

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ:

**методичні рекомендації
до виконання практичної роботи № 4**

**Дослідження впливу параметрів об'єкта керування
на форму перехідного процесу та показники якості**

Запоріжжя 2024



УДК 681.5(072)
Т30

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 4 від 27.12.2024 р.)

Укладачі:

Ісаєв А. Б., старший викладач кафедри АВЕРС

Шрамко Ю. Ю., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри АВЕРС

Т30 Теорія автоматичного регулювання: методичні рекомендації до виконання практичної роботи № 4. Дослідження впливу параметрів об'єкта керування на форму перехідного процесу та показники якості / уклад. А. Б. Ісаєв, Ю. Ю. Шрамко. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 29 с.

У методичних рекомендаціях наведено поради і методичні підходи до виконання практичного завдання № 4 з дисципліни «Теорія автоматичного регулювання», вимоги до оформлення, подання та оцінювання результатів виконання.

УДК 681.5(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ	4
1.1 Короткі відомості про статичний об'єкт керування.....	4
1.2 Короткі відомості про пропорційний регулятор	5
1.3 Показники якості перехідного процесу за навантаженням.....	5
1.3.1 Окремі випадки перехідних процесів за навантаженням	7
1.4 Вплив параметрів об'єкта керування	9
2 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ	11
3 ХІД РОБОТИ ТА ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ.....	14
3.1 Дослідження впливу коефіцієнту передачі об'єкта керування.....	14
3.2 Дослідження впливу постійної часу об'єкта керування	14
3.3 Дослідження впливу часу запізнення об'єкта керування.....	15
3.4 Визначення значень показників якості по моделі.....	15
4 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОБОТИ	19
4.1 Дослідження впливу коефіцієнту передачі об'єкта керування.....	19
4.2 Дослідження впливу постійної часу об'єкта керування	21
4.3 Дослідження впливу часу запізнення об'єкта керування.....	23
4.4 Висновки.....	25
5 ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ	26
6 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ	26
7 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ	27
8 ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	27
Додаток А Варіанти завдань	28



ВСТУП

Мета практичної роботи:

- отримання та закріплення знань щодо впливу параметрів об'єкту керування на показники якості перехідних процесів за навантаженням в АСР;
- отримання навичок визначення показників якості перехідних процесів за навантаженням.

Завдання практичної роботи:

- дослідити на моделі перехідні процеси, що відбуваються в АСР, яка складається зі статичного об'єкта керування та П-регулятора;
- визначити показники якості перехідних процесів;
- визначити та побудувати залежності показників якості від параметрів об'єкта керування.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Якщо ви знайомі з наведеною тут інформацією чи окремими її частинами, то можна почати з розділу 2.

1.1 Короткі відомості про статичний об'єкт керування

В даній лабораторній роботі ми розглядаємо АСР зі статичним об'єктом керування. Він має передавальну функцію:

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

де $K_{об}$ – коефіцієнт передачі об'єкта керування, який характеризує підсилювальні властивості;

$T_{об}$ – постійна часу об'єкта керування, який характеризує інтенсивність реакції на вхідний вплив;

$\tau_{об}$ – час запізнення об'єкта керування, який характеризує відставання початку реакції на вхідний вплив.

Крива розгону статичного об'єкта керування:

$$x_{пот}(\tau - \tau_{об}) = K_{об} \cdot \Delta Z \left(1 - e^{-\frac{\tau - \tau_{об}}{T_{об}}} \right) \quad (2)$$

де ΔZ – збурення за навантаженням.

По закінченні перехідного процесу крива розгону досягає значення:

$$x_0 = K_{об} \cdot \Delta Z \quad (3)$$

1.2 Короткі відомості про пропорційний регулятор

В даній лабораторній роботі ми розглядаємо АСР з пропорційним регулятором. Він має передавальну функцію:

$$W_{\text{рег}}^{\Pi}(p) = K_{\text{рег}} \quad (4)$$

де $K_{\text{рег}}$ – коефіцієнт передачі пропорційного регулятора який характеризує підсилювальні властивості.

1.3 Показники якості перехідного процесу за навантаженням

Якщо ми маємо два зовсім різних перехідних процеси один добрий а інший поганий, то мабуть зможемо визначити який кращий. Але якщо графіки перехідних процесів подібні, то зробити це буде складно. Потрібна якась кількісна оцінка, яка дозволяє виконати розрахунки. Для цього використовуються окремі показники якості, які дозволяють порівняти окремі показники перехідних процесів. Є невелика різниця в показниках для перехідних процесів за навантаженням та за завданням.

На рисунку 1 показаний перехідний процес за навантаження у статичній АСР. Це найбільш узагальнений перехідний процес. По ньому можливо визначити всі показники якості.

Динамічна помилка X_1 це найбільше відхилення регульованої величини від завданого значення. Вона є показником точності. Вимірюється у одиницях регульованої величини. Чим її значення менше тим краще перехідний процес. Вона визначається безпосередньо по графіку або по таблиці, якщо вона є.

Динамічний коефіцієнт регулювання R_d це відносний показник динамічної точності. Він порівнює динамічну помилку X_1 з найбільше можливим значення у випадку відсутності регулятора X_0 . Вимірюється у відносних одиницях або відсотках. Чим він менше тим краще перехідний процес. Він розраховується за формулами:

$$R_d = \frac{X_1}{X_0} = \frac{X_1}{K_{ог}\Delta Z} \quad (5)$$

$$R_d = \frac{X_1}{X_0} = \frac{X_1}{K_{ог}\Delta Z} \cdot 100\% \quad (6)$$

Значення R_d може знаходитися в діапазоні $0 \leq R_d \leq 1$ або $0 \leq R_d \leq 100\%$.

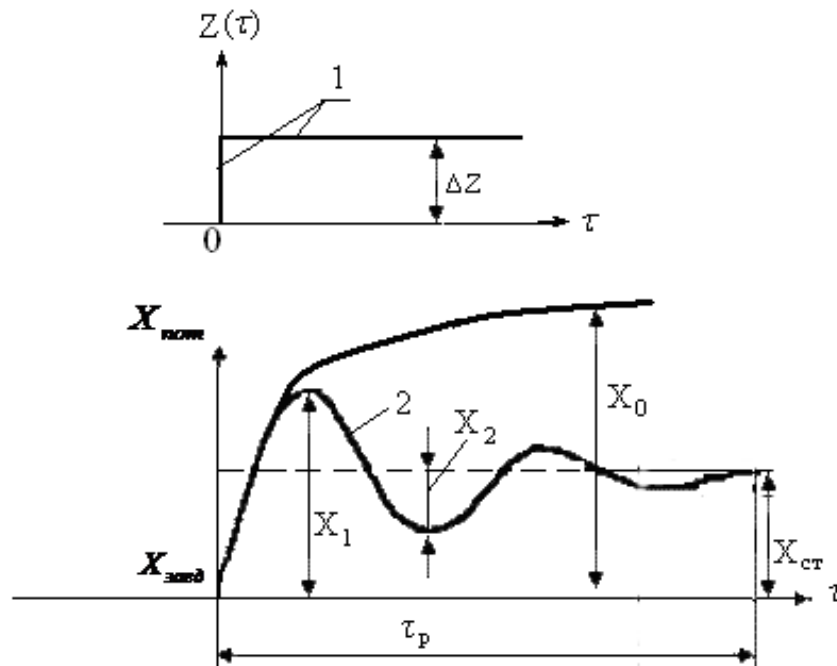


Рисунок 1 – Показники якості коливального перехідного процесу за навантаженням в статичній АСР

- 1 – збурення за навантаженням;
- 2 – коливальний процес регулювання.

Статична помилка $X_{ст}$ це залишкове відхилення регульованої величини від заданого значення після закінчення перехідного процесу. Вона є показником точності. Вимірюється у одиницях регульованої величини. Чим її значення менше тим краще перехідний процес. Вона визначається безпосередньо по графіку, або по таблиці, якщо вона. Вона збігається з віссю коливань. Статична помилка буває тільки у статичних АСУ. Це такі АСУ які використовують П-регулятор або ПД-регулятор. Відповідно до теорії вона повинна розташовуватися вище заданого значення як на рисунку 2. На практиці з інших причин може статися і навпаки.

Теоретично статична помилка може бути розраховане по формулам. Розрахункова формула залежить від типу об'єкту керування. Для статичного об'єкта керування:

$$X_{ст} = \frac{K_{об}\Delta Z}{1 + K_{об}K_{пер}} \quad (7)$$

Для астатичного об'єкта керування:

$$X_{ст} = \frac{\Delta Z}{K_{пер}} \quad (8)$$

Коефіцієнт перерегулювання δ характеризує форму перехідного процесу та його коливальність. Показує наскільки зменшується амплітуда коливань за половину періоду коливань. Вимірюється у відносних одиницях



чи у відсотках. Обчислюється як відношення амплітуди другої півхвилі коливань до амплітуди першої півхвилі коливань відносно осі коливань. З урахуванням статичної помилки може бути розрахований за формулами:

$$\delta = \frac{X_2}{X_1 - X_{ст}} \quad (9)$$

$$\delta = \frac{X_2}{X_1 - X_{ст}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Для стійких АСУ значення δ може знаходитися в діапазоні $0 \leq \delta < 1$ або $0 \leq \delta < 100\%$. Для нестійких може бути більше 1 або 100%.

Період коливань T характеризує форму перехідного процесу, а саме частоту коливань. Вимірюється у секундах. Взагалі вважається, що чим більше період коливань, тим менше навантаження на механічне обладнання АСУ. Але відносно якості процесу регулювання, чим швидше загасають коливання, тим менше час регулювання. Визначається безпосередньо по графіку або по таблиці, якщо вона є. Для цього обираються дві точки графіка, які розташовані одна від другої на відстані один період коливань. Наприклад, дві точки максимуму чи дві точки перетину осі коливань. Із звичайною частотою, яка вимірюється в Герцах період пов'язаний формулою:

$$f = \frac{1}{T}, \text{ Гц} \quad (11)$$

З так званою круговою частотою, яка часто використовується в теорії автоматичного регулювання і вимірюється в радіанах період пов'язаний формулою:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \text{ рад} \quad (12)$$

Час регулювання $\tau_{\text{рег}}$ це проміжок часу від моменту подачі вхідного впливу і до моменту, коли вихідна величина досягла сталого стану. Він є показником швидкодії. Вимірюється у секундах. Чим менше час регулювання тим краще. Можна вважати, що перехідний процес закінчився, коли відхилення регульованої величини від заданого значення стало менше необхідної точності регулювання. У виробничих умовах точність може вказати технолог, наприклад, 5°C . Самостійно можна вибрати точність, яка дорівнює точності вимірювальних приладів, наприклад 1%. При розрахунках, необхідно вибрати кілька значущих цифр, наприклад 3 чи 4.

1.3.1 Окремі випадки перехідних процесів за навантаженням

На рисунку 2 показаний коливальний перехідний процес за навантаженням у астатичній АСУ. У цьому випадку статична помилка буде відсутня, а саме:



$$X_{\text{ст}} = 0 \quad (13)$$

Також коефіцієнт перегулювання може бути обрахований за більш простою формулою:

$$\delta = \frac{X_2}{X_1 - X_{\text{ст}}} = \frac{X_2}{X_1 - 0} = \frac{X_2}{X_1} \quad (14)$$

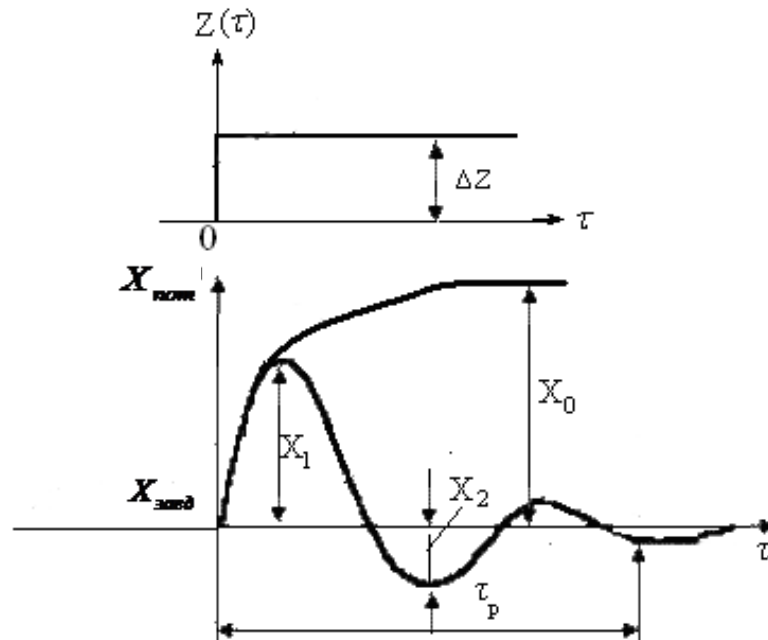


Рисунок 2 – Показники якості коливального перехідного процесу за навантаженням в астатичній АСР

- 1 – збурення по навантаженню;
- 2 – коливальний процес регулювання.

На рисунку 3 показаний аперіодичний перехідний процес за навантаженням у статичній АСУ. Так як коливання відсутні то $X_2 = 0$ і коефіцієнт перегулювання також дорівнює нулю:

$$\delta = \frac{X_2}{X_1 - X_{\text{ст}}} = \frac{0}{X_1 - X_{\text{ст}}} = 0 \quad (15)$$

При дуже млявому процесі регулювання може бути перехідний процес без перерегулювання. Тоді не буде першого максимуму. В такому випадку формально динамічна помилка X_1 буде дорівнювати статичній помилці $X_{\text{ст}}$.

Також для аперіодичного процесу регулювання період коливань відсутній.

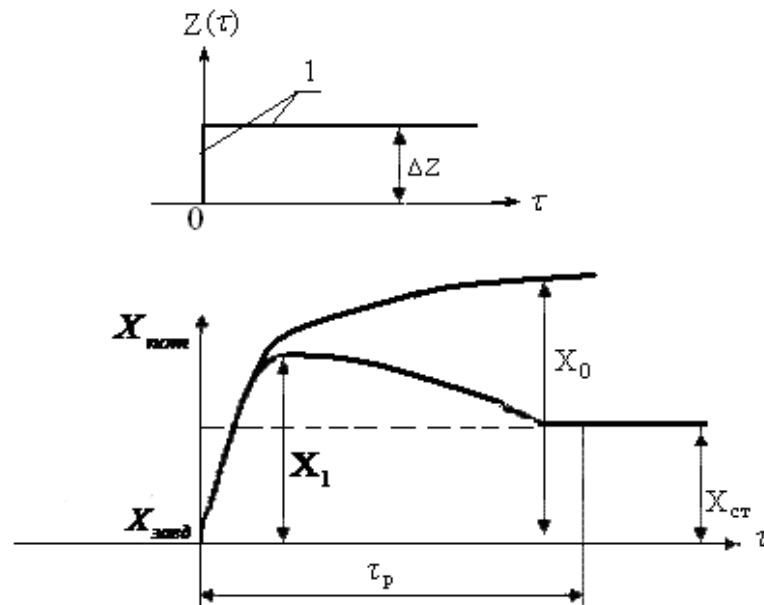


Рисунок 3 – Показники якості аперіодичного перехідного процесу за навантаженням в статичній АСР

- 1 – збурення по навантаженню;
- 2 – аперіодичний процес регулювання.

1.4 Вплив параметрів об'єкта керування

Кожний параметр об'єкта керування впливає на роботу автоматичної системи регулювання.

Для з'ясування, як на форму перехідного процесу та показники якості впливає коефіцієнт передачі об'єкта керування, розглянемо рисунок 4. На ньому показана лінія рівного загасання II, яка є кордоном стійкості. Точка А відповідає початковому стану АСР.

При збільшенні $K_{об}$ збільшується значення $K_{сист}$, яке відкладене вздовж горизонтальної осі, і стан АСР зміщується ближче до межі стійкості точка L. Таким чином зменшується запас стійкості. Тому збільшується коливальність перехідного процесу. Відповідно до теорії, частота коливань збільшується, а період коливань зменшується.

Так як при більшому $K_{об}$ реакція об'єкта керування на збурення за навантаженням буде сильнішою, то показники точності повинні погіршитись.

При зменшенні $K_{об}$ зменшується значення $K_{сист}$, яке відкладене вздовж горизонтальної осі, і стан АСР зміщується далі від межі стійкості точка N. Таким чином збільшується запас стійкості. Тому коливальність перехідного процесу стає меншою, або взагалі перехідний процес може стати аперіодичним. Відповідно до теорії частота коливань, якщо вони є, зменшується, а період коливань збільшується.

Так як при меншому $K_{об}$ реакція об'єкта керування на збурення за навантаженням буде слабшою, то показники точності повинні дещо покращитися.

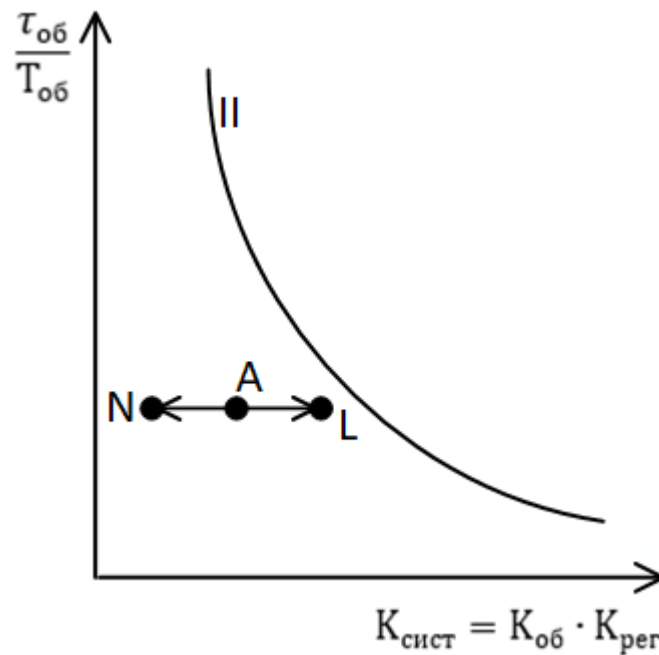


Рисунок 4 – Вплив коефіцієнту передачі об'єкта керування на стан АСР
II – кордон стійкості

Для з'ясування, як на форму перехідного процесу та показники якості впливають часові параметри об'єкта керування, розглянемо рисунок 5.

При збільшенні $T_{об}$ значення параметра відкладеного уздовж вертикальної осі зменшується, тому що $T_{об}$ знаходиться в знаменнику. Стан АСР зміщується далі до межі стійкості точка D. Таким чином збільшується запас стійкості. Тому коливальність перехідного процесу стає меншою, або взагалі перехідний процес може стати аперіодичним. Відповідно до теорії частота коливань, якщо вони є, зменшується, а період коливань збільшується.

Так як при більшому $T_{об}$ реакція об'єкта керування на збурення за навантаженням буде більш повільною, то динамічна точність повинна дещо покращитися. Параметр $T_{об}$ не входить до формули розрахунку статичної помилки (7), тому вона не повинна змінитися.

При зменшенні $T_{об}$ значення параметра відкладеного уздовж вертикальної осі збільшується, тому що $T_{об}$ знаходиться в знаменнику. Стан АСР зміщується ближче до межі стійкості точка C. Таким чином зменшується запас стійкості. Тому коливальність перехідного процесу стає більшою. Відповідно до теорії частота коливань збільшується, а період коливань зменшується.

Так як при меншому $T_{об}$ реакція об'єкта керування на збурення за навантаженням буде більш активною, то динамічна точність повинна дещо погіршитися. Параметр $T_{об}$ не входить до формули розрахунку статичної помилки (7), тому вона не повинна змінитися.

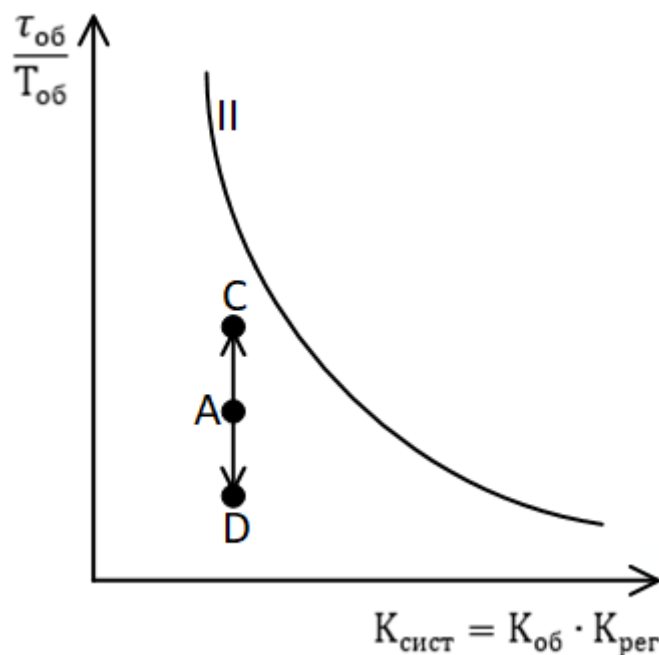


Рисунок 5 – Вплив часових параметрів об'єкта керування на стан АСР
II – кордон стійкості

При збільшенні $\tau_{об}$ значення параметра відкладеного уздовж вертикальної осі збільшується, тому що $\tau_{об}$ знаходиться в чисельнику. Стан АСР зміщується ближче до межі стійкості точка С. Таким чином зменшується запас стійкості. Тому коливальність перехідного процесу стає більшою.

Так як при більшому $\tau_{об}$ реакція об'єкта керування на керуючий вплив відбувається пізніше, то динамічна точність повинна дещо погіршитися. Параметр $\tau_{об}$ не входить до формули розрахунку статичної помилки (7), тому вона не повинна змінитися.

При зменшенні $\tau_{об}$ значення параметра відкладеного уздовж вертикальної осі зменшується, тому що $\tau_{об}$ знаходиться в чисельнику. Стан АСР зміщується далі від межі стійкості точка D. Таким чином збільшується запас стійкості. Тому коливальність перехідного процесу стає меншою, або взагалі перехідний процес може стати аперіодичним. Відповідно до теорії частота коливань зменшується, а період коливань збільшується.

Так як при меншому $\tau_{об}$ реакція об'єкта керування на керуючий вплив відбувається раніше, то динамічна точність повинна дещо покращитися. Параметр $\tau_{об}$ не входить до формули розрахунку статичної помилки (7), тому вона не повинна змінитися.

2 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

Для дослідження перехідних процесів використовується експериментально модель побудована за допомогою Microsoft Office Excel. Вона знаходиться у файлі з ім'ям ТАР Моделювання впливу параметрів об'єкта керування.xlsx.



Лист поділений на кілька логічних частин. В лівій частині розташовані початкові дані. На рисунку 6 показані поля для вводу початкових даних. Вводити дані потрібно в клітини позначені жовтим кольором. В даній лабораторній роботі необхідно змінювати тільки параметри об'єкта керування. Це безпосередньо буде впливати на результати моделювання.

У цій лабораторній роботі використовується пропорційний регулятор з коефіцієнтом передачі 1. Час інтегрування заданий великий 999999, що означає, що інтегральної складової немає. Час диференціювання заданий 0, що означає, що диференційної складової немає. Такі налаштування дозволяють позбутися впливу інших параметрів окрім параметрів об'єкта керування.

Регулятор	
Крег =	1
Тінт =	999999
Тдиф =	0
Об'єкт керування	
Коб =	10
Тоб =	92
тоб =	8
Вхідні значення	
Z =	25
Хзавд =	0

Рисунок 6 – Параметри об'єкта керування, регулятора та вхідні значення

В центральній верхній частині розташована структурна схема автоматичної системи регулювання (АСР). Вона представлена на рисунку 7. На ній показано як зв'язані між собою частини АСР. При зміні початкових даних відповідні зміни відбуваються і у структурній схемі. Сама структурна схема ніяк не впливає на результати моделювання і в ній не потрібно нічого змінювати.

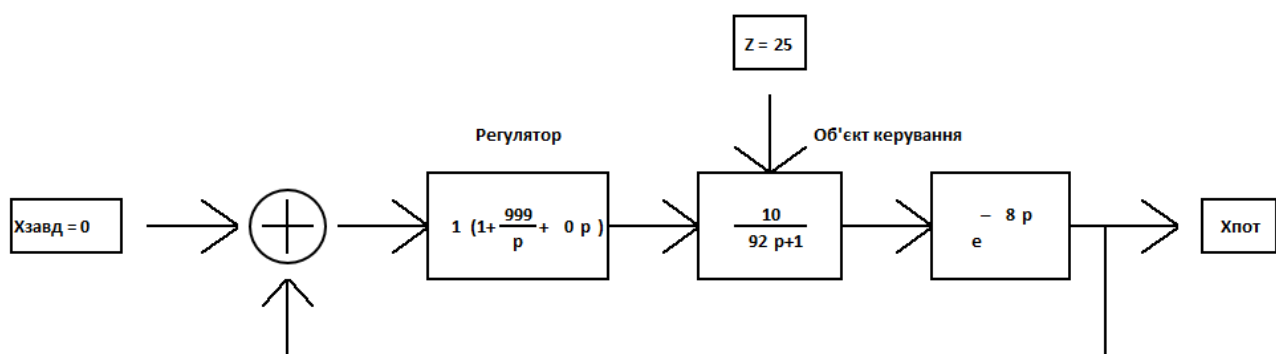


Рисунок 7 – Структурна схема автоматичної системи регулювання



В правій частині розташована розрахункова таблиця рисунок 8. В неї занесені формули по яким виконується моделювання роботи АСР. Вона сягає кількох тисяч рядків. На початку в ній багато нулів. Далі з'являються результати моделювання. В ній не треба нічого змінювати. В ній потрібно тільки шукати необхідні дані.

τ	Z	X _{пот}	X _{завд}	X	Y _{проп}	Y _{інт}	Y _{диф}	Y
7,68	25	0	0	0	0	0	0	0
7,76	25	0	0	0	0	0	0	0
7,84	25	0	0	0	0	0	0	0
7,92	25	0	0	0	0	0	0	0
8	25	0	0	0	0	0	0	0
8,08	25	0,217391	0	-0,21739	-0,21739	-1,7E-08	0	-0,21739
8,16	25	0,434594	0	-0,43459	-0,43459	-5,2E-08	0	-0,43459
8,24	25	0,651607	0	-0,65161	-0,65161	-1E-07	0	-0,65161
8,32	25	0,868432	0	-0,86843	-0,86843	-1,7E-07	0	-0,86843
8,4	25	1,085068	0	-1,08507	-1,08507	-2,6E-07	0	-1,08507
8,48	25	1,301516	0	-1,30152	-1,30152	-3,6E-07	0	-1,30152

Рисунок 8 – Розрахункова таблиця

В центральній нижній частині розташований графік з результатами моделювання рисунок 9. На ньому показний графік поточного значення вихідної величини АСР, яке позначено як $X_{\text{пот}}$.

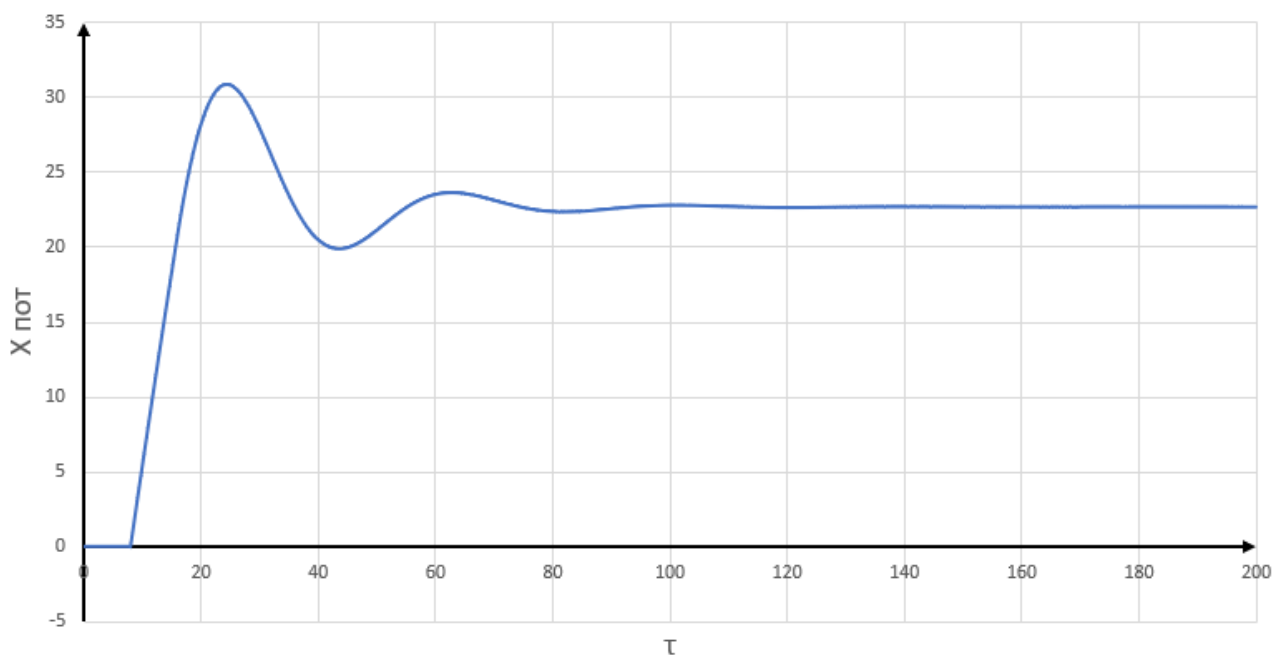


Рисунок 9 – Графік процесу регулювання за навантаженням



3 ХІД РОБОТИ ТА ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ

Варіант завдання вибрати в додатку А по номеру за списком групи.

3.1 Дослідження впливу коефіцієнту передачі об'єкта керування

Для дослідження впливу коефіцієнту передачі об'єкта керування на форму перехідного процесу та показники якості необхідно змінювати значення цього параметра в моделі клітина С7. Для дослідження рекомендуються наступні значення: 3, 5, 7, 10, 15, 20. Для кожного значення необхідно визначити показники якості та занести їх в таблицю 1. Як їх визначати дивитись п. 3.4 та приклад розрахунків п. 4.. По результатам побудувати графіки залежності динамічної помилки X_1 , статичної помилки $X_{ст}$, коефіцієнту перерегулювання δ , кругової частоти ω та часу регулювання $\tau_{рег}$.

Таблиця 1 Залежність показників якості від коефіцієнту передачі об'єкта керування

$K_{об}$	X_1	R_d	$X_{ст}$	X_2	δ	$T_{пер}$	ω	$\tau_{рег}$
3								
5								
7								
10	30,93	0,124	22,72	2,79	0,34	38,4	0,164	110
15								
20								

3.2 Дослідження впливу постійної часу об'єкта керування

Для дослідження впливу постійної часу об'єкта керування на форму перехідного процесу та показники якості необхідно змінювати значення цього параметра в моделі клітина С8. Для дослідження рекомендуються наступні значення: 45, 60, 92, 120, 160, 220. Для кожного значення необхідно визначити показники якості та занести їх в таблицю 2. Як їх визначати дивитись п. 3.4 та приклад розрахунків п. 4.. По результатам побудувати графіки залежності динамічної помилки X_1 , коефіцієнту перерегулювання δ , кругової частоти ω та часу регулювання $\tau_{рег}$.

Таблиця 2 Залежність показників якості від постійної часу об'єкта керування

$T_{об}$	X_1	R_d	$X_{ст}$	X_2	δ	$T_{пер}$	ω	$\tau_{рег}$
45								
60								



92	30,93	0,124	22,72	2,79	0,34	38,4	0,164	110
120								
160								
220								

3.3 Дослідження впливу часу запізнення об'єкта керування

Для дослідження впливу часу запізнення об'єкта керування на форму перехідного процесу та показники якості необхідно змінювати значення цього параметра в моделі клітина С9. Для дослідження рекомендуються наступні значення: 3, 4.5, 6, 8, 11, 17. Для кожного значення необхідно визначити показники якості та занести їх в таблицю 3. Як їх визначати дивитись п. 3.4 та приклад розрахунків п. 4.. По результатам побудувати графіки залежності динамічної помилки X_1 , коефіцієнту перерегулювання δ , кругової частоти ω та часу регулювання $\tau_{\text{рег}}$.

Таблиця 3 Залежність показників якості від часу запізнення об'єкта керування

$\tau_{\text{об}}$	X_1	R_d	$X_{\text{ст}}$	X_2	δ	$T_{\text{пер}}$	ω	$\tau_{\text{рег}}$
3								
4.5								
6								
8	30,93	0,124	22,72	2,79	0,34	38,4	0,164	110
11								
17								

3.4 Визначення значень показників якості по моделі

Після введення необхідних значень параметрів об'єкта керування відразу відбувається розрахунок. Значення показників якості визначаються за допомогою графіка та розрахункової таблиці. При дослідженні впливу всіх трьох параметрів показники якості визначаються однаково.

Для визначення значення динамічної помилки X_1 необхідно знайти на графіку максимум першої півхвилі та визначити його приблизний час рисунок 10. У нашому випадку приблизно $\tau_1 \approx 25$ с. Дали перегорнути розрахункову таблицю до відповідного моменту часу та у стовбці $X_{\text{пот}}$ знайти найближче найбільше значення рисунок 11. Число із стовбця $X_{\text{пот}}(\tau_1) = 30,93$ занести в стовбець таблиці X_1 , а час $\tau_1 = 24.4$ запам'ятати для подальшого розрахунку періоду коливаль.

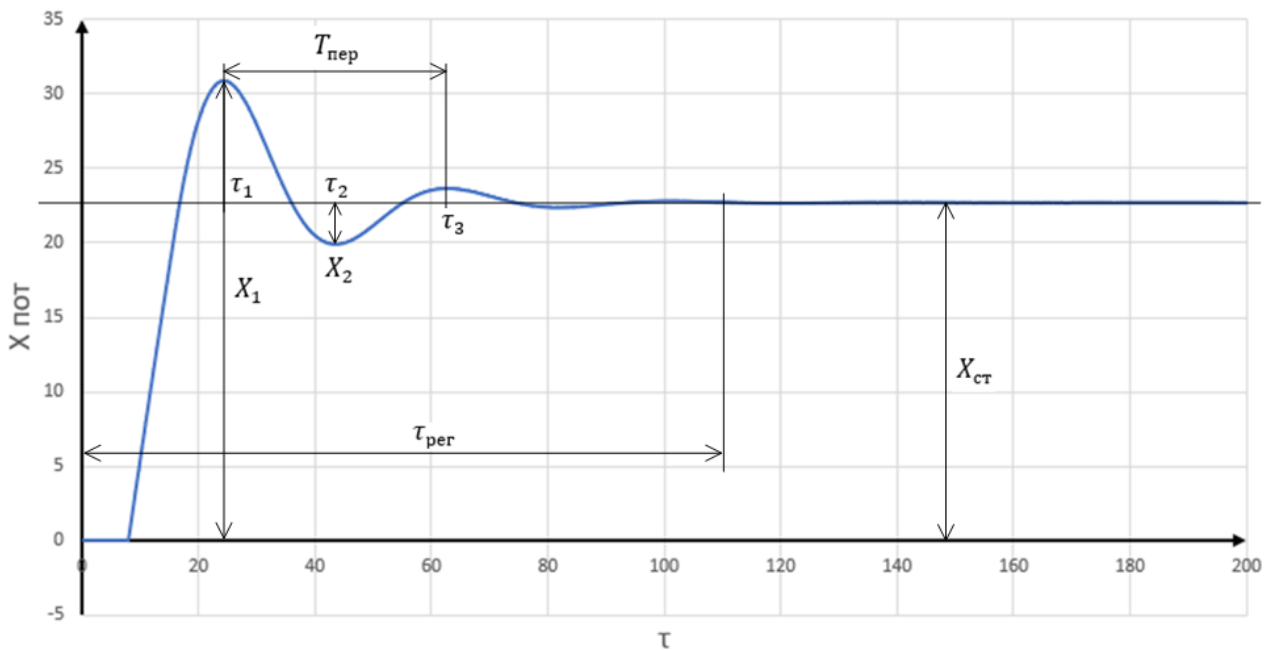


Рисунок 10 – Визначення показників якості

τ	Z	$X_{\text{пот}}$
24	25	30,90782
24,08	25	30,91549
24,16	25	30,92146
24,24	25	30,92574
24,32	25	30,92835
24,4	25	30,92932
24,48	25	30,92866
24,56	25	30,92639
24,64	25	30,92253
24,72	25	30,9171
24,8	25	30,91012

Рисунок 11 – Визначення максимуму першої півхвилі X_1

Динамічний коефіцієнт регулювання розраховуємо по формулі (5). Для нашого випадку:

$$R_d = \frac{X_1}{K_{об}\Delta Z} = \frac{30,93}{10 \cdot 25} = \frac{30,93}{250} = 0,124 \quad (16)$$

Результат заносимо в таблицю у стовбець R_d .

Статичну помилку рисунок 10 можна визначити як постійне значення в кінці процесу регулювання в стовбці $X_{\text{пот}}$. У нашому випадку $X_{\text{ст}} = 22,72$. Якщо коливання не припинились або для перевірки статичну помилку можна розрахувати по формулі (7). У нашому випадку:

$$X_{\text{ст}} = \frac{K_{об}\Delta Z}{1 + K_{об}K_{пер}} = \frac{10 \cdot 25}{1 + 10 \cdot 1} = \frac{250}{11} = 22,73 \quad (17)$$

Результат заносимо в таблицю у стовбець $X_{\text{ст}}$.

Далі знаходимо амплітуду другої півхвилі X_2 рисунок 10. Для цього спочатку потрібно по графіку визначити приблизний час мінімуму другої півхвилі. У нашому випадку приблизно $\tau_2 \approx 44$ с. Дали перегорнути розрахункову таблицю до відповідного моменту часу та у стовбці $X_{\text{пот}}$ знайти найближче найменше значення рисунок 12. Але це значення $X_{\text{пот}}(\tau_2) = 19.93$ не є саме X_2 . Його потрібно додатково розрахувати:

$$X_2 = X_{\text{ст}} - X_{\text{пот}}(\tau_2) = 22,72 - 19,93 = 2,79 \quad (18)$$

Результат заносимо в таблицю у стовбець X_2 . Навить якщо на графіку друга півхвиля виглядає маленькою, то по таблиці все одно вдається точно визначити значення. Якщо друга півхвиля зовсім не помітна, то процес регулювання аперіодичний. Тоді приймаємо $X_2 = 0$.

τ	Z	$X_{\text{пот}}$	λ
43,12	25	19,93544	
43,2	25	19,93237	
43,28	25	19,92985	
43,36	25	19,9279	
43,44	25	19,92649	
43,52	25	19,92563	
43,6	25	19,92531	
43,68	25	19,92553	
43,76	25	19,92628	
43,84	25	19,92755	
43,92	25	19,92935	
44	25	19,93166	
44,08	25	19,93448	

Рисунок 12 – Визначення мінімуму другої півхвилі X_2

Коефіцієнт перерегулювання розраховуємо по формулі (9). Для нашого випадку:

$$\delta = \frac{X_2}{X_1 - X_{\text{ст}}} = \frac{2.79}{30.93 - 22.72} = 0.34 \quad (19)$$

Результат заносимо в таблицю у стовбець δ . Якщо друга півхвиля зовсім не помітна та $X_2 = 0$, то процес регулювання аперіодичний. Тоді приймаємо $\delta = 0$.

Для визначення періоду коливань необхідно визначити час τ_3 максимуму третьої півхвилі рисунок 10. Для цього спочатку потрібно по графіку визначити приблизний час максимуму третьої півхвилі. У нашому випадку приблизно $\tau_3 \approx 63$ с. Дали перегорнути розрахункову таблицю до відповідного моменту часу та у стовбці $X_{\text{пот}}$ знайти найближче найбільше значення рисунок 13. Треба визначити момент часу максимуму. У нашому випадку $\tau_3 = 62,8$. Далі період розрахувати по формулі. У нашому випадку:



$$T_{\text{пер}} = \tau_3 - \tau_1 = 62,8 - 24,4 = 38,4 \quad (20)$$

Результат заносимо в таблицю у стовбець $T_{\text{пер}}$. Навить якщо на графіку третя півхвиля виглядає маленькою, то по таблиці все одно вдається точно визначити значення. Якщо друга та третя півхвилі зовсім не помітні то залишаємо клітину пустою, ніякого періоду коливач не має, тому що графік аперіодичний.

τ	Z	X _{пот}	X _з
62,24	25	23,6793	
62,32	25	23,68055	
62,4	25	23,68161	
62,48	25	23,68247	
62,56	25	23,68315	
62,64	25	23,68363	
62,72	25	23,68393	
62,8	25	23,68405	
62,88	25	23,68398	
62,96	25	23,68373	
63,04	25	23,6833	
63,12	25	23,68269	
63,2	25	23,6819	
63,28	25	23,68094	
63,36	25	23,67981	
63,44	25	23,6785	

Рисунок 13 – Визначення часу максимуму третьої півхвилі τ_3

Кругову частоту коливач розраховуємо по формулі (12). У нашому випадку:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{38,4} = 0,164 \quad (21)$$

Результат заносимо в таблицю у стовбець ω . Якщо друга та третя півхвилі зовсім не помітні то залишаємо клітину пустою, ніякої частоти коливач не має, тому що графік аперіодичний.

Час регулювання визначаємо візуально приблизно до моменту часу, коли відхилення не помітні. Для всіх експериментів треба притримуватися однакового підходу. У нашому випадку $\tau_{\text{рег}} \approx 110$ с. Результат заносимо у таблицю у стовбець $\tau_{\text{рег}}$. Якщо АСР не стійка, то коливач ніколи не припиняться і клітину залишаємо пустою.



4 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Дослідження впливу коефіцієнту передачі об'єкта керування

Кілька разів змінюємо значення коефіцієнту передачі об'єкта керування та моделюємо роботу АСР. По результатам моделювання розраховуємо показники якості та заносимо їх в таблицю 4.

Таблиця 4 Залежність показників якості від коефіцієнту передачі об'єкта керування

$K_{об}$	X_1	R_d	$X_{ст}$	X_2	δ	$T_{пер}$	ω	$\tau_{рег}$
3	18,75	0,250	18,75	0	0,000			100
5	21,17	0,169	20,83	0	0,000			60
7	24,75	0,141	21,87	0,36	0,125	47,76	0,132	65
10	30,93	0,124	22,72	2,79	0,340	38,40	0,164	110
15	41,4	0,110	23,44	12,94	0,741	32,80	0,192	300
20	51,81	0,104	23,81	30,57	1,092	30,40	0,207	

По даним таблиці 4 будемо графіки залежності показників якості від коефіцієнту передачі об'єкта керування рисунки 14...18.

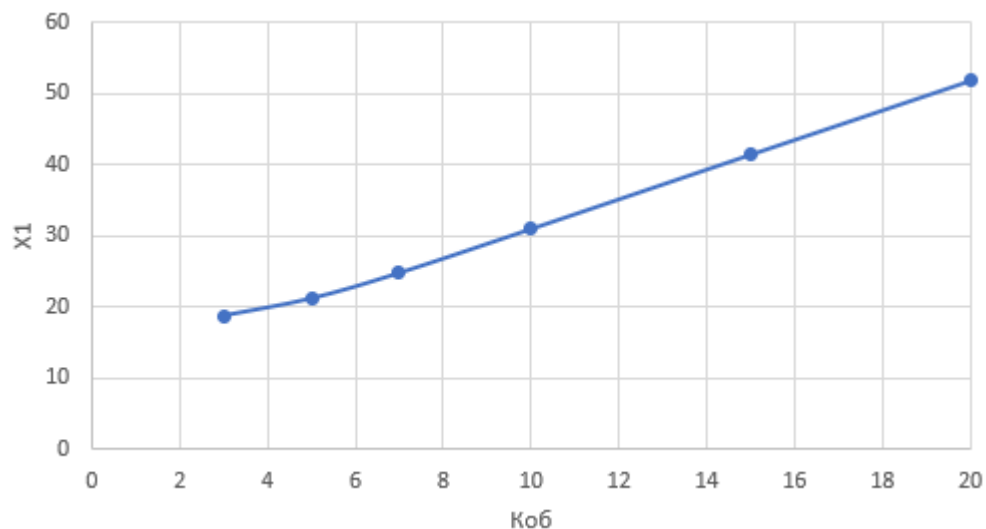


Рисунок 14 – Залежність динамічної помилки від коефіцієнту передачі об'єкта керування

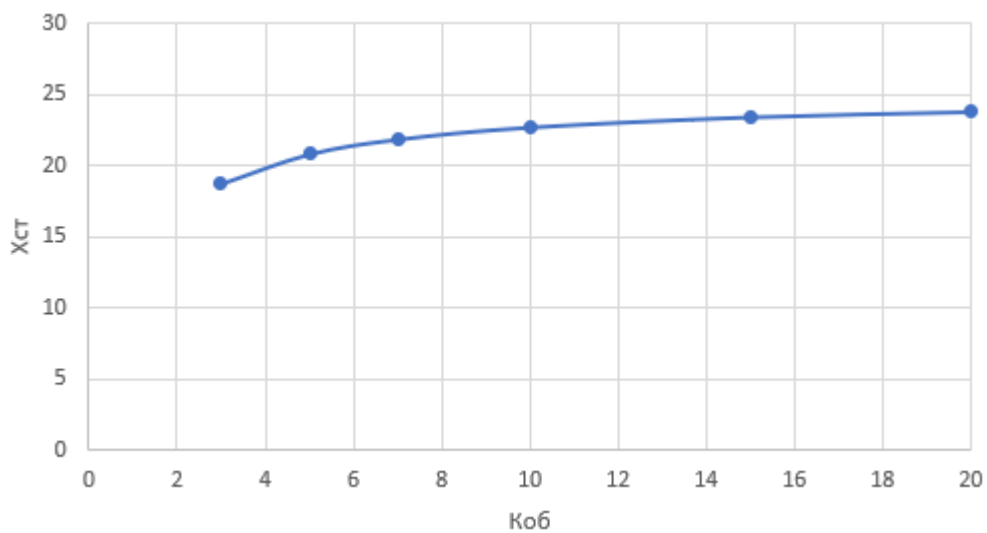


Рисунок 15 – Залежність статичної помилки від коефіцієнту передачі об'єкта керування

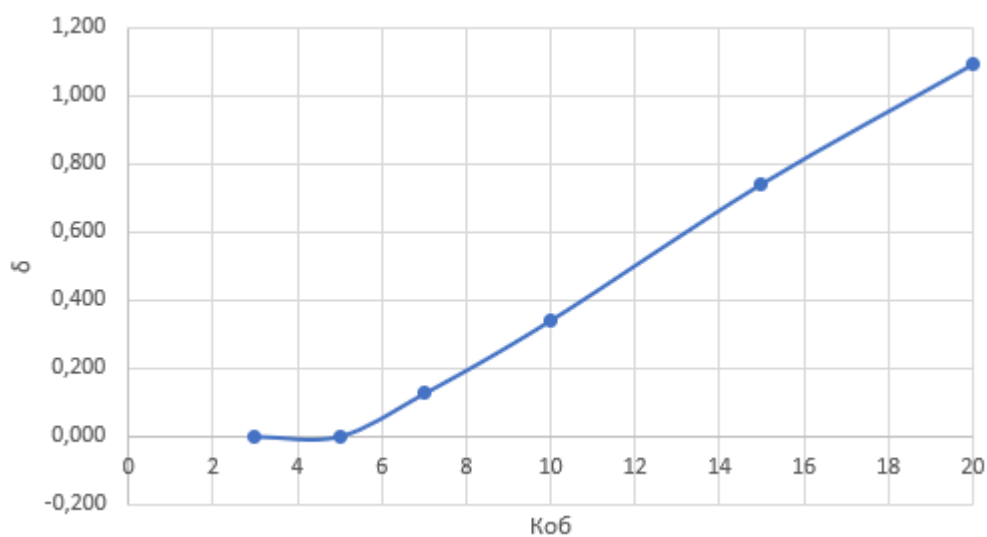


Рисунок 16 – Залежність коефіцієнту перерегулювання від коефіцієнту передачі об'єкта керування

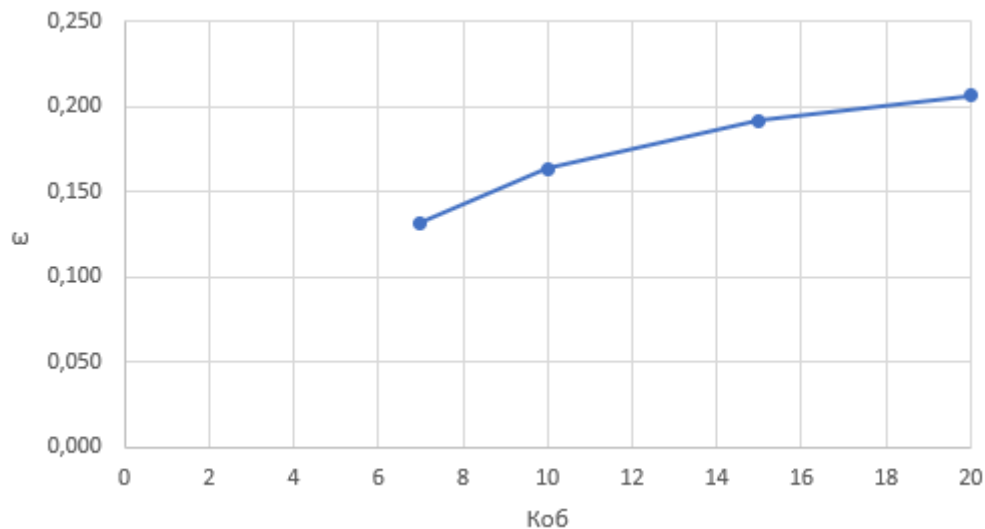


Рисунок 17 – Залежність кругової частоти коливань від коефіцієнту передачі об'єкта керування

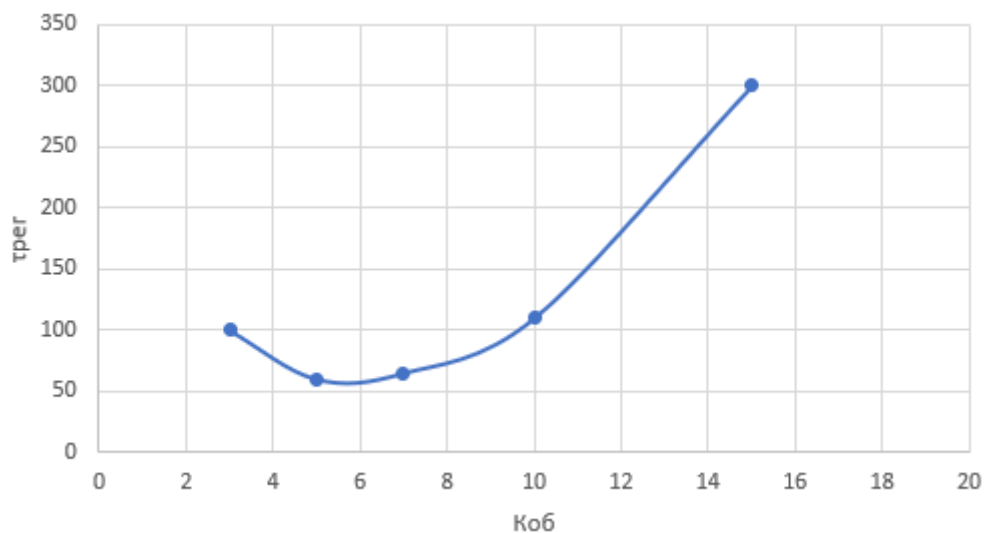


Рисунок 18 – Залежність часу регулювання від коефіцієнту передачі об'єкта керування

4.2 Дослідження впливу постійної часу об'єкта керування

Кілька разів змінюємо значення постійної часу об'єкта керування та моделюємо роботу АСР. По результатам моделювання розраховуємо показники якості та заносимо їх в таблицю 5.

По даним таблиці 4 будуємо графіки залежності показників якості від коефіцієнту передачі об'єкта керування рисунки 19...22.

Таблиця 5 Залежність показників якості від постійної часу об'єкта керування



$T_{об}$	X_1	R_d	$X_{ст}$	X_2	δ	$T_{пер}$	ω	$\tau_{пер}$
45	49,1	0,196	22,73	28,2	1,069	29,6	0,212	
60	40,39	0,162	22,73	12,88	0,729	32,16	0,195	300
92	30,93	0,124	22,73	2,8	0,341	38,40	0,164	110
120	26,77	0,107	22,73	0,69	0,171	45,36	0,139	70
160	23,78	0,095	22,73	0	0,000			55
220	22,73	0,091	22,73	0	0,000			70

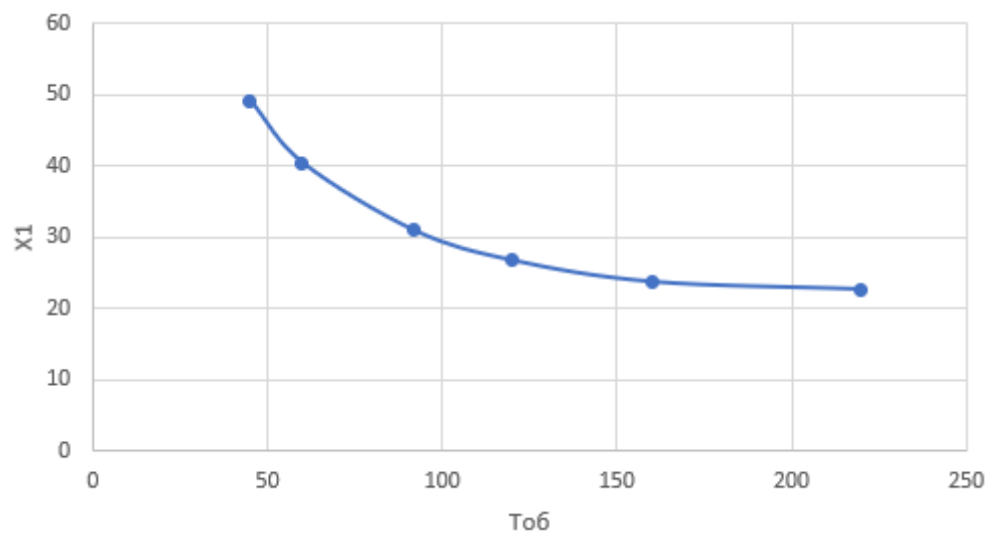


Рисунок 19 – Залежність динамічної помилки від постійної часу об'єкта керування

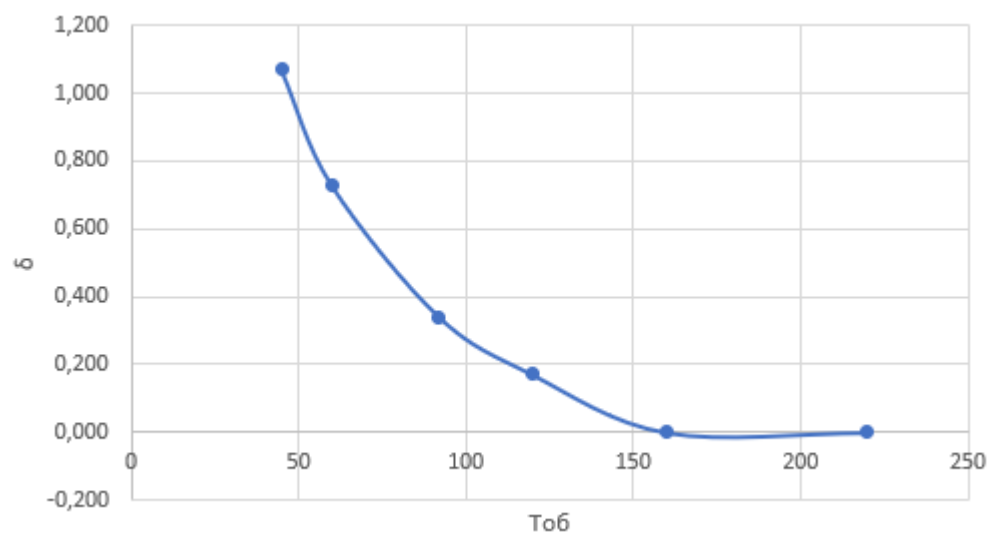


Рисунок 20 – Залежність коефіцієнту перерегулювання від постійної часу об'єкта керування

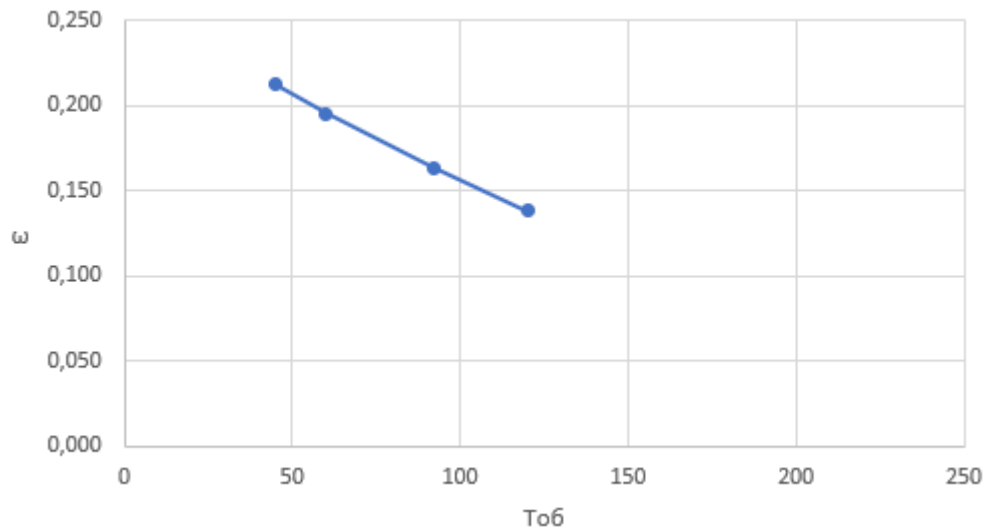


Рисунок 21 – Залежність кругової частоти коливань від постійної часу об'єкта керування

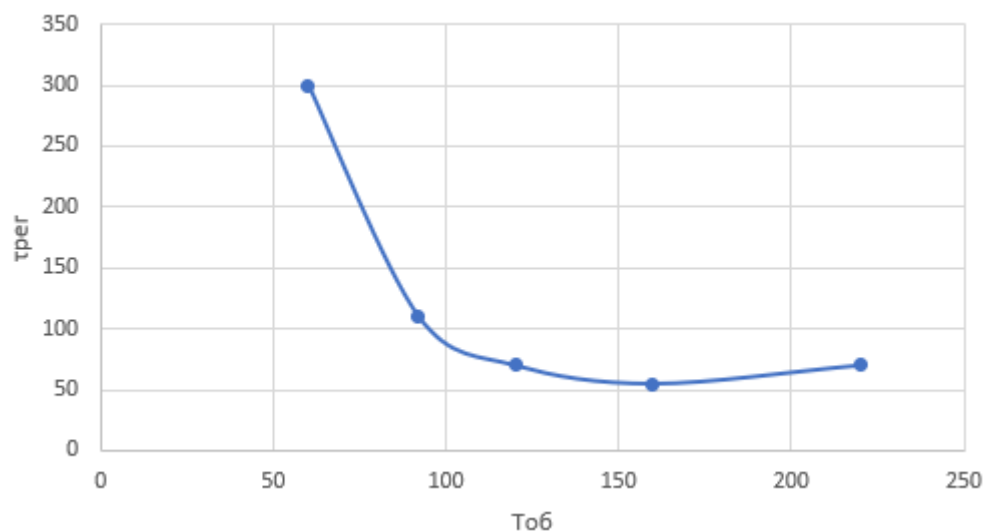


Рисунок 22 – Залежність часу регулювання від постійної часу об'єкта керування

4.3 Дослідження впливу часу запізнення об'єкта керування

Кілька разів змінюємо значення часу запізнення об'єкта керування та моделюємо роботу АСР. По результатам моделювання розраховуємо показники якості та заносимо їх в таблицю 6.

По даним таблиці 4 будуємо графіки залежності показників якості від коефіцієнту передачі об'єкта керування рисунки 23...26.

Таблиця 6 Залежність показників якості від часу запізнення об'єкта керування



$\tau_{об}$	X_1	R_d	$X_{ст}$	X_2	δ	$T_{пер}$	ω	$\tau_{пер}$
3	22,73	0,0909	22,73	0	0,000			35
4.5	23,63	0,0945	22,73	0	0,000			35
6	26,5	0,1060	22,73	0,6	0,159	34,56	0,182	60
8	30,93	0,1237	22,73	2,8	0,341	38,40	0,164	110
11	37,62	0,1505	22,73	9,19	0,617	45,87	0,137	300
17	50,44	0,2018	22,73	31,04	1,120	62,39	0,101	

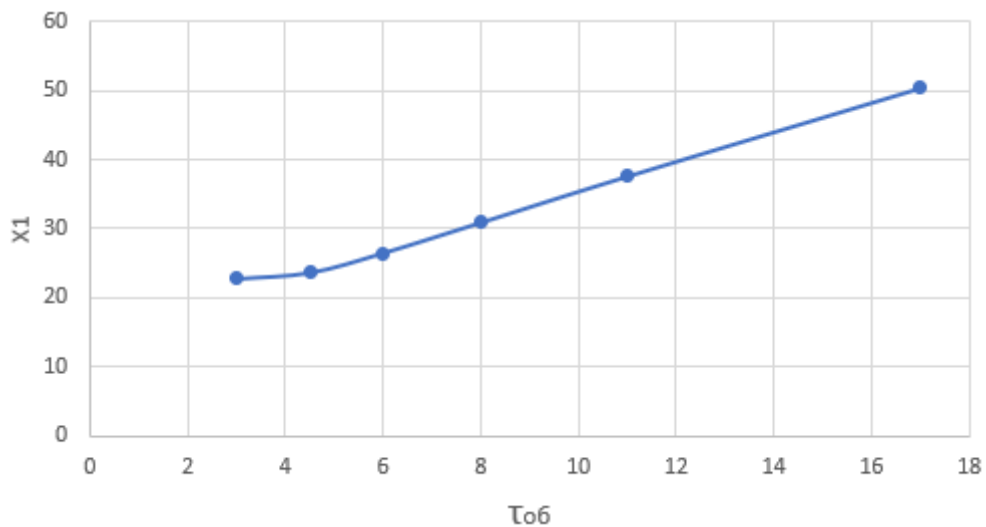


Рисунок 23 – Залежність динамічної помилки від часу запізнення об'єкта керування

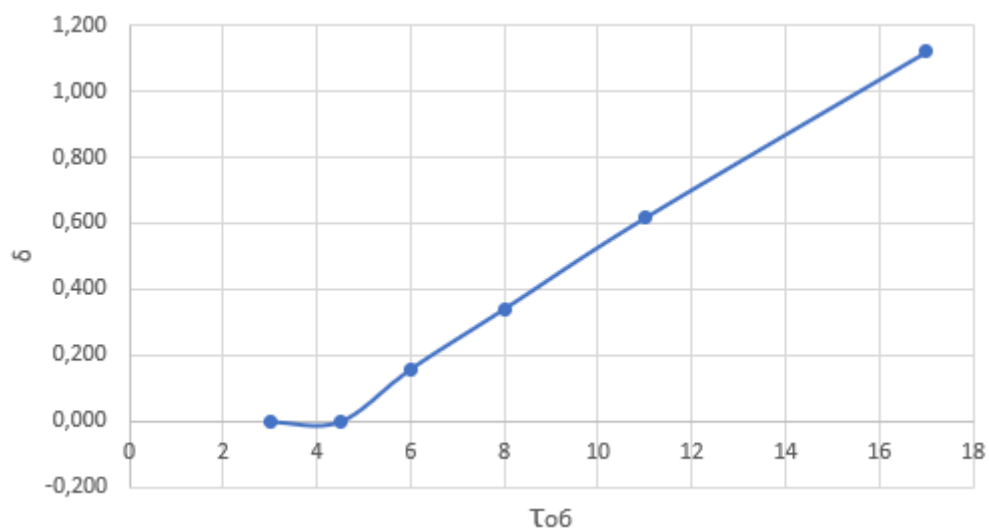


Рисунок 24 – Залежність коефіцієнту перерегулювання від часу запізнення об'єкта керування

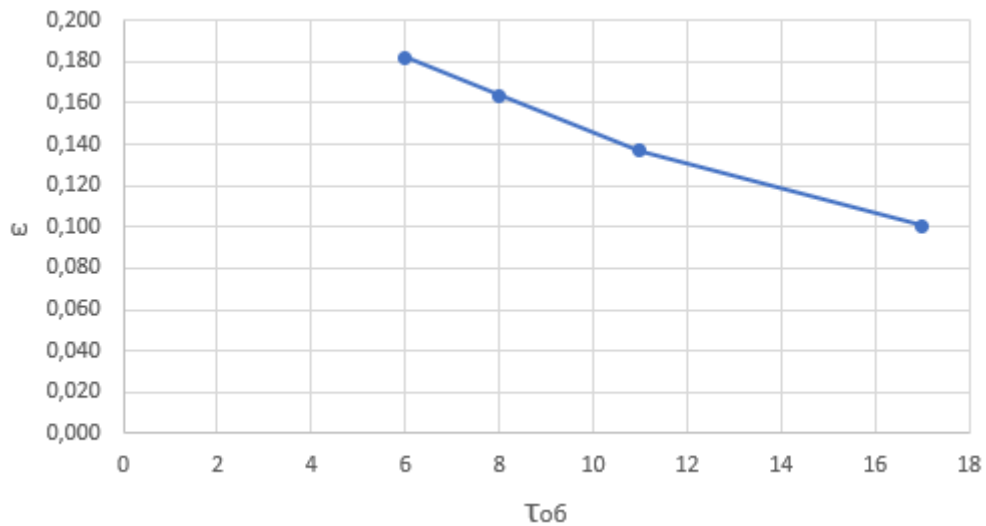


Рисунок 25 – Залежність кругової частоти коливань від часу запізнення об'єкта керування

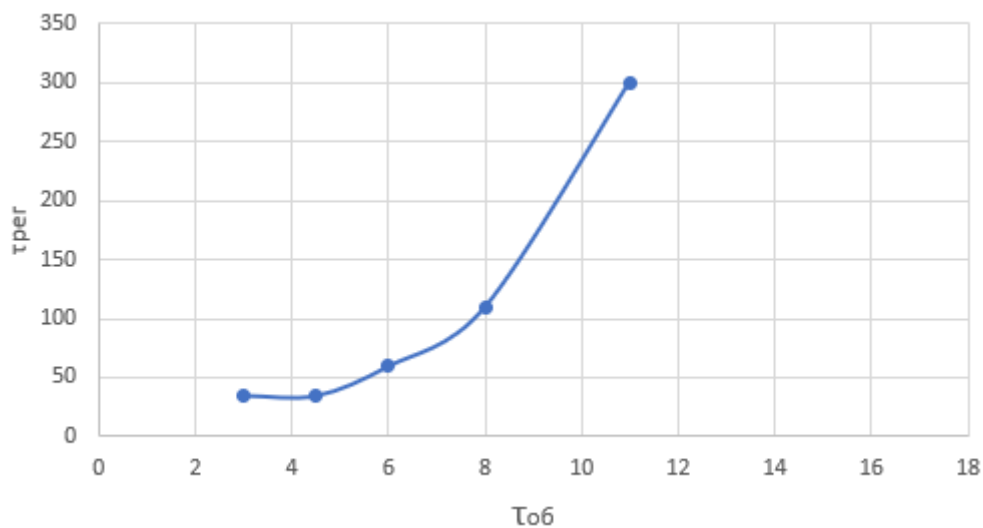


Рисунок 26 – Залежність часу регулювання від часу запізнення об'єкта керування

4.4 Висновки

Результати досліджень та форма графіків показують, що вплив параметрів об'єкта керування відбувається згідно з теоретичними положеннями, що викладені у п. 1.4.



5 ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Зміст звіту повинен складатися з наступних частин:

- Титульний аркуш.
- Тема і мета роботи.
- Короткий опис виконуваних дій по моделюванню впливу та визначенню показників якості.
- Приклад результатів розрахунків по визначенню показників якості для одного експерименту.
- Таблиці з результатами експериментів.
- Графіки впливу параметрів на показники якості.
- Висновки.
- Перелік використаних джерел.
- Особистий файл Excel з проміжними розрахунками.

Оформлення звіту і його окремих елементів (рисуноків, таблиць, формул і інших) повинне бути виконане відповідно до вимог, які використовуються на кафедрі.

6 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Таблиця 6.1 – 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



7 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Якими формулами описується статичний об'єкт управління?
2. Які параметри має статичний об'єкт управління?
3. Якими показниками якості вимірюється динамічна точність перехідних процесів?
4. Як визначається динамічна точність?
5. Як визначається динамічний коефіцієнт регулювання?
6. Яким показником якості вимірюється статична точність перехідних процесів?
7. Як визначається статична помилка?
8. Яким показником якості визначається форма перехідного процесу?
9. Як визначається коефіцієнт перерегулювання?
10. Як визначається період коливань?
11. Яким показником визначається частота коливань?
12. Яким параметром визначається швидкодія процесу регулювання?
13. Як впливає на показники якості коефіцієнт передачі об'єкта керування?
14. Як впливає на показники якості постійна часу об'єкта керування?
15. Як впливає на показники якості часу запізнення об'єкта керування?

8 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.



Варіанти завдань

Таблиця А.1 – Варіанти завдань

№ варіанту	К об	Т об	τ об
1	7	90	8
2	7	90	9
3	7	90	6
4	7	110	8
5	7	110	9
6	7	110	6
7	8	90	8
8	8	90	9
9	8	90	6
10	8	110	8
11	8	110	9
12	8	110	6
13	9	90	8
14	9	90	9
15	9	90	6
16	9	110	8
17	9	110	9
18	9	110	6
19	10	90	8
20	10	90	9
21	10	90	6
22	10	110	8
23	10	110	9
24	10	110	6
25	11	90	8
26	11	90	9
27	11	90	6
28	11	110	8
29	11	110	9
30	11	110	6



Навчально-методичне видання

Ісаєв Андрій Борисович
Шрамко Юрій Юрійович

ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ:

методичні рекомендації
до виконання практичної роботи № 4

Дослідження впливу параметрів об'єкта керування
на форму перехідного процесу та показники якості

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції