

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

# **ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

Методичні вказівки  
до виконання курсових робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
за спеціальностями – 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
та 141 «Електротехніка, енергетика та електромеханіка»

Київ 2024

УДК 62–5 [075.8]

T79

Укладачі: С.В. Іносов, канд. техн. наук, доцент;  
Т.Г. Соболевська, асистент

Рецензент Г.І. Голенков, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск А.В. Запривода, канд. техн. наук,  
доцент, зав. кафедрою автоматизації технологічних процесів

*Затверджено на засіданні кафедри автоматизації  
технологічних процесів, протокол № 6 від 13.12.2023 року.*

В авторській редакції.

**Теорія** автоматичного керування : методичні вказівки до виконання  
T79 курсових робіт / уклад. : С.В. Іносов, Т.Г. Соболевська. – Київ :  
КНУБА, 2024. – 12 с.

Містять вимоги до змісту курсової роботи з курсу Теорія  
автоматичного керування.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти за спеціальностями – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-  
інтегровані технології та робототехніка» та 141 «Електротехніка,  
енергетика та електромеханіка».

© КНУБА, 2024

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Теорія автоматичного управління» (ТАУ) є теоретичною базою для розрахунків систем автоматичного регулювання на стадії проектування. Основними є динамічні розрахунки, а саме: розрахунки стійкості і якості регулювання. ТАУ є однією зі суттєвих частин теоретичної бази, якою потрібно оволодіти майбутньому спеціалісту з автоматизації технологічних процесів, щоб успішно брати участь у проектуванні систем автоматики. В результаті вивчення ТАУ студент повинен знати:

- а) основні теоретичні положення динаміки інерційних систем;
- б) особливості застосування теорії динамічних процесів в галузі автоматизації.

Студент повинен вміти:

- а) створювати динамічні моделі систем автоматичного регулювання з використанням апарату операційного зчислення;
- б) проводити аналіз динаміки регулювання і синтез регуляторів з використанням операційного зчислення і частотних методів.

Мета курсової роботи – прищепити практичні навички динамічних розрахунків систем автоматичного регулювання частотними методами. Робота виконується з допомогою персональних комп'ютерів під час практичних і лабораторних занять.

Курсова робота вважається виконаною після захисту і здачі пояснювальної записки. На захисті можуть бути задані будь-які питання щодо змісту роботи.

Текст пояснювальної записки пишуть (друкують) з одного боку аркушів білого паперу формату 210x297 мм. Малюнки нумеруються і супроводжуються заголовками. Графіки повинні мати координатну сітку і масштаб. Записка включає титульний лист (дод. 1), зміст, основну частину, поділену на розділи. Нумерація і назви розділів співпадають з нумерацією і назвами розділів в даних методичних вказівках. Сторінки повинні бути пронумеровані. Готова записка зшивається.

В методичних вказівках обумовлюються тільки загальні алгоритми розрахунку. Програмні засоби для виконання розрахунків не деталізуються і можуть змінюватися залежно від прогресу комп'ютерної техніки, можливостей лабораторної бази кафедри автоматизації технологічних процесів, кваліфікації окремих студентів.

## ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

У курсовій роботі виконуються розрахунки динаміки автоматичного регулювання тепловим об'єктом. Об'єкт вважається лінійним стаціонарним. Передаточна функція об'єкта (з урахуванням інерційності датчика) має вигляд

$$W_0(p) = K \frac{e^{-pT_3}}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)},$$

де  $K$  – статичний коефіцієнт передачі об'єкта, %/град;

$T_1$  – перша стала часу об'єкта, хв;

$T_2$  – друга стала часу об'єкта, хв;

$T_3$  – час запізнення об'єкта, хв.

Це найпоширеніша універсальна модель для будь-яких аперіодичних промислових об'єктів регулювання.

Регульованою величиною (виходом об'єкта) є температура (в градусах). Температура навколишнього середовища приймається за нульову точку відрахунку. Керуючим впливом (входом об'єкта) є ступінь відкриття регулюючого органу (у відсотках).

Числові значення параметрів об'єкта  $K, T_1, T_2, T_3$  є заданими і різні у кожного студента (дод. 2). Номер варіанта відповідає порядковому номеру студента в списку групи.

Система автоматичного регулювання реалізує принцип регулювання за відхиленням (з контуром негативного зворотнього зв'язку). Алгоритм регулювання – пропорційно-інтегрально-диференціюючий (ПІД-регулятор). Збурення вважається приведеним до виходу об'єкта. Позиціонування виконавчого механізму вважається безінерційним.

Основна мета розрахунків – визначення оптимальної настройки параметрів ПІД-регулятора (коефіцієнта пропорційності  $K_p$ , сталої часу інтегрування  $T_i$ , сталої часу диференціювання  $T_d$ ).

Більшість розрахунків виконується чисельними частотними методами на базі теорії функцій комплексних змінних і перетворень Фур'є і Лапласа.

Дані методичні вказівки визначають обов'язкові результати розрахунків, але алгоритмічні засоби досягнення цих результатів не обмежуються.

Назва розділів записки співпадає з назвами розділів у даних методичних вказівках. Наприклад, в першому розділі записки треба навести вихідні дані для розрахунків і номер варіанта.

## МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА

Навести формулу передаточної функції об'єкта, структурні схеми об'єкта з елементарних ланок у паралельному і послідовному варіантах, числові значення параметрів цих структурних схем.

### ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА

Розрахувати амплітудо-фазо-частотну характеристику (АФЧХ) об'єкта. Відобразити її у вигляді графіків амплітудо-фазової характеристики (АФХ), логарифмічної амплітудо-частотної характеристики (ЛАЧХ) та логарифмічної фазо-частотної характеристики (ЛФЧХ) об'єкта. На графік ЛАЧХ нанести його асимптотичну ламану лінію. Навести розрахункові формули, описати методику розрахунку.

### РОЗРАХУНОК ВАГОВОЇ ТА ПЕРЕХІДНОЇ ФУНКЦІЙ ОБ'ЄКТА ЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ

Розрахувати вагову функцію (реакцію на одиничний імпульс) об'єкта як оригінал (обернене перетворення Фур'є) від АФЧХ. Розрахувати перехідну функцію (реакцію на одиничний скачок) як інтеграл від вагової функції в часовій області.

Графіки всіх функцій побудувати, навести розрахункові формули, описати методику розрахунків.

### МОДЕЛЬ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ З ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ

Накреслити структурну схему контуру регулювання за відхиленням, навести формули передаточних функцій об'єкта, пропорційно-інтегрально-циференціального регулятора (ПІД-регулятора), розімкненого контуру. Передаточну функцію замкненого контуру навести для двох варіантів:

- а) по каналу «завдання – регульована величина»;
  - б) по каналу «збурення – регульована величина».
- Збурення вважати приведеним до виходу об'єкта.

### РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОЇ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРІВ ПІДРЕГУЛЯТОРА

Обчислити коефіцієнт пропорційності  $K_p$ , %/град, сталу часу інтегрування  $T_i$ , хв, сталу часу диференціювання  $T_d$ , хв, за формулами:

$$K_p = 0,5 \cdot (T_1 + T_2) / (T_3 \cdot K)$$

$$T_i = (T_1 + T_2);$$

$$T_d = (T_1 \cdot T_2) / (T_1 + T_2)$$

Отримані значення є приблизно оптимальними за критерієм мінімальної тривалості регулювання.

Розрахувати і побудувати графік ЛАЧХ (логарифмічна амплітудо-частотна характеристика) регулятора. Навести асимптотичні лінії на цей графік. Побудувати амплітудо-фазову характеристику (АФХ) регулятора. Навести розрахункові формули.

### РОЗРАХУНОК ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗІМКНЕНОГО КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ

Розрахувати і побудувати сімейство амплітудо-фазових характеристик (АФХ) розімкненого контуру (годографів Найквіста) для трьох варіантів:

- а) параметри регулятора мають оптимальні значення;
- б)  $K_{\Pi}$  у 2,5 раза більший за оптимум;
- в)  $K_{\Pi}$  у 5 разів менший від оптимуму.

Визначити числові значення запасів стійкості за амплітудою та фазою для всіх трьох варіантів. Для оптимального варіанта а) побудувати додатково логарифмічну амплітудо-частотну характеристику (ЛАЧХ) та логарифмічну фазо-частотну характеристику (ЛФЧХ) розімкненого контуру, визначити частоту перерізу  $\omega_{\text{пр}}$ . Описати методику розрахунку.

### РОЗРАХУНОК ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНЕНОГО КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ

Розрахувати і побудувати сімейство графіків ЛАЧХ (логарифмічна амплітудо-частотна характеристика) та ЛФЧХ (логарифмічна фазо-частотна характеристика) замкненого контуру регулювання по каналу «завдання – регульована величина» для трьох варіантів:

- а) параметри регулятора мають оптимальні значення;
- б)  $K_{\Pi}$  у 2,5 раза більший за оптимум;
- в)  $K_{\Pi}$  у 5 разів менший від оптимуму.

Визначити числові значення частоти перерізу  $\omega_{\text{пр}}$ , показника коливальності  $M$ , статичної похибки  $\delta$  для всіх трьох варіантів. Оцінити приблизно тривалість регулювання для всіх трьох варіантів за формулою:  $T_{\text{рег}} = 3 \cdot M / \omega_{\text{пр}}$ . Описати методику розрахунку.

## РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНОЇ ФУНКЦІЇ ЗАМКНЕНОГО КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ

Розрахувати і побудувати сімейство перехідних функцій замкненого контуру регулювання по каналу «завдання – регульована величина» для трьох варіантів:

- а) параметри регулятора мають оптимальні значення;
- б)  $K_p$  у 2,5 раза більший за оптимум;
- в)  $K_p$  у 5 разів менший від оптимуму.

Визначити час регулювання, перерегулювання, статичну похибку для всіх трьох варіантів. Описати методику розрахунку. Перехідну функцію обчислити інтегруванням вагової функції в часі. Вагову функцію обчислити як оригінал (обернене перетворення Фур'є) від АФЧХ (амплітудо-фазо-частотна характеристика) замкненого контуру, отриманої в попередньому розділі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ладанюк А.П.* Методи сучасної теорії управління / А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Л.О. Власенко, В.В. Івашук. – Київ : Ліра, 2018. – 214 с.
2. *Попович М.Г.* Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук – Київ : Либідь, 1997. – 649 с.
3. *Ладанюк А.П.* Теорія автоматичного керування (частина I): конспект лекцій / А.П. Ладанюк, К.С. Архангельська. – Київ : НУХТ, 2007. – 102 с.
4. *Ладанюк А.П.* Теорія автоматичного керування (частина II): конспект лекцій / А.П. Ладанюк. – Київ : НУХТ, 2006. – 169 с.
5. *Худолей Г.М.* Теорія автоматичного управління : конспект лекцій / Г.М. Худолей. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 87 с.
6. *Абраменко І.Г.* Теорія автоматичного управління : конспект лекцій / І.Г. Абраменко, Д.І. Абраменко. – Харків : ХНАМБ, 2008. – 178 с.
7. *Иносов С.В.* Оптимизация алгоритма автоматического регулирования тепловыми процессами // Управление развитием сложных систем, №13 / С.В. Иносов, В.М. Корниенко. – Київ : КНУБА, 2013. – С. 104-108.

Зразок оформлення титульної сторінки курсової роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

КУРСОВА РОБОТА  
З дисципліни «Теорія автоматичного керування»

Студент: \_\_\_\_\_

Група: \_\_\_\_\_

Номер варіанта: \_\_\_\_\_

Київ 20\_\_

## Вихідні чисельні дані для розрахунків за варіантами

Група	№ студента в списку групи	Варіант	К, %/град	T <sub>1</sub> , хв	T <sub>2</sub> , хв	T <sub>3</sub> , хв
1	1	1-1	0,2	80	16	4
1	2	1-2	0,5	80	16	4
1	3	1-3	1	80	16	4
1	4	1-4	2	80	16	4
1	5	1-5	5	80	16	4
1	6	1-6	0,2	40	8	2
1	7	1-7	0,5	40	8	2
1	8	1-8	1	40	8	2
1	9	1-9	2	40	8	2
1	10	1-10	5	40	8	2
1	11	1-11	0,2	20	4	1
1	12	1-12	0,5	20	4	1
1	13	1-13	1	20	4	1
1	14	1-14	2	20	4	1
1	15	1-15	5	20	4	1
1	16	1-16	0,2	80	8	8
1	17	1-17	0,5	80	8	8
1	18	1-18	1	80	8	8
1	19	1-19	2	80	8	8
1	20	1-20	5	80	8	8
1	21	1-21	0,2	40	4	4
1	22	1-22	0,5	40	4	4
1	23	1-23	1	40	4	4
1	24	1-24	2	40	4	4
1	25	1-25	5	40	4	4
1	26	1-26	0,2	20	2	2
1	27	1-27	0,5	20	2	2
1	28	1-28	1	20	2	2
1	29	1-29	2	20	2	2

Гупа	№ студента в списку групи	Варіант	К, %/град	T <sub>1</sub> , хв	T <sub>2</sub> , хв	T <sub>3</sub> , хв
2	1	2-1	0,2	80	16	8
2	2	2-2	0,5	80	16	8
2	3	2-3	1	80	16	8
2	4	2-4	2	80	16	8
2	5	2-5	5	80	16	8
2	6	2-6	0,2	40	8	4
2	7	2-7	0,5	40	8	4
2	8	2-8	1	40	8	4
2	9	2-9	2	40	8	4
2	10	2-10	5	40	8	4
2	11	2-11	0,2	20	4	2
2	12	2-12	0,5	20	4	2
2	13	2-13	1	20	4	2
2	14	2-14	2	20	4	2
2	15	2-15	5	20	4	2
2	16	2-16	0,2	80	8	4
2	17	2-17	0,5	80	8	4
2	18	2-18	1	80	8	4
2	19	2-19	2	80	8	4
2	20	2-20	5	80	8	4
2	21	2-21	0,2	40	4	2
2	22	2-22	0,5	40	4	2
2	23	2-23	1	40	4	2
2	24	2-24	2	40	4	2
2	25	2-25	5	40	4	2
2	26	2-26	0,2	20	2	1
2	27	2-27	0,5	20	2	1
2	28	2-28	1	20	2	1
2	29	2-29	2	20	2	1

Навчально-методичне видання

# ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання курсових робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
за спеціальностями – 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
та 141 «Електротехніка, енергетика та електромеханіка»

Укладачі: **Іносов Сергій Вікторович,**  
**Соболевська Тетяна Григоріївна**

Комп'ютерне верстання *Т.І. Кукарєвої*

Підписано до друку 4.09.2024. Формат 60 × 84<sub>1/16</sub>  
Ум. друк. арк. 0,70. Обл.-вид. арк 0,75.  
Електронний документ. Вид. № 84/3–24.

Видавець і виготовлювач  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.