



**О.П. Завальнюк, І.П. Завальнюк**

**ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ**

**ДЛЯ СУДНОВОГО  
ОФІЦЕРА-ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**Навчальний посібник**

Херсонська державна морська академія

О. П. Завальнюк, І. П. Завальнюк

**ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ  
ДЛЯ СУДНОВОГО ОФЦЕРА-ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

Навчальний посібник

Херсон  
ХДМА  
2018

Рецензенти:

*С. І. Горб* – д. т. н., професор кафедри «Теорія автоматичного управління та обчислювальна техніка» Одеської національної морської академії;

*В. П. Квасніков* – заслужений метролог України, д. т. н., професор, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету (м. Київ)

*Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради  
Херсонської державної морської академії  
(протокол № 5 від 9 листопада 2017 р.)*

**Завальнюк О. П.**  
3-13 Теорія автоматичного управління для суднового офіцера-електротехніка : навчальний посібник / О. П. Завальнюк, І. П. Завальнюк – Херсон : ХДМА, 2018. – 288 с.  
ISBN 978-966-2245-15-8

Відповідно до вимог Міжнародної конвенції ПДНВ-78/95/10 (Function 1: Electrical, Electronic and Control Engineering at the Operational Level, Tables A-III/6), а також рекомендацій IMO Model course 7.08 Electro-technical officer, викладено основні поняття і визначення класичної теорії автоматичного управління, принципи будови систем автоматичного управління. Особлива увага приділена типовим законам управління, цифровим і аналоговим регуляторам, сигналам в автоматичних системах управління, засобам автоматизи. Представлений матеріал супроводжується наочними прикладами з галузі морського транспорту, а також включає в себе лабораторні та практичні вправи і тестові завдання для успішного опанування теорії автоматичного управління.

Для підготовки курсантів (студентів) ступеня вищої освіти «бакалавр» з галузі знань 27 Транспорт, спеціальності 271 Річковий та морський транспорт, спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматизи» денної (заочної) форми навчання, а також для магістрів і аспірантів.

УДК 681.51-027.21:656.61(075)

ISBN 978-966-2245-15-8

© Завальнюк О. П.,  
Завальнюк І. П., 2018  
© ХДМА, 2018



## ЗМІСТ

|   |     |
|---|-----|
| <b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....</b>  | 5   |
| <b>ПЕРЕДМОВА .....</b>  | 6   |
| <b>I. ТЕОРІЯ</b>  | 7   |
| <b>Лекція №1</b><br>Основні структури систем управління (принципи автоматичного управління). Характеристика цифрових і аналогових систем управління ..... | 8   |
| <b>Лекція №2</b><br>Способи (методи) опису систем управління .....  | 28  |
| <b>Лекція №3</b><br>Типові елементи управління (типіві закони управління):<br>P, I та D. Типові регулятори (контролери):P, PI, PID .....                  | 49  |
| <b>Лекція №4</b><br>Цифрові та аналогові регулятори (контролери) .....  | 63  |
| <b>Лекція №5</b><br>Принципи вимірювання і структури в процесі управління .....   | 78  |
| <b>Лекція №6</b><br>Види чутливих елементів, що використовуються у процесі управління .....   | 89  |
| <b>Лекція №7</b><br>Обробка даних (сигнали в автоматичних системах управління) у процесі управління .....   | 119 |
| <b>Лекція №8</b><br>Виконавчі пристрої, що використовуються у процесі управління .  | 135 |
| <b>Лекція №9</b><br>Цифрові системи управління, Moore – automat, Mealy – automat ...  | 156 |
| <b>Лекція №10</b><br>Принципи і функції управління одним об'єктом, групою об'єктів та ієрархічними структурами .....                                      | 170 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Лекція №11</b>                                 |     |
| Принципи промислового частотного управління ..... | 185 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>II. ЛАБОРАТОРНІ ТА ПРАКТИЧНІ ВПРАВИ</b> | <b>200</b> |
|--|------------|

|   |     |
|---|-----|
| <b>Лабораторна робота №1</b>  |     |
| Дослідження типових динамічних ланок судових систем автоматичного управління .....              | 201 |
| <b>Лабораторна робота №2</b>  |     |
| Визначення якісних показників судових систем автоматичного управління .....                     | 209 |
| <b>Лабораторна робота №3</b>  |     |
| Синтез судової системи автоматичного регулювання .....  | 214 |
| <b>Лабораторна робота №4</b>  |     |
| Математичне моделювання нелінійних систем автоматичного управління .....                        | 221 |
| <b>Практична робота №1</b>  |     |
| Лінеаризація диференціальних рівнянь елементів судових САУ ..                                   | 230 |
| <b>Практична робота №2</b>  |     |
| Передаточні функції елементів судових САУ .....   | 235 |
| <b>Практична робота №3</b>  |     |
| Структурні схеми та їх перетворення .....   | 242 |
| <b>Практична робота №4</b>  |     |
| Складання структурних схем і передаточних функцій стежних САУ .....                             | 260 |
| <b>Практична робота №5</b>  |     |
| Визначення стійкості судових САУ за допомогою аналітичних і частотних критеріїв стійкості ..... | 271 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....                                   | 281 |
| <b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....  | 284 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АД** – асинхронний двигун;  
**АСР** – автоматична система регулювання;  
**АУП** – автоматичний управляльний пристрій;  
**АФЧХ** – амплітудно-фазова частотна характеристика;  
**АЦП** – аналого-цифровий перетворювач;  
**АЧХ** – амплітудно-частотна характеристика;  
**ВД** – виконавчий двигун;  
**ВМ** – виконавчий механізм;  
**ВП** – вимірювальний перетворювач;  
**ГА** – генераторний агрегат;  
**ГРЩ** – головний розподільний щит;  
**ДПС** – двигун постійного струму;  
**ДСПУ** – дискретна система програмного управління;  
**ДЧХ** – дійсна частотна характеристика;  
**ЕП** – електропривод;  
**ЕРС** – електрорушійна сила;  
**ЗЗ** – зворотний зв'язок;  
**I-регулятор / I-controller** – інтегральний регулятор;  
**ІД-регулятор / ID-controller** – інтегрально-диференціальний регулятор;  
**КА** – кінцевий автомат;  
**ЛАЧХ** – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;  
**ЛСУ** – локальна система управління;  
**ЛФЧХ** – логарифмічна фазочастотна характеристика;  
**МПП** – магнітопружний перетворювач;  
**ОУ** – об'єкт управління;  
**П-регулятор / P-controller** – пропорційний регулятор;  
**ПВП** – первинний вимірювальний перетворювач;  
**ПД-регулятор / PD-controller** – пропорційно-диференціальний регулятор;  
**ПІ-регулятор / PI-controller** – пропорційно-інтегральний регулятор;  
**ПІД-регулятор / PID-controller** – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;  
**ПП** – проміжний перетворювач;  
**РО** – регулюючий орган;  
**САС** – суднова автоматична система;  
**САУ** – система автоматичного управління;  
**СЕС** – суднова електростанція;  
**ТАУ** – теорія автоматичного управління;  
**УП** – управляльний пристрій;  
**УЧХ** – уявна частотна характеристика;  
**ФЧХ** – фазочастотна характеристика;  
**ЦА** – цифровий автомат;  
**ЦАП** – цифро-аналоговий перетворювач;  
**ЦПУ** – центральний пост управління.

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Теорія автоматичного управління» (ТАУ) є базовою у процесі підготовки суднового офіцера-електротехніка (електромеханіка [1]).

Офіцер-електротехнік – це фахівець, який згідно із вимогами Міжнародної конвенції ПДНВ-78/95/10 [1], здатний виконувати важливу функцію «Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління на рівні експлуатації» (*Function 1: Electrical, Electronic and Control Engineering at the Operational Level, Tables A-III/6*), а також розв'язувати складні технічні завдання, пов'язані з експлуатацією суднових систем автоматичного управління. Спеціальна підготовка суднового офіцера-електротехніка, починаючи від опанування суднових електроенергетичних систем і завершуючи питаннями комплексної автоматизації сучасних суден, базується на основоположних питаннях будови, аналізу та синтезу суднових лінійних, нелінійних та цифрових систем автоматичного управління.

Сучасні морські судна мають високу насиченість засобами автоматизації, з автоматизованими комплексами працюють всі категорії суднових фахівців. Не дивлячись на те, що експлуатацію систем автоматики здебільшого покладено на суднових електромеханіків, при виконанні своєї роботи вони активно використовують знання інших суднових фахівців: судноводіїв, механіків тощо, – які за родом своєї роботи краще знають режими роботи об'єктів, що автоматизуються, можуть чітко обґрунтувати вимоги до контролю і якості їх роботи. При подібній співпраці всіх морських спеціалістів необхідне взаємне розуміння одними фахівцями характеру робіт і проблем інших.

Метою даного курсу є опанування основ автоматичного управління відповідно до рекомендацій ІМО Model course 7.08 Electro-technical officer [2] та формування наступної компетентності:

***1.1 Спостереження за експлуатацією електричних та електронних систем, а також систем управління.***

***1.1 Monitor the operation of electrical, electronic and control systems.***

На початку кожної лекції авторами передбачений обов'язковий компонент «РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ», присвячений набутим знанням, вмінням, здібностям курсанта (студента) після вивчення і опрацювання певної теми. Автори в даному питанні керувалися добре відомою класифікацією навчальних цілей, розробленою під керівництвом Б. Блума. Формулювання результатів навчання виконане з використанням структури [3]: I. Запамятовування (Remembering, Knowledge); II. Розуміння (Comprehension, Understanding); III. Застосування (Applying); IV. Аналіз (Analysing); V. Оцінка (Evaluation, Evaluating); VI. Створення (Synthesis, Creating).



## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

### А

Автомат кінцевий 161  
– цифровий 163  
Агрегат генераторний 186

### В

Вплив гармонічний 40, 236  
– збурювальний 17, 236

### Г

Гістерезис 222  
Годограф Михайлова 277

### Д

Датчик 79  
– витрати 97  
– рівня 96  
– температури 93  
– тиску 94  
Двигун асинхронний 138, 146, 193  
– виконавчий 136, 143  
– постійного струму 33, 138, 144

### Е

Електропривод судновий 186, 190

### З

Зворотний зв'язок 10  
– – від'ємний 10  
– – гнучкий 10  
– – додатний 10  
– – жорсткий 10  
Знак автоматизації судна 11

### К

Квантування сигналу 125  
Критерії стійкості аналітичні 273  
– частотні 274  
Критерій стійкості Рауса-Гурвіца 273  
– – Ляпунова 272  
– – Михайлова 274  
– – Михайлова-Найквіста 276

### Л

Ланка аперіодична 202  
– – другого порядку 203  
– диференціальна 205  
– інтегральна 204  
– коливальна 203  
– підсилювальна 202  
Лінеаризація 230

### М

Механізм виконавчий 136  
– – гідравлічний 141  
– – електричний 142  
– – пневматичний 140  
Модель 29  
Моделювання 29  
Модуляція сигналу 126

### О

Об'єкт управління 10, 171  
Область стійкості 273  
Оператор Лапласа 233  
Орган регулюючий 136, 148



**П**

- Перетворення Лапласа 232
  - дискретне 21, 128
- Перетворювач аналого-цифровий 71, 159
  - цифро-аналоговий 71, 159
- Перетворювачі ємнісні 105
  - індуктивні 106
  - магнітопружні 108
  - потенціометричні 103
  - п'єзоелектричні 111
  - термоелектричні 102
  - терморезистивні 100
  - тензорезистивні 113
  - трансформаторні 107
- Показники якості 209
- Принципи вимірювання
  - управління 17, 18, 19
- Пристрій виконавчий 13, 136
  - задавальний 13
  - порівняльний 13
  - управляльний 10
- Процес перехідний 39, 210, 237

**Р**

- Регулятор автоматичний 64
  - Д-типу 57
  - І-типу 51, 55, 67
  - ІД-типу 53
  - П-типу 50, 54, 66, 215
  - ПД-типу 53
  - ПІ-типу 52, 68, 215
  - ПІД-типу 52, 69, 216
  - цифровий 70
- Рівняння характеристичне 271

**С**

- Сенсор 80, 90
- Сигнал аналоговий 120
  - випадковий 121
  - гармонічний 40
  - детермінований 121
  - дискретний 120

- неперіодичний 123
- періодичний 121
- помилки 13
- східчастий 235
- Система автоматична суднова 12, 14
  - автоматичного управління 9
  - багатоконтурна 172
  - багатовимірна 172
  - локальна 173
  - одновимірна 172
  - одноконтурна 171
  - цифрова 20, 71, 158
- Сполучення ланок 244
  - – за схемою зворотного зв'язку 245
  - – паралельне 245
  - – послідовне 245
- Стійкість САУ 272
- Схема САУ 9
  - – структурна 243
  - – функціональна 13

**Т**

- Теорема Ляпунова 272

**Ф**

- Функція дискретна 72, 73
  - імпульсна 38, 39, 236
  - одинична 38, 236
  - передаточна 37, 201, 233
  - перехідна 38
- Фільтр 130

**Х**

- Характеристика динамічна 32
  - статична 31
  - перехідна 237
- Характеристика частотна 39, 40
- Характеристика частотна логарифмічна 41

Навчальне видання

**Завальнюк Ольга Петрівна**  
**Завальнюк Інна Петрівна**

**ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ  
ДЛЯ СУДНОВОГО ОФІЦЕРА-ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск *Р. С. Врублевський*  
Технічний редактор *В. І. Козачок*  
Друк, фальцовально-палітурні роботи *В. Г. Удов*

Формат 60x84/12. Папір офсетний.  
Ум. друк. арк. 24,0  
Підписано до друку року 14.11.2017  
Тираж 50 примірників. Зам. № 46

Видавництво  
Херсонська державна морська академія,  
просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000  
Тел.: 49-20-20  
Ел. адреса: [rvv@ksma.ks.ua](mailto:rvv@ksma.ks.ua)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої  
справи до Державного реєстру  
ДК № 4319 від 10.05.2012