

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ:

**методичні рекомендації
до виконання практичної роботи № 2**

**Експериментальне визначення
статичної характеристики та кривої розгону
об'єкта керування**

Запоріжжя 2024



УДК 681.5 (072)
Т30

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 8 від 12.07.2024 р.)

Укладач:
Ісаєв А. Б., старший викладач кафедри АВЕРС

Т30 Теорія автоматичного регулювання: методичні рекомендації до виконання практичної роботи № 2 Експериментальне визначення статичної характеристики та кривої розгону об'єкта керування / уклад. А. Б. Ісаєв. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 15 с.

У методичних рекомендаціях наведено поради і методичні підходи до виконання практичного завдання № 2 з дисципліни «Теорія автоматичного регулювання», вимоги до оформлення, подання та оцінювання результатів виконання.

УДК 681.5 (072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТИНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТИ КЕРУВАННЯ	4
2 ОПИС УМОВНОЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	6
3 СТАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	7
4 КРИВА РОЗГОНУ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	7
5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ.....	8
5.1 Експеримент зі зняттям статичної характеристики об'єкта управління.....	8
5.2 Експеримент зі зняття кривої розгону об'єкта керування	9
6 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ	10
6.1 Обробка статичної характеристики об'єкта управління.....	10
6.2 Обробка кривої розгону об'єкта управління.....	10
7 ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ	12
8 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ	13
9 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ	13
10 ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	14
Навчально-методичне видання.....	15



ВСТУП

Одним із обов'язкових елементів будь-якої системи управління є об'єкт керування. Для успішного проектування та налаштування системи необхідно знати параметри об'єкта керування.

Метою даної лабораторної є вивчення методики експериментального визначення цих параметрів.

Завданням лабораторної роботи є проведення двох експериментів щодо визначення статичної характеристики та кривої розгону об'єкта керування. На підставі результатів експерименту необхідно визначити параметри, що характеризують динамічні властивості об'єкта керування, а також навести математичний опис об'єкта та оцінити точність цього опису.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТИ КЕРУВАННЯ

Об'єктом керування називають агрегат чи його ділянку, у якому протікає технологічний процес. На рисунку 1.1 показано структурну схему об'єкта керування.

Фізична величина або параметр, що характеризує перебіг процесу в об'єкті, називається величиною, що регулюється. Це може бути температура, тиск, рівень, вологість, швидкість, витрата речовини тощо. Значення регульованої величини в будь-який момент часу називають поточним значенням регульованої величини $X_{\text{пот}}$. Слід розрізняти об'єктивно існуюче дійсне або незмірне поточне значення регульованої величини G , яке недоступне безпосередньому сприйняттю людиною або регулятором, і реальне фактичне поточне значення регульованої величини, виміряне засобами контролю. Величина $X_{\text{пот}}$ представляється як матеріальний сигнал – переміщення стрілки приладу, напруги, сили струму, тиску. Поточне значення регульованої величини $X_{\text{пот}}$ є вихідною величиною об'єкта управління.

Будь-який вплив на об'єкт управління, що призводить до зміни величини, що регулюється, є вхідною величиною об'єкта управління. Основною вхідною величиною є керуюча дія Y . Вона викликає переміщення регулюючого органу 1 (заслінки, клапана, шибера і т.п.). В результаті цього змінюється витрата регулюючого середовища Q (палива, повітря, пари, електроенергії тощо) і цим досягається цілеспрямована зміна вихідної величини об'єкта управління.

Вхідними величинами об'єкта управління є також обурення навантаження Z_1, Z_2, \dots, Z_n , що призводять до небажаної зміни регульованої величини.

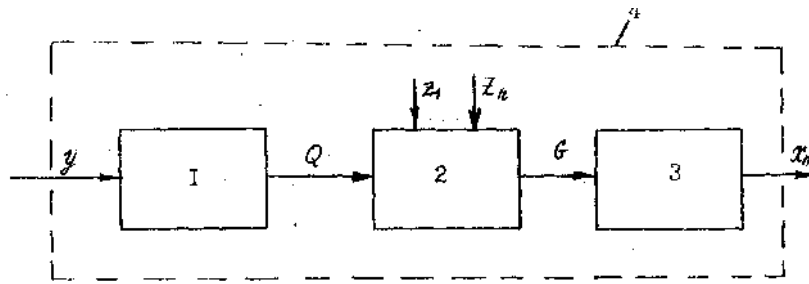


Рисунок 1.1 – Структурна схема об'єкта управління:

1 – регулюючий орган (ЛАТР);

2 – власне ділянка автоматизації;

3 – засоби вимірювання регульованої величини (термопара та вторинний прилад);

4 – об'єкт управління;

Y – регулююча дія – основна вхідна величина об'єкта управління;

Q – регульовальне середовище (електрична енергія);

Z_1, Z_2, \dots, Z_n – сукупність збурень за навантаженням – вхідні величини об'єкта управління;

G – незмірне значення регульованої величини;

$X_{\text{пот}}$ – поточне значення регульованої величини – вихідна величина об'єкта управління.

Для вибору структури та параметрів регулятора, тобто вирішення завдання синтезу АСУ, необхідно знати динамічні властивості об'єкта керування. Вони можуть бути визначені в результаті досліджень об'єкта керування, які полягають у визначенні залежності між його вихідним та вхідним величинами. Розрізняють аналітичні та експериментальні методи дослідження динамічних властивостей об'єктів керування. У свою чергу експериментальні методи поділяються на методи активного та пасивного експерименту. Справжній лабораторний практикум знайомить студентів з методами активного експерименту визначення динамічних властивостей об'єктів управління.

Сутність методів активного експерименту полягає в тому, що на вхід об'єкта, що досліджується, навмисно подаються типові вхідні впливи і знаходять реакцію об'єкта на них.

Як типові впливи на об'єкти використовують стрибкоподібні, реальні імпульсні та періодичні. Динамічні властивості об'єктів управління визначають шляхом обробки та аналізу їх реакцій на зазначені типові дії.

Слід зауважити, що при дослідженні об'єктів керування найбільший інтерес становлять динамічні властивості, що відображають залежність між вихідною величиною $X_{\text{пот}}$ і основною вхідною величиною – керуючим впливом Y .

2 ОПИС УМОВНОЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Схема умовної експериментальної установки показано малюнку 2.1.

Вихідною величиною об'єкта управління (електричної печі 3) є поточне значення температури печі $X_{\text{ПОТ}}$. Інформація про $X_{\text{ПОТ}}$ надходить від засобу виміру – наприклад, термоелектричного термометра 4, що працює спільно з автоматичним потенціометром 5.

Основною вихідною величиною регулятора є положення регулюючого органу Y - положення повзунка ЛАТРа (лабораторного автотрансформатора) 2. Положення повзунка ЛАТРа вказує стрілка ЛАТРа, жорстко прикріплена до осі обертання повзунка. За допомогою шестерної передачі з віссю обертання ЛАТР жорстко з'єднаний вал виконавчого механізму 8. На окремих стендах може використовуватися ЛАТР без виконавчого механізму.

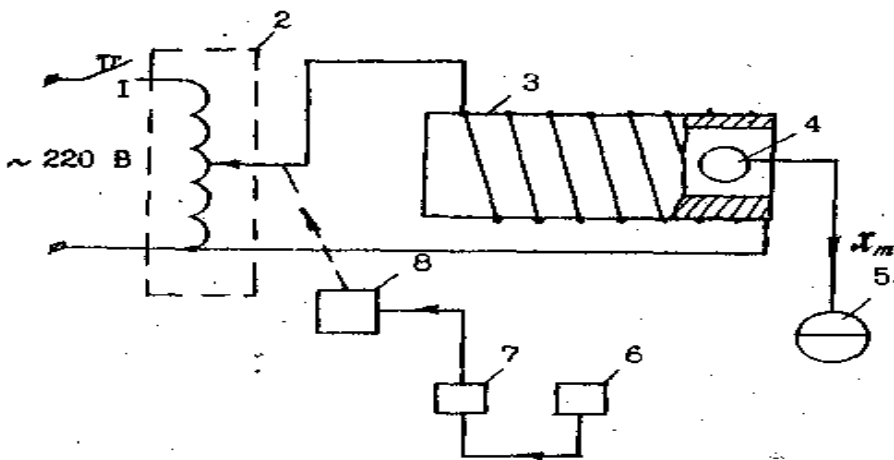


Рисунок 2.1 – Схема експериментальної установки:

- 1 – вимикач живлення;
- 2 – лабораторний трансформатор ЛАТР;
- 3 – електрична піч;
- 4 – термоелектричний термометр;
- 5 – автоматичний потенціометр;
- 6 – кнопкова станція або ключ дистанційного керування;
- 7 – універсальний перемикач;
- 8 – виконавчий механізм.

Дистанційне керування виконавчим механізмом, а через нього і ЛАТ-Ром, здійснюється ключем дистанційного керування або кнопковою станцією через 6 універсальний перемикач 7.

Як апаратуру дистанційного керування (сукупності універсального перемикача та кнопкової станції) можуть використовуватися блоки керування.

3 СТАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Статичною характеристикою об'єкта управління називають залежність між сталими значеннями вихідної та вхідної величин рисунок 3.1.

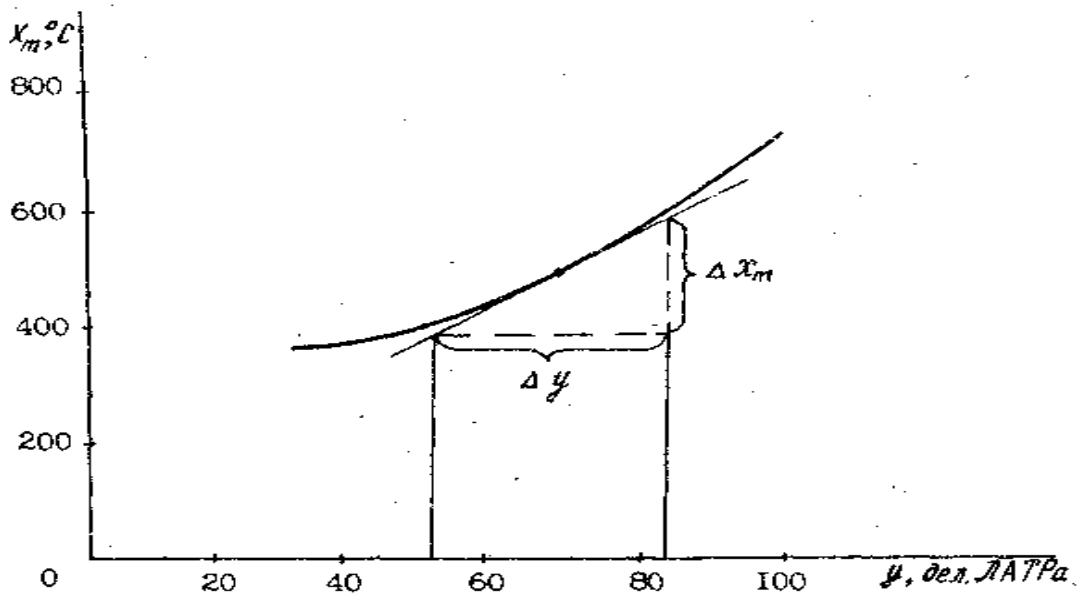


Рисунок 3.1 – Статична характеристика об'єкта керування

Статична характеристика відбиває ступінь зв'язку між величинами в режимі роботи. Кількісною мірою зв'язку є коефіцієнт передачі об'єкта керування $K_{об}$. Для будь-якої точки статичної характеристики коефіцієнт передачі об'єкта керування чисельно дорівнює першій похідній функції) у цій точці

$$K_{об} = X'_{пот} = f'(Y) \quad (3.1)$$

У формі кінцевих різниць коефіцієнт передачі об'єкта керування дорівнює відношенню зміни вихідної величини $\Delta X_{пот}$ до зміни вхідної величини ΔY , що викликала цю зміну, тобто:

$$K_{об} = \frac{\Delta X_{пот}}{\Delta Y} \quad (3.2)$$

4 КРИВА РОЗГОНУ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Кривою розгону об'єкта керування називають залежність зміни в часі вихідної величини в результаті застосування одноразового стрибкоподібного вхідного впливу за умови, що до моменту вхідного впливу об'єкт керування знаходився у сталому стані рисунок 4.1. Під одноразовою стрибкоподібною зміною вхідної величини розуміють ступінчасту непоодинокую дію, показану на малюнку 3.2. Отже, крива розгону об'єкта управління – це реакція об'єкта на стрибкоподібний вплив.

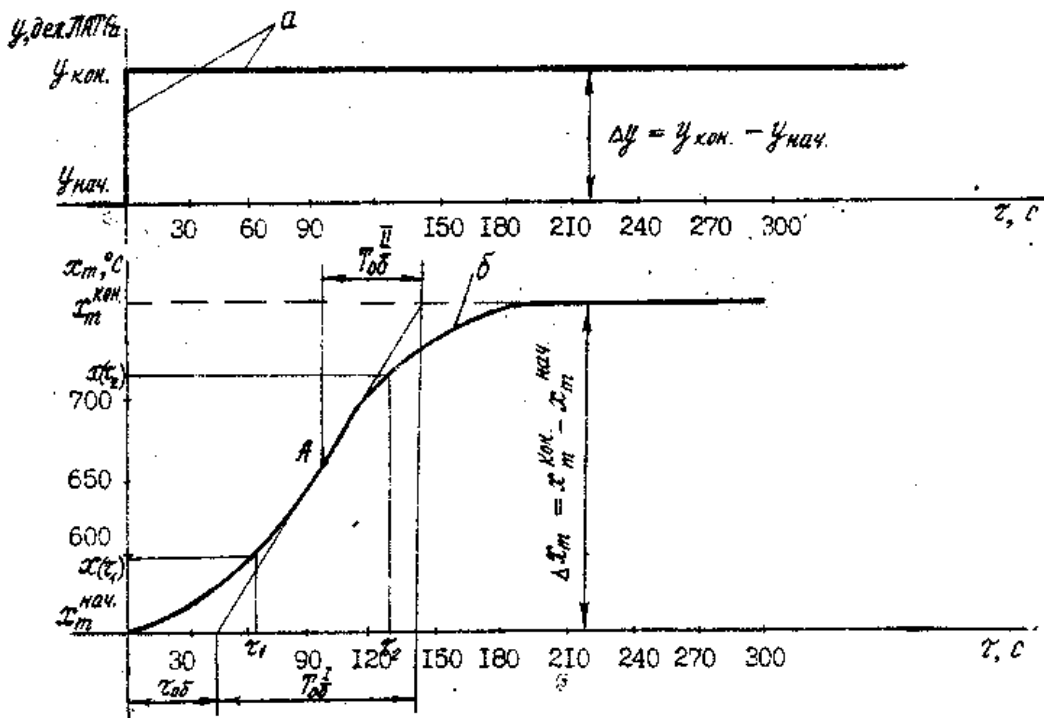


Рисунок 4.1 – Крива розгону об'єкта керування та сутність її обробки:
 а - стрибкоподібне обурення переміщенням регулюючого органу;
 б – крива розгону об'єкта управління.

5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Перед початком проведення експериментів слідую:

- увімкнути автоматичний потенціометр;
- встановити за допомогою апаратури дистанційного керування регулюючий орган ЛАТРу у положення початкове положення (значення уточнити у викладача чи навчального майстра);
- подати напругу до ЛАТР;
- дочекатися, коли вихідна величина об'єкта управління (температура печі) досягне значення, що встановилося.

5.1 Експеримент зі зняттям статичної характеристики об'єкта управління

Виміряну температуру занести до другого рядка таблиці 5.1.

Послідовно збільшувати вхідну величину об'єкта управління переміщенням приблизно на 20 поділів ЛАТР (значення уточнити у викладача або навчального майстра). Після кожного переміщення чекати значення вихідної величини, що встановилися, і заносити відповідні результати спостережень у таблицю 5.1.

У додатковому файлі Ексел наведений приклад даних які потрібно використовувати для виконання практичної роботи.

Таблиця 5.1 - Результати експерименту зі зняття статичної характеристики об'єкта управління.

Y, діл. Латра	10	20	40	60	80
X _{пот} , °C					

5.2 Експеримент зі зняття кривої розгону об'єкта керування

Експеримент зі зняття кривої розгону об'єкта управління проводять у ході експерименту зі зняття статичної характеристики дільниці від початкового значення до 80 діл ЛАТРа. (Значення уточнити у викладача або навчального майстра). Перед початком цього експерименту об'єкт управління повинен перебувати в стані. Потім одноразовим стрибкоподібним переміщенням потрібно перевести ЛАТР в положення приблизно 80 поділів. Після початкового одноразового переміщення ЛАТР його не можна доводити вперед або повертати назад, так як при цьому обурення не буде стрибкоподібним і це вплине на точність результатів експерименту. У момент внесення обурення почати відлік часу та через кожні 10 с фіксувати значення вихідної величини до тих пір, поки вона не досягне нового значення. Результати спостережень занести до таблиці 5.2, яку слід заготувати у журналі спостережень на початок експерименту.

Таблиця 5.2 - Результати експерименту зі зняття кривої розгону об'єкта управління.

Y _{поч} = 0 діл. Латра; Y _{кінц} = 80 діл. Латра							
t, з	0	10	20	30	40	і т.д.	
X _{пот} , °C	X _{пот} ^{поч}						X _{пот} ^{кінц}

Слід зазначити, що з отримання достовірних результатів у процесі зняття кривої розгону не можна допускати інших обурень, які впливають вихідну величину.

Закінчивши досвід зі зняття кривої розгону, занести до табл. 5.2 значення вихідний і вхідний величин, що встановилися, і продовжити досвід зі зняття статичної характеристики.

Повністю закінчивши проведення експериментів, слід за узгодженням з керівником занять чи лаборантом вимкнути всю апаратуру, а орган, що регулює, перевести в початкове положення.

У додатковому файлі Excel наведений приклад даних які потрібно використовувати для виконання практичної роботи.

6 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

6.1 Обробка статичної характеристики об'єкта управління

За даними таблиці 4.1 будують статичну характеристику об'єкта управління. Далі необхідно провести пряму, яка усереднює результати та визначити коефіцієнт передачі об'єкта управління, як показано на малюнку 3.1.

$$K_{об} = \frac{\Delta X_{пор}}{\Delta Y} \left[\frac{^{\circ}C}{\text{дїл.ЛАТРа}} \right] \quad (5.1)$$

6.2 Обробка кривої розгону об'єкта управління

З даних таблиці 4.2 будують графіки зміни у часі вхідний і вихідний величини (кривий розгону). Використовуючи ці графіки (рисунок 4.1) визначають параметри об'єкта управління: тоб, Тоб, Коб.

Для їх визначення необхідно до кривої розгону в точці перегину (точка А, малюнку 4.1, де швидкість зміни вихідної величини максимальна, тобто кут нахилу дотичної до осі часу найбільший) провести дотичну до перетину з початковими і кінцевими значеннями вихідної величини, що встановилися. Початкове значення вихідної величини приймають за початок відліку по осі ординат.

Час запізнення об'єкта тоб чисельно дорівнює відрізку осі часу від моменту внесення обурення до точки перетину дотичної з початковим значенням вихідної величини. Час запізнення об'єкта (розмірність – одиниці часу) характеризує відставання (запізнювання) реакції об'єкта на вхідний вплив.

Постійна часу об'єкта Тоб чисельно дорівнює подкасательной (проекції відрізка дотичної, укладеного між значеннями вихідної величини, що встановилися, на вісь часу). Постійна часу об'єкта (розмірність – одиниці часу) характеризує інерційність об'єкта, тобто швидкість перебігу процесів у об'єкті.

Коефіцієнт передачі об'єкта Коб дорівнює відношенню зміни вихідної величини до цієї зміни вхідної величини (5.1).

Коефіцієнт передачі об'єкта управління характеризує підсилювальні властивості об'єкта в встановлених (статичних) станах.

Розглянута методика визначення параметрів об'єкта управління є одним із варіантів дволанкової апроксимації об'єкта управління. Ця методика наближена, але вона набула найбільшого поширення на практиці автоматизації технологічних процесів.

Більш точно параметри об'єкта управління визначають методом триланкової апроксимації. Цей метод складніший і вимагає використання спеціальних графіків.

У рамках дволанкової апроксимації часові параметри об'єкта управління можна визначити наступними двома методами.

Другий метод полягає в тому, що постійну часу об'єкта $T_{об}^{II}$ визначають так, як показано на малюнку 4.1.

Для визначення параметрів об'єкта керування третім методом на кривій розгону знаходять дві точки.

$$X(\tau_1) = (0,1 \dots 0,15)\Delta X_{пот} \quad (5.2)$$

$$X(\tau_2) = (0,8 \dots 0,85)\Delta X_{пот} \quad (5.3)$$

За цими точками обчислюють координати

$$X1 = \frac{X(\tau_1) - X(0)}{\Delta X_T} \quad (5.4)$$

$$X2 = \frac{X(\tau_2) - X(0)}{\Delta X_T} \quad (5.5)$$

і знаходять відповідно значення 1 і 2. Дані тимчасових параметрів об'єкта управління обчислюють за виразами

$$\tau_{об}^{III} = \frac{\tau_2 \ln(1-X1) - \tau_1 \ln(1-X2)}{\ln(1-X1) - \ln(1-X2)} \quad (5.6)$$

$$T_{об}^{III} = \frac{\tau_{об}^{III} - \tau_1}{\ln(1-X1)} \quad (5.7)$$

Або

$$T_{об}^{III} = \frac{\tau_{об}^{III} - \tau_2}{\ln(1-X2)} \quad (5.8)$$

Об'єкт управління з отриманими параметрами можна розглядати як сукупність послідовно з'єднаних запізнюваних і аперіодичних ланок. Отже, передатну функцію об'єкта управління можна записати так

$$W_{об}^{ст}(p) = \frac{X_T(p)}{Y(p)} = \frac{K_{об}}{T_{об}p+1} e^{-p\tau_{об}} \quad (5.9)$$

Передавальній функції (5.9) відповідає диференціальне рівняння об'єкта управління

$$T_{об}X'_{пот}(\tau) + X_T(\tau) = K_{об}Y(\tau - \tau_{об}) \quad (5.10)$$

Рішення диференціального рівняння (5.10) за нульових початкових умов та стрибкоподібної зміни вхідної величини має вигляд

$$\Delta X_{пот}(\tau) = K_{об}\Delta Y \left(1 - e^{-\frac{\tau - \tau_{об}}{T_{об}}}\right) \quad (5.11)$$

Графік рівняння (5.11) при $\Delta Y = Y_{кінц} - Y_{поч}$ є кривою розгону, що відповідає наближеному математичному опису дійсної кривої розгону.

Для оцінки точності математичного опису експериментально отриманої кривої розгону на малюнок 3.2 разом із графіком дійсної кривої розгону необхідно побудувати графіки рівнянь (5.11), розрахованих для трьох способів дволанкової апроксимації об'єкта управління. Результати обчислень за рівнянням (5.11) слід подати у трьох таблицях, аналогічних таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Розрахунок аналітичної кривої розгону

$K_{об} = ; T_{об} = ; \tau_{об} =$							
т- тоб, з	0	10	20	30	40	і т.д.	
$\Delta X_T, ^\circ\text{C}$	0						$K_{об}\Delta Y$

Порівнюючи дійсну криву розгону з графіками рівнянь (5.11), слід оцінити, як точно вдалося математично описати динамічні властивості об'єкта управління. Зробити висновок, який метод апроксимації точніший.

7 ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Оформлення звіту з лабораторної роботи повинно відповідати вимогам, що діють на кафедрі. Звіт складається на одній стороні аркушів формату А4 і повинен включати в себе наступні елементи:

1. Титульна сторінка.
2. Тема лабораторної роботи.
3. Мета лабораторії.
4. Для завдань 5.1 і 5.2 надати короткий опис суті виконаних обчислень, використаних формул розрахунку, таблиць з результатами обчислень або витягів з них, графіків.
5. Для кожної розрахункової таблиці наведіть один приклад розрахунку, в якому показано, за якими формулами були проведені обчислення, які числа куди вставлені і які результати отримані.

Кожна формула повинна бути складена відповідно до вимог оформлення і мати номер формули, на яку посилається текст, пояснення використовуваних символів і розмірність величин, якщо такі є.

Кожна таблиця повинна бути оформлена відповідно до вимог оформлення і мати номер таблиці, зазначений у тексті, і назву таблиці.

Кожен рисунок повинен бути складений відповідно до вимог оформлення і мати номер рисунка, про який йдеться в тексті, підпис і позначення осей.

8 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Таблиця 7.1 – Критерії оцінювання

Кількість балів	Критерій оцінювання
8	Здобувач(ка) працював(ла) на практичних заняттях, приймав(ла) активну участь у виконанні завдання, виконав(ла) завдання курсу в повному обсязі та завантажив(ла) звіт в Moodle згідно з семестровим графіком (до наступного заняття)
7-6	Здобувач(ка) працював(ла) на практичних заняттях, виконав(ла) завдання курсу в повному обсязі та завантажив(ла) звіт згідно з семестровим графіком (до наступного заняття)
6-5	Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних заняттях, повністю виконав(ла) завдання курсу в повному обсязі та завантажив(ла) звіт в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку
5-1	Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних заняттях, виконав(ла) завдання курсу частково та завантажив(ла) звіт в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутня на практичних заняттях та не завантажив(ла) звіт в Moodle

9 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

У цьому розділі перераховані основні типові питання, за допомогою яких студент може перевірити рівень знань. Список не є вичерпним, але він охоплює всі основні аспекти знань, які необхідно освоїти під час виконання роботи. При захисті роботи питання можуть задаватися в спрощеному або зміненому вигляді, питання можуть бути об'єднані між собою або конкретизовані для певної ланки.

1. Що таке статична характеристика?
2. Що таке крива розгону?
3. Які параметри об'єкта керування можна визначити по статичній характеристиці?
4. Які параметри об'єкта керування можна визначити по кривій розгону?
5. Як визначити коефіцієнт передачі статичного об'єкта керування?
6. Як визначити час запізнення статичного об'єкта керування?
7. Як визначити постійну часу статичного об'єкта керування?
8. Як розрахувати теоретичну криву розгону об'єкта керування?



10 ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. 2-ге вид. Київ : Либідь, 2007. 656 с.
2. Теорія автоматичного управління : консп. лекц. у 2 ч. / уклад. Г. М. Худолей. Суми : Сумський державний університет, 2016. Ч. 1 : Аналіз лінійних систем автоматичного управління. 179 с.
3. Лістровий С. В., Мірошник М. А., Клименко Л. А. Теорія автоматичного керування, штучний інтелект і автоматизація процесу прийняття рішення : навч. посібник. Харків : УкрДУЗТ, 2019. 120 с.
4. Методи сучасної теорії управління : підручник / А. П. Ладанюк та ін. Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. 368 с.



Навчально-методичне видання

Ісаєв Андрій Борисович

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ:

методичні рекомендації
до виконання практичної роботи № 2

Експериментальне визначення
статичної характеристики та кривої розгону
об'єкта керування

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції