

**Zygfryd Domachowski
M. Hossein Ghaemi**

**OKRĘTOWE
UKŁADY
AUTOMATYKI**

Gdańsk 2019

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Janusz T. Cieśliński

RECENZENT

Zygmunt Kitowski

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI

Katarzyna Olszonowicz

Wydanie I – 2007

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<http://www.sklep.pg.edu.pl>

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej
Gdańsk 2019

ISBN 978-83-7348-786-4

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie II. Ark. wyd. 6,5, ark. druku 8,25, 1203/1078

Druk i oprawa: Volumina.pl Daniel Krzanowski
ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

Spis treści

Przedmowa	5
1. Wprowadzenie	7
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
2. Model matematyczny ruchu statku	11
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
3. Zakłócenia ruchu statku	27
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 filtru dolnopasmowego	40
3.3.2. Dolnopasmowy filtr liniowy	40
3.3.3. Filtr pasmowo-zaporowy	42
3.4. Wymuszenia spowodowane prądami morskimi	44
4. Identyfikacja statku jako obiektu sterowania	46
4.1. Identyfikacja statku metodą eksperymentu czynnego	46
4.2. Identyfikacja statku metodą eksperymentu biernego	51
5. Stateczność ruchu statku	54
5.1. Stateczność ruchu prostoliniowego	56
5.2. Stateczność kursowa	57
5.3. Stateczność trajektorii	61

6. Sterowanie kursu statku	62
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
7. Sterowanie zmiany kursu statku – sterowanie w czasie manewrów	69
7.1. Model odniesienia 2. rzędu w roli filtra wstępnego	69
7.2. Model odniesienia 2. rzędu w adaptacyjnym układzie sterowania zmiany kursu statku .	72
8. Sterowanie trajektorii statku	75
8.1. Metoda „od punktu do punktu” określania trajektorii statku	76
8.2. Metoda konwencjonalna określania trajektorii statku.....	78
9. Stabilizacja kołysań bocznych statku	80
9.1. Układ sterowania płetw stabilizujących	82
9.2. Stabilizacja kołysań bocznych statku przy użyciu steru	86
10. Sterowanie napędu statku	91
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
11. Wpływ układu sterowania napędu statku na przebieg naprężeń skrętnych w zespole napędowym	110
11.1. Model matematyczny zespołu napędowego, przedstawiający zależność naprężeń skrętnych od przebiegu momentu napędowego i oporowego	110
11.2. Wpływ sterowania prędkości kątowej wału silnika na naprężenia skrętne w elementach zespołu napędowego	114
12. Sterowanie napędu statku w warunkach stochastycznych	117
12.1. Kryterium optymalności układu sterowania napędu statku	117
12.2. Optymalizacja układu sterowania prędkości kątowej wału silnika napędowego	119
13. Zadania	122
Rozwiązania wybranych zadań	124
Literatura	130