.4. Model matematyczny regulatora napędu statku .....                                                                                        | 99         |
| 10.5. Dwu- lub wielosilnikowy napęd śruby okrętowej .....                                                                                      | 100        |
| 10.6. Sterowanie prędkości liniowej statku .....                                                                                               | 102        |
| 10.7. Dobór algorytmu funkcyjnego kombinatora – minimalizacja zużycia paliwa .....                                                             | 105        |
| <b>11. Wpływ układu sterowania napędu statku na przebieg naprężeń skrętnych<br/>w zespole napędowym .....</b>                                  | <b>110</b> |
| 11.1. Model matematyczny zespołu napędowego, przedstawiający zależność naprężeń<br>skrętnych od przebiegu momentu napędowego i oporowego ..... | 110        |
| 11.2. Wpływ sterowania prędkości kątowej wału silnika na naprężenia skrętne w elemen-<br>tach zespołu napędowego .....                         | 114        |
| <b>12. Sterowanie napędu statku w warunkach stochastycznych .....</b>                                                                          | <b>117</b> |
| 12.1. Kryterium optymalności układu sterowania napędu statku .....                                                                             | 117        |
| 12.2. Optymalizacja układu sterowania prędkości kątowej wału silnika napędowego .....                                                          | 119        |
| <b>13. Zadania .....</b>                                                                                                                       | <b>122</b> |
| <b>Rozwiązania wybranych zadań .....</b>                                                                                                       | <b>124</b> |
| <b>Literatura .....</b>                                                                                                                        | <b>130</b> |