

література



Навчально-методична

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ІВАНА ПУЛЮЯ

КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з курсу

«Основи автоматизованого проєктування складних об'єктів і систем»

для студентів

освітнього рівня магістр за спеціальністю

174"Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка"

Тернопіль

2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу «Основи автоматизованого проектування складних об'єктів і систем» для студентів освітнього рівня магістр за спеціальністю 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" / В.В. Левицький– Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 32 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Коноваленко І.В.

Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент Левицький В.В.

Розглянуто на засіданні кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій і рекомендовано до друку (протокол №6 від 7.12.2023 р.)

Схвалено та рекомендовано до друку НМК факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії (протокол №4 від 12.12.2023 р.)

Тема 1. Техніка читання й розробки функціональних схем автоматичного керування

Мета: навчитися читати й розробляти функціональні схеми.

Відомості про проектну документацію.

Системи автоматизації вмонтовують, налагоджують і експлуатують за кресленнями і схемами. Щоб знайти необхідну документацію, за якою виконують з'єднання, плани розстановки засобів автоматики, щитів, пультів і АРМ операторів, необхідно знати, в яких частинах проекту відбиваються конкретні питання для їх реалізації.

Стадії проектування складу проекту.

Проектування систем автоматизації технологічних процесів здійснюється:

- в одну стадію (робочий проект) – для технічно нескладних об'єктів;
- у дві стадії (робоча документація з кошторисами) - для крупних і складних об'єктів.

Склад проекту:

1. Структурна схема керування і контролю (для складних);
2. Схема автоматизації (функціональні) технологічних процесів (для нескладних ТО);
3. Плани розміщення щитів, пультів, АРМ і т.п.;
4. Заявочні відомості (прилади, засоби автоматики, нестандартизоване устаткування, арматура, щити, пульти, матеріали);
5. Технічні вимоги на розробку нестандартизованого устаткування;
6. Кошторис на придбання і монтаж засобів систем автоматизації;
7. Пояснювальна записка.

На стадії робочої документації до складу проектних матеріалів входять:

- 1) структурна схема керування і контролю;
- 2) функціональна схема автоматизації ТО;
- 3) принципові електричні схеми контролю, регулювання, керування, сигналізації і живлення;
- 4) загальні види щитів, пультів, АРМ;
- 5) монтажні схеми щитів, пультів, АРМ;
- 6) схеми зовнішніх з'єднань і проводок;
- 7) плани розташування засобів автоматики;
- 8) нетипові креслення установки засобів автоматики;
- 9) загальні види нестандартизованого устаткування;
- 10) пояснювальна записка;
- 11) розрахунки різних елементів системи;
- 12) замовлені специфікації всіх компонентів і устаткування.

Види й типи схем:

– за видами підрозділяються на електричні, пневматичні, гідравлічні, комбіновані схеми;

– за типами:

структурні – укрупнена структура і взаємозв'язок між пунктами контролю і управління;

функціональні – функціонально-блокова структура окремих вузлів контролю, сигналізації, керування і регулювання ТО;

принципові – повний склад елементів, модулів, апаратури і зв'язків між ними;

монтажні – з'єднання в межах щитів, пультів, АРМ.

Умовні позначення:

– базове позначення приладів, що встановлюються в різних місцях (за місцем, на щиті, на пульті та ін.) – круг, овал (діаметр 10 – 15мм).

– для виконавських елементів - квадрат (7 7 мм).

Приклад функціональної схеми автоматизації ТО представлений на рис. 1.1.

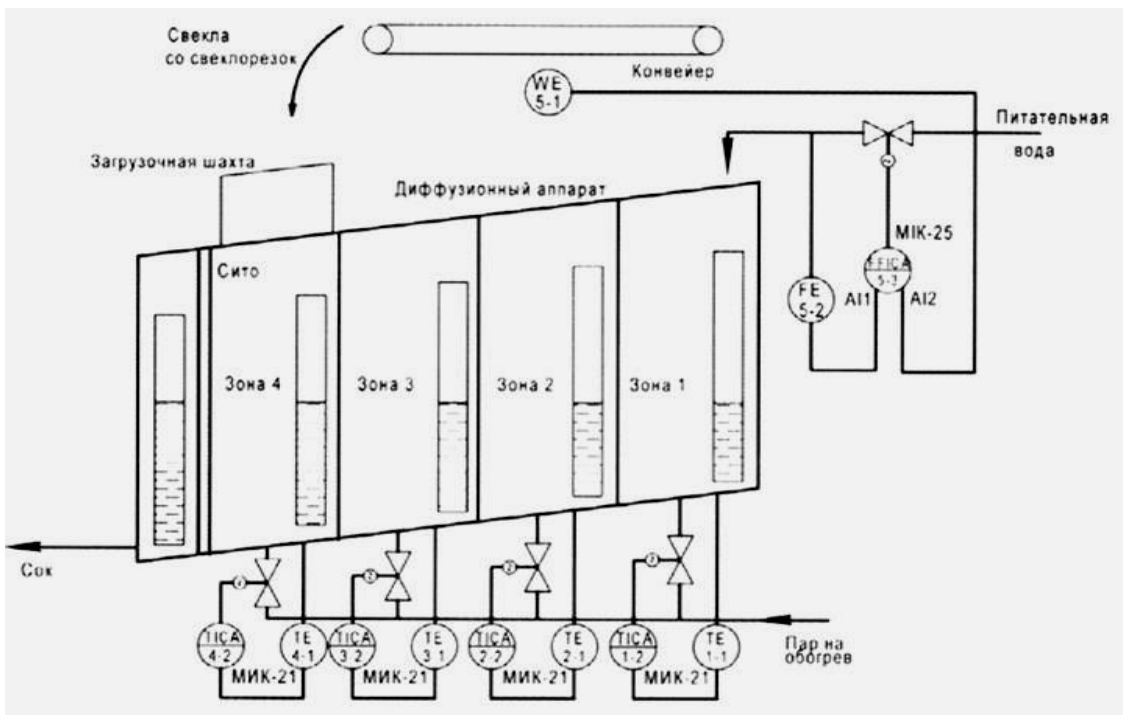


Рис.1.1 – Фрагмент функціональної схеми автоматизації реального технологічного об'єкта

Таблиця 1.1 - Умовні позначення технологічних параметрів

Технологічна величина	Буквене позначення
Температура	T
Електрична величина	E
Ручна дія	H
Рівень	L
Концентрація	Q
Вологість	M
Тиск	P
Швидкість	S
Вимірювана величина	U
Інші	Резервні букви

Таблиця 1.2 - Умовні позначення приладів контролю

Функціональна ознака	Позначення
Показуючий	I
Реєструючий	R
Регулюючий	C
Перетворюючий, обчислюючий	Y
Сигналізуючий	A
Приймальний елемент	E
Задаюча верхня межа	H
Задаюча нижня межа	L
Дистанційна передача	T
Програмний	K
Станція керування	S
Інші	Резервні букви

Слід пам'ятати, що при використанні позначень, не передбачених ДСТ 3925-58 і ГОСТ 36.27-77, застосовують резервні букви (відсутні в таблиці), які в одній документації не повинні повторюватися.

Таблиця 1.3. - Позначення характеристик роботи приладів

Позначення	Характеристика
Електричний сигнал	E
Пневматичний сигнал	P
Гідравлічний сигнал	G
Аналоговий сигнал	A
Дискретний сигнал	D
Операція складання	□
Перемножування двох сигналів	X
Поділ сигналів	/
Обмеження значення (верхнє)	max
Обмеження значення (нижнє)	min
Введення інформаційного сигналу в мікропроцесорний пристрій	B_i
Виведення інформаційного сигналу з мікропроцесорного пристрою	B_o

Порядок запису умовних позначень наступний: вимірювана величина (T – температура, E – електрична та ін.); свідчення (I); реєстрація (R); регулювання, керування (C); включення, відключення, перемикання (S); сигналізація (A); засоби комунікацій (B_i). Очевидно, що позначення, які відображають функціональні властивості конкретного автоматичного пристрою.



Для закріплення вищевикладеного матеріалу слід розробити систему автоматизації технологічного об'єкта, використовуючи індивідуальні початкові дані, наведені в табл.1.4. Для підготовки ескізного проекту доцільно скористатися графічним редактором програми *SinSys*.

Таблиця 1.4 - Варіанти завдань

№ варіанта	Технологічний об'єкт	Параметри		Керування ВЕ	
		контролю	регулювання	автоматичне	ручне
1	2	3	4	5	6
1	Компресор	Струм	Тиск	+	-
2	Випрямний агрегат	Температура	Напруга	+	-
3	Електропривод	Напруга	Напруга	+	+
4	Електронасос	Температура	Напруга	+	-
5	Електропривод	Швидкість	Струм	+	-
6	Компресор	Тиск	Тиск	+	+
7	Випрямний агрегат	Напруга	Струм	+	+
8	Вентилятор	Температура	Напруга	+	-
9	Водонагрівач	Температура	Напруга	+	-
10	Вулканізатор	Температура	Напруга	+	-
11	Автомобіль	Температура	Швидкість	+	-
12	Тягова підстанція	Концентрація газу	Напруга	+	+
13	Пристрій захисту від КЗ	Струм	Напруга	+	-
14	Освітлювальні прилади	Освітленість	Напруга	+	+
15	Реверсивний двигун	Швидкість	Напруга	+	-
16	Освітлювальні прилади	Освітленість	Потужність	+	+
17	Реверсивний двигун	Швидкість	Струм	+	-
18	Електромобіль	Швидкість	Струм	+	+
19	Трансформатор	Температура	Струм	+	-
20	Електропривод	Швидкість	Температура	+	-
21	Компресор	Тиск	Температура	+	+

22	Випрямний агрегат	Напруга	Напруга	+	+
23	Вентилятор	Температура	Температура	+	-
24	Електропривод	Концентрація	Напруга	+	+

Продовження табл. 1.4

1	2	3	4	5	6
25	Електровентилятор	Температура	Напруга	+	-
26	Електродвигун	Швидкість	Струм	+	-
27	Компресор	Температура	Температура	+	+
28	Випрямний агрегат	Напруга	Потужність	+	+
29	Вентилятор	Потужність	Напруга	+	-
30	Регулятор потужності	Потужність	Напруга	+	+

Контрольні питання

1. Що таке об'єкт регулювання?
2. Перелічіть обов'язкові компоненти будь-якої системи автоматичного регулювання (САР).
3. Поясніть призначення локальних систем автоматизації.
4. Для чого в САР застосовують первинні вимірювальні перетворювачі?
5. Наведіть приклади відомих приймальних елементів.
6. Яку роль в системах автоматики виконують проміжні елементи?
7. Перелічіть властивості електромагнітного реле як проміжного елемента схеми автоматики.
8. Наведіть приклади відомих проміжних елементів.
9. Чи є різниця між виконавчим механізмом і виконавським елементом? Назвіть відомі виконавчі елементи.
10. Як позначають компоненти схем автоматики на функціональних схемах?
11. Яка документація входить до складу проекту систем автоматизації ТП?

Тема 2. Експериментальні й аналітичні методи моделювання статички об'єктів керування

Мета: навчитися експериментальним і аналітичним шляхом розробляти математичні моделі статички об'єктів керування.

Відомості з теорії

Статичний, або сталий режим роботи об'єкта керування (ОК) характеризується незмінними в часі значеннями вхідних і вихідних його параметрів.

Функціональна залежність вихідної величини Y від вхідної X в сталому режимі називається статичною характеристикою ОК:

$$Y_i = f(X_i). \quad (2.1)$$

Відношення приростів цих величин у статичному режимі називається коефіцієнтом посилення даного об'єкта K :

$$K_i = \frac{dY_i}{dX_i}. \quad (2.2)$$

Статичні залежності виражаються, як правило, алгебраїчними рівняннями або їх системою.

Статика процесів дозволяє визначити початкові й кінцеві дані динамічних режимів ОК, спосіб регулювання, а також керуючі величини.

Використання конкретного каналу дії ОК як регулюючого в основному визначається крутизною його статичної характеристики.

Експериментальним шляхом визначаються статичні характеристики на реальних об'єктах. Результати дослідів служать для побудови графіків. Причому досліди проводять багато разів для отримання максимально достовірної інформації.

При отриманні лінійних графіків, їх математичні вирази мають вигляд

$$Y_{\text{вих}} = KX_{\text{вх}} + Y_0; \quad (2.3)$$

$$K = \frac{Y_i - Y_0}{X_i - X_0}. \quad (2.4)$$

При нелінійних графіках їх математичний вираз значно ускладнюється. У таких випадках користуються лінійними статичними характеристиками у

визначеному діапазоні варіювання параметрів об'єкта.

Дослідне визначення статичних характеристик можливе тільки на реальних об'єктах. Отримання даних здійснюється шляхом задання вхідних

величин і реєстрації вихідних величин. Результати, отримані при цьому, апроксимуються за допомогою рівнянь. Проте математичні моделі складно застосувати до інших ОК, але оцінка каналів керування, можливо, знайде використання для аналогічних технологічних об'єктів.

А) Розглянемо експериментальне визначення статичних залежностей.

Приклад 2.1. Маємо дані дослідження випрямного агрегата на тяговій підстанції.

Таблиця 2.1 - Експериментальні дані

Температура ВА, °Т	Вихідний сигнал приймального елемента, В
60	0,68
65	1,71
70	2,76
75	3,81
80	4,86
85	5,91
90	6,96
95	8,01
100	9,06
105	10,11

Необхідно апроксимувати ці дані рівнянням першого порядку вигляду:

$$Y_{\text{вих}} = KX_{\text{вх}} + Y_0.$$

Визначимо величину $K = \frac{Y_i - Y_0}{X_i - X_0}$.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку параметрів

$Y_i - Y_0$	$X_i - X_0$	K_i
0	0	-
1,03	5	0,206
2,08	10	0,208
3,13	15	0,208667
4,18	20	0,209
5,23	25	0,2092
6,28	30	0,209333
7,33	35	0,209429
8,38	40	0,2095
9,43	45	0,209556

Середнє значення: $K_1 = 0,208743$.

Отримаємо рівняння:

$$Y_1 = 0,2087 X_1 + Y_0. \text{ (оскільки } Y_0 = 0),$$

$$Y_1 = 0,2087 X_1$$

12,522.

Порівняємо експериментальні дані з величинами, розрахованими за формулою (табл.2.3).

Таблиця 2.3 - Дані експериментів і розрахунку

Y1э	Y1т
0,68	0
1,71	1,678
2,76	2,718
3,81	3,758
4,86	4,798
5,91	5,838
6,96	6,878
8,01	7,918
9,06	8,958
10,11	9,998

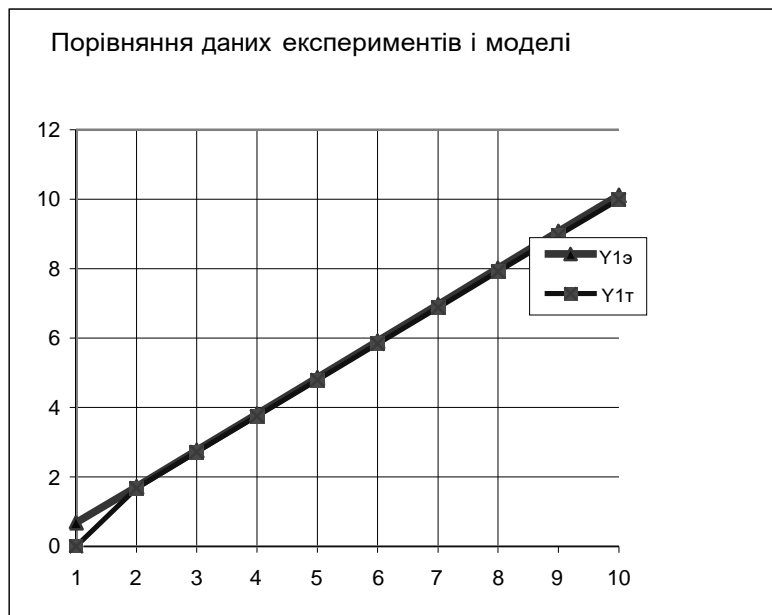


Рис.2.1 – Порівняння розрахункових даних і дослідів

Б) Аналітичний метод моделювання.

У статичному режимі всі параметри процесу, а значить і температура ВА, залишаються незмінними. Приймаючи цю умову, можна записати рівняння балансу, що відображає витрати потужності джерела живлення P_1 на

навантаження в контактній мережі P_0 і тепло P_2 :

$$P_1 \quad P_0 \quad P_2 \quad (2.5)$$

або у вигляді

$$k_1 U_1 I_1 = k_0 U_0 I_0 = k_2 U_2 I_2, \quad (2.6)$$

k_i – коефіцієнти пропорційності.

Для розрахунку статичних характеристик

$$P_0 = f(U_1); P_0 = f(I_1); P_0 = f(U_2); P_0 = f(I_2) \quad (2.7)$$

у рівняння (2.5) необхідно підставляти чисельні значення всіх параметрів, окрім величин, залежність між якими визначається.

Приклад 2.2. (при $k_i = 1$):

$$I_0 = \frac{10 U_i - 396}{90} = 0,11 U_1 - 4,4. \quad (2.8)$$

Задаючи значення величини U_1 , можна отримати початкові дані для оцінки залежності, що нас цікавить.

Для функції (2.8) результати розрахунків наведені в табл.2.4 (інтервал варіювання $U_1 = 15\%$).

На рис.2.2 наведена графічна залежність $P_0 = f(U_1)$ в безрозмірних одиницях, отримана за допомогою програми MS Excel.

Таблиця 2.4 - Розрахунок параметрів залежності $P_0 = f(U_1)$

U_1, B	U_1/U_{10}	I_0, A	I_0/I_{00}
180	0,818182	15,6	0,778272
185	0,840909	16,15556	0,805988
190	0,863636	16,71111	0,833705
195	0,886364	17,26667	0,861421
200	0,909091	17,82222	0,889137
205	0,931818	18,37778	0,916853
210	0,954545	18,93333	0,94457
215	0,977273	19,48889	0,972286
220	1	20,04444	1,000002
225	1,022727	20,6	1,027718
230	1,045455	21,15556	1,055435
235	1,068182	21,71111	1,083151

240	1,090909	22,26667	1,110867
245	1,113636	22,82222	1,138583
250	1,136364	23,37778	1,1663

$$P_0 = f(U_1).$$

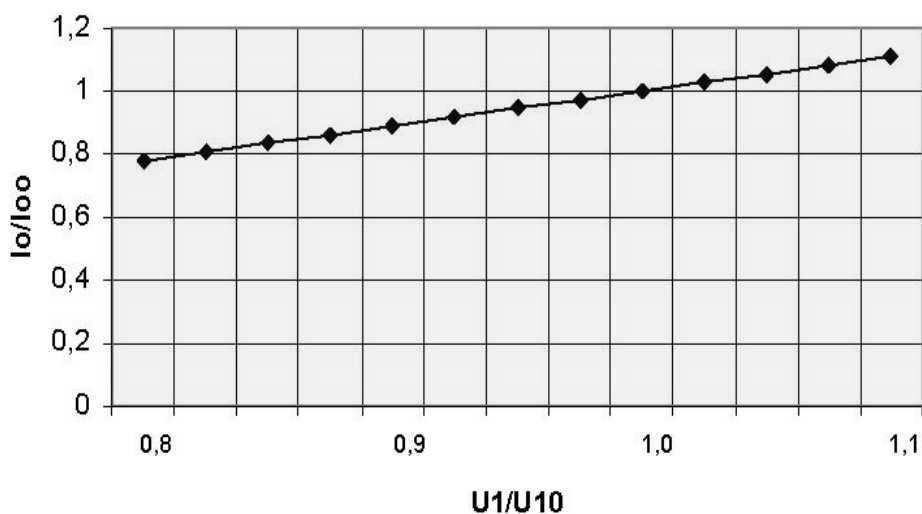


Рис.2.2 – Залежність P_0 від U_1

Контрольні питання

1. Що таке об'єкт керування?
2. Що таке статичний режим об'єкта керування?
3. Поясніть необхідність вивчення статистики ОК.
4. Як визначити коефіцієнт передачі ОК?
5. Як отримати статичну характеристику дослідним шляхом?
6. Поясніть аналітичний метод отримання статичних характеристик.
7. Як апроксимують дослідні дані?
8. Які існують шляхи отримання статичних залежностей?
9. У чому особливість нелінійних статичних залежностей?
10. У чому сенс оптимізації технологічних процесів за допомогою статичних характеристик?
11. Що таке канал керування?
12. Як визначити основний канал керування технологічним процесом, використовуючи статичні характеристики?

Тема 3. Моделювання динаміки і дослідження об'єкта керування

Мета: розробити динамічні моделі для пристроїв, використовуваних в різних електротехнічних виробках.

Відомості з теорії

Динамічний режим роботи об'єкта керування (ОК) – режим, що настає після нанесення збурення на вхід об'єкта.

Динамічні характеристики ОК наводять у вигляді:

- рівнянь динаміки;
- перехідних характеристик – графіки вирішення рівняння динаміки;
- передавальні функції;
- частотні характеристики;
- годографів амплітудно-фазових характеристик (АФХ);
- логарифмічних частотних характеристик.

Всі динамічні характеристики з різним ступенем труднощі можна тримати на реальному об'єкті.

Експериментальні методи визначення динамічних властивостей ОК точніші й менш трудомісткі, але отримані при цьому математичні описи не можна використовувати на інших ОК.

Аналітичні методи моделювання динаміки ОК менш точні, але можна отримати характеристики для проєктованих об'єктів, узагальнені і придатні для застосування їх до різних об'єктів, при цьому можливе вдосконалення характеристик в міру вивчення самих об'єктів керування.

На практиці часто використовують комбіновані методи – експериментально-аналітичні.

Реальні системи автоматичного регулювання (САР) включають багато елементів з різними динамічними властивостями. Якщо система керування ТО має лінію циркуляції сигналів по замкнутому контуру, то вона називається замкнутою системою керування. Відповідно систему без зворотного зв'язку називають розімкненою.

На практиці розімкнені системи керування ТО застосовуються дуже рідко, проте, їх розгляд зручний при вивченні структури і динамічних властивостей всіх компонентів, що входять в єдину систему автоматизації.

Об'єкт першого порядку – складається з однієї (зазвичай типової) динамічної ланки.

Об'єкт високого порядку – складається з декількох взаємозв'язаних між собою простих об'єктів або динамічних ланок.

З підвищенням порядку ТО реакція вихідної величини на збурення завжди відбувається повільніше. Об'єкти високого порядку в динаміці поведуться ідентично поведінці ланцюжка типових динамічних ланок, з'єднання яких складає структуру ОК.

У практиці вивчення ОК будь-якій складності набуло поширення

розчленування системи керування на дрібні підпорядкування підсистеми, скоординоване вивчення яких називається декомпозицією завдань і систем керування.

Декомпозиція завдань покладена в основу вивчення найскладніших ОК, до яких відносяться одновимірні ОК, що мають тільки одну керовану величину, і багатовимірні ОК – з великим числом керованих і керуючих величин.

Приклад 3.1. Розглянемо як об'єкт керування електротехнічний пристрій, що складається з декількох елементів, сполучених послідовно (рис.3.1), для якого необхідно отримати передавальну функцію.

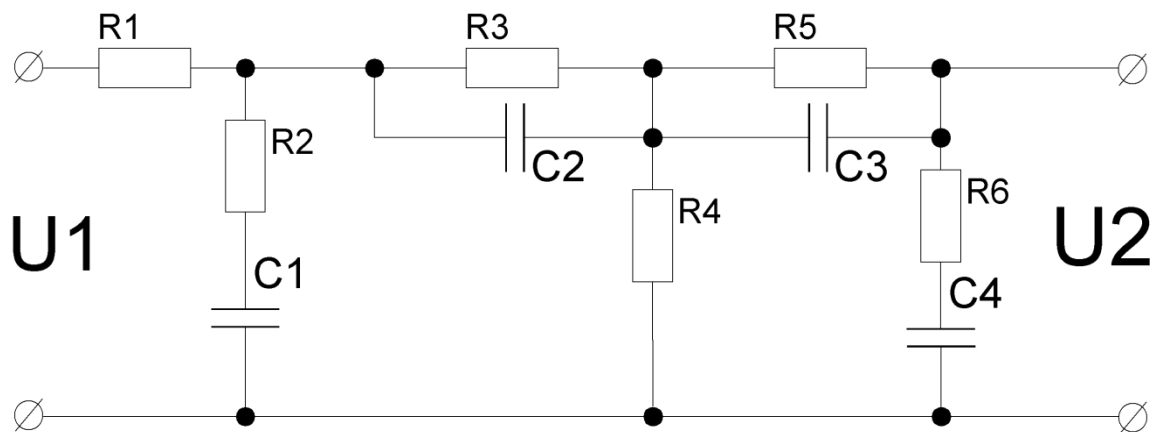


Рис.3.1 – Схема коректуючого сходового фільтра

Аналіз коректуючого фільтра дозволяє зробити висновок, що він складається з пасивних: інтегруючої (R_1, R_2, C_1), диференціюючої (R_3, R_4, C_2), інтегро-диференціюючої (R_5, R_6, C_3, C_4) ланок.

а) Отримаємо передавальну функцію для подільника напруги (R_1, R_2, C_1):

$$W_1(p) = \frac{Z_2(p)}{Z_1(p) + Z_2(p)}. \quad (3.1)$$

$$Z_1(p) = R_1; \quad (3.2)$$

$$Z_2(p) = R_2 \frac{1}{pC_2} + \frac{1}{pC_2} + R_2 C_2 p. \quad (3.3)$$

Після підстановки виразів для величин опорів маємо:

$$\text{де } T_1 \quad W_1 p = \frac{1}{1} \frac{T_2 p}{T_1 p}, \quad (3.4)$$

$$R_1 = R_2 C_2; T_2 = R_2 C_2.$$

б) Визначимо передавальну функцію для диференціальної ланки (R_3, R_4, C_2):

$$W_2(p) = \frac{U_0 (1 - T_1 p)}{1 - T_2 p}, \quad (3.5)$$

$$\text{де } T_1 = R_1 C_1; T_2 = \frac{R_1 R_2 C_2}{R_1 + R_2}; U = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

в) Передавальна функція інтегро-диференціюючої ланки (R_5, R_6, C_3, C_4) має вигляд

$$W_3(p) = \frac{1 - T_1 p}{1 - T_3 p} \frac{1 - T_2 p}{1 - T_4 p}, \quad (3.6)$$

$$\text{де } T_1 = R_1 C_1; T_2 = R_2 C_2; T_3 = T_1 T_2; T_4 = T_3 T_4; T_3 = T_4; T_1 = T_2; R_1 C_2.$$

Це рішення є послідовне з'єднання радіоелементів, для якого загальна передавальна функція матиме вигляд

$$W(z) = W_1(p) W_2(p) W_3(p). \quad (3.7)$$

Прийнявши всі постійні величини такими, що дорівнюють 1, можна побудувати годографи всіх елементів, що складають схему коректуючого фільтра (схема пасивного фільтра).

Приклад 3.2. Скласти рівняння і передавальну функцію електромашинного підсилювача, в якому потік реакції якоря повністю компенсується і підсилювач працює на активне навантаження R_H .

Для ланцюга керування застосуємо другий закон Кірхгофа:

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} + R_B I_1 = U_1, \quad (3.8)$$

де L_1 і R_1 – індуктивність і опір обмотки керування; R_B - вихідний опір

джерела вхідної напруги.

Для поперечного ланцюга, якщо застосувати другий закон Кірхгофа, запишемо:

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} + R_2 I_2 = E_2 + C_1 I_1, \quad (3.9)$$

де L_2 , R_2 – індуктивність і опір поперечному ланцюгу; E_2 – э.р.с. поперечного ланцюга; C_1 – коефіцієнт пропорційності між э.р.с. і струмом керування.

Напругу на навантажувальному опорі можемо представити як

$$U_3 = R_{H3} I_3 = \frac{R_H E_3}{R_H + R_3}, \quad (3.10)$$

де R_3 – опір поздовжнього ланцюга.

З отриманих рівнянь запишемо:

$$T_1 p + 1 = T_2 p + 1 + U_3 = k U_1, \quad (3.11)$$

де

$$T_1 = \frac{L_1}{R_B + R_1}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2}; \quad k = \frac{C_1 C_2 R_H}{R_B + R_1} \cdot \frac{R_2 + R_H}{R_1}.$$

Передавальна функція матиме вигляд

$$W(p) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{k}{1 + T_1 p + T_2 p}. \quad (3.12)$$

Контрольні питання

1. Що таке динамічна характеристика ОК?
2. Які існують методи отримання динамічних характеристик?
3. Як отримати динамічну характеристику ОК аналітичним шляхом?
4. У чому переваги експериментально-аналітичного методу дослідження динаміки ОК?
5. Які ОК відносяться до об'єктів високого порядку?
6. Що таке структура ОК?
7. Поясніть сенс декомпозиції при вивченні ОК.
8. Що таке багатовимірні об'єкти керування?
9. Як визначається передавальна функція ОК, якщо динамічні ланки – компоненти структури сполучені між собою послідовно і паралельно?
10. Поясніть принцип застосування аналітичного методу моделювання динаміки ОК.

Тема 4. Вибір закону регулювання для об'єкта керування

Мета: вибрати закон регулювання для конкретного об'єкта керування і провести розрахунок налаштувань типового регулятора.

Відомості з теорії

Технологічні об'єкти поділяють на стійкі (володіють самовирівнюванням)

$$T_0 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 X(t) \quad (4.1)$$

і нейтральні (відсутнє самовирівнювання)

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k_0 X(t) \quad (4.2)$$

де y – регульована величина; X – регулююча дія; T_0 – постійна часу ОК; k_0 –

коефіцієнт передачі ОК; T – час розгону об'єкта; – час запізнювання; t – час.

До якості регулювання ТО відносяться: мінімальне значення динамічної помилки регулювання; мінімальний час регулювання.

Прийнято три типові вимоги до перехідних процесів: граничний аперіодичний процес; з 20%-им перерегулюванням; з мінімальною квадратичною площею відхилення.

Завдання вибору регулятора або закону регулювання має множинне рішення. При виборі закону регулювання (типу регулятора) враховують наступні чинники:

- властивості технологічного об'єкта;
- максимальна величина збурення;
- прийнятий для даного технологічного процесу вид типового перехідного процесу;
- допустимі значення показників якості процесу регулювання (динамічна помилка $Y_{\text{доп}}$, статична помилка $Y_{\text{ст.доп}}$, час регулювання $t_{\text{р.доп}}$).

На багатьох технологічних об'єктах в основному застосовують пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) - регулятори.

Очевидно, що протікання перехідного процесу в конкретному ОК можуть забезпечити різні регулятори. Тому завжди доцільно вибір починати з найбільш простого типу регулятора.

Послідовність вибору регулятора:

1. Оцінюють властивості ОК. Якщо об'єкт володіє самовирівнюванням і малим часом запізнювання, то застосовують І-регулятор.
2. Якщо ОК відноситься до нейтральних об'єктів, то І-регулятор застосовувати не можна, оскільки створювана система буде нестійкою при будь-яких значеннях налаштувань І-регулятора. П-регулятор можна

застосувати на таких об'єктах, оскільки він володіє швидкодією, але при допустимому залишковому відхиленні параметра від заданого значення. При виборі простих П- і І-регуляторів завжди визначають максимальне динамічне відхилення регульованої величини.

3. ПІ-регулятори відрізняються швидкодією і здатні виводити параметр на задане значення. Проте вони погано працюють на ОК з великим часом запізнювання і значними змінами навантаження.
4. ПІД-регулятори застосовують на ОК з різними динамічними характеристиками. Проте якщо вони не забезпечують необхідний перехідний процес регульованої величини, а показники якості виходять за допустимі межі, то слід перейти від одноконтурної системи регулювання до багатоконтурного її вирішення.

При виборі пристрою регулювання орієнтування користуються наступними даними:

– позиційний регулятор $/T_0 \ 0,2$;

– регулятор безперервний $0,2 \ /T_0 \ 1$;

– багатоконтурна система регулювання $\tau/T_0 = 1$.

Визначення параметрів настройки регуляторів проводять: організованим пошуком (безпосередньо на діючій САР); розрахунковим шляхом (складання рівняння динаміки системи і його рішення щодо регульованої величини при різних настройках); за формулами і графічними залежностями (отриманими при моделюванні САР).

Приклад 4.1. Вибрати тип і визначити оптимальні настроювальні параметри регулятора, встановленого на стійкому об'єкті 1-го порядку із запізнюванням за наступних умов:

– коефіцієнт передачі ОК $k_0 = 1,2$; постійна часу $T_0 = 204\text{ms}$; час запізнювання $\tau = 54\text{ms}$; відношення $\tau/T_0 = 0,27$; система регулювання

повинна забезпечити перехідний процес з 20%-им перерегулюванням;

– параметри якості перехідного процесу не повинні перевищувати наступні допустимі значення:

динамічна помилка регулювання $Y_{1\text{доп}} = 0,08$, статична

помилка регулювання $Y_{\text{ст,доп}} = 0,03$, час регулювання

$t_{\text{р,доп}} = 600\text{ms}$;

– регулююча дія відповідає максимальній зміні збурення $X_{\text{в}} = 0,12$.

Максимальне відхилення регульованої величини

$$y_0 = k_0 X_{\text{в}} = 1,2 \cdot 0,12 = 1,44.$$

За графіком (рис.4.1) визначимо динамічний коефіцієнт передачі $R_d \frac{y_1}{y_0}$ систем з регуляторами різних типів (табл.4.1). Якщо ОК відноситься до нейтральних, то слід користуватися рис.4.2.

Таблиця 4.1 - Визначення динамічних коефіцієнтів регуляторів

Закон регулювання	Динамічний коефіцієнт	Закон регулювання	Динамічний коефіцієнт
I	0,64	III	0,32
II	0,36	IIIД	0,24

Використовуємо отримані дані для розрахунку максимального динамічного відхилення регульованої величини в замкнутому контурі:

– для стійких об'єктів

$$Y_{1y} = R_d k_0 X_v; \quad (4.3)$$

– для нейтральних

$$Y_{1n} = R_d X_v. \quad (4.4)$$

Отримані результати в табл.4.2 свідчать, що умова $Y_{1y} \leq Y_{1доп}$ ($Y_{1доп} = 0,08$) для I-регулятора не виконується.

Таблиця 4.2 - Розрахунок максимального динамічного відхилення

Закон регулювання	Максимальне динамічне відхилення	Закон регулювання	Максимальне динамічне відхилення
I	0,0922	III	0,0461
II	0,0518	IIIД	0,034

Слід перевірити системи з іншими регуляторами (окрім I-регулятора).

Перевіримо II-регулятор на величину $Y_{ст}$. Для цього на рис.4.1 знайдемо величину $Y_{ст}^*$ для процесу з 20%-им перерегулюванням і обчислимо величину

$$Y_{ст} = Y_{ст}^* y_0 = 0,28 \cdot 0,144 = 0,0403.$$

Отримана величина $Y_{ст} = Y_{ст.доп}$ ($Y_{ст.доп} = 0,03$) свідчить, що задана якість регулювання не буде забезпечена.

Перевіримо системи з ПІ- і ПІД-регуляторами на час регулювання t_p , скориставшись графіком (рис.4.1):

для ПІ – регуляторів t_p 12 12 54 648 (ms).

для ПІД – регуляторів t_p 8 8 54 432 (ms).

Якщо порівняти отримані дані з вимогами до системи, то можна зробити висновок, що умова $t_p < t_{p,доп}$ ($t_{p,доп} = 600ms$) виконується для системи з ПІД-регулятором.

Оптимальні настройки параметрів регулятора можна визначити розрахунковим шляхом за формулами в табл. 4.3, 4.4.

Завдання. Вибрати тип і визначити оптимальні настроювальні параметри для регулятора, встановленого на ОК 1-го порядку.

Таблиця 4.3 - Розрахунок параметрів регуляторів для статичних ОК

Регулятор	Типовий процес регулювання		
	Аперіодичний	З 20%-им перерегулюванням	З максимальним критерієм якості регулювання
П	$K=0,3/(kT/)$	$K=0,7/(kT/)$	$K=0,9/(kT/)$
ПІ	$K=0,6/(kT/)$ $T_{и}=0,6T$	$K=0,7/(kT/)$ $T_{и}=0,7T (T_{и}=0,3T+)$	$K=1/(kT/)$ $T_{и}=T$
ПІД	$K=0,95/(kT/)$ $T_{и}=2,4 ; T_{д}=0,4$	$K=1,2/(kT/)$ $T_{и}=2 ; T_{д}=0,4$	$K=1,4/(kT/)$ $T_{и}=1,3 ; T_{д}=0,5$

Таблиця 4.4 - Розрахунок параметрів регуляторів для астатичних ОК

Регулятор	Типовий процес регулювання		
	Аперіодичний	З 20%-им перерегулюванням	З максимальним критерієм якості регулювання
П	$K=0,5/k$	$K=1/k$	$K=1,2/k$
ПІ	$K=0,7/k$ $T_{и}=2$	$K=0,9/k$ $T_{и}=3$	$K=1,4/k$ $T_{и}=3$
ПІД	$K=0,95/k$ $T_{и}=5 ; T_{д}=0,2$	$K=1,2/k$ $T_{и}=2 ; T_{д}=0,5$	$K=2/k$ $T_{и}=1,6 ; T_{д}=0,5$

Примітка: K – коефіцієнт посилення; $T_{и}$ – постійна інтеграції; $T_{д}$ – постійна диференціювання.

Контрольні питання

1. Які технологічні об'єкти відносяться до стійких?
2. Які ОК називають нейтральними?
3. Які величини характеризують якість регулювання ТО?
4. Поясніть типові вимоги до перехідних процесів.
5. Які чинники враховують при виборі закону регулювання для конкретного ОК?
6. Які існують закони регулювання?
7. Який рекомендується порядок при виборі закону регулювання?
8. У чому особливості І-регулятора?
9. У чому особливості П-регулятора?
10. Який регулятор називають з випередженням?
11. На яких ТО найчастіше застосовують ПІ- і ПІД-регулятори?
12. Який параметр використовують для орієнтовного вибору позиційної, безперервної і багатоконтурної систем автоматики?
13. Поясніть параметри настройки, передбачені в П-регуляторі?
14. Поясніть параметри настройки, передбачені в ПІ-регуляторі?
15. Поясніть параметри настройки, передбачені в ПІД-регуляторі?

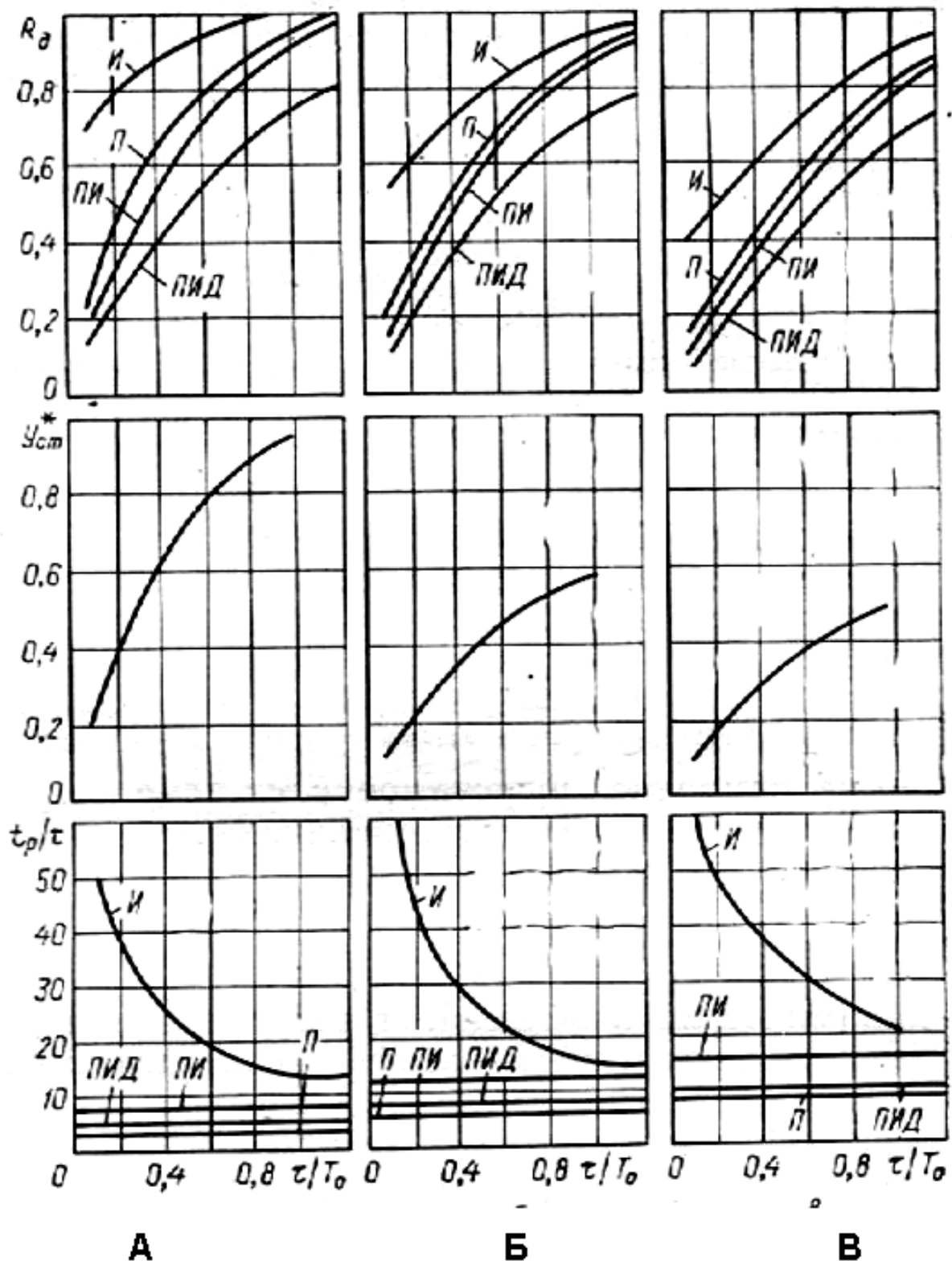


Рис.4.1 – Динамічні коефіцієнти регулювання R_d , статичні помилки регулювання $u_{ст}$ і час регулювання t_p стійких об'єктів: А – аперіодичний перехідною процес; Б – з 20%-им перерегулюванням; В – з мінімальною квадратичною площею відхилення.

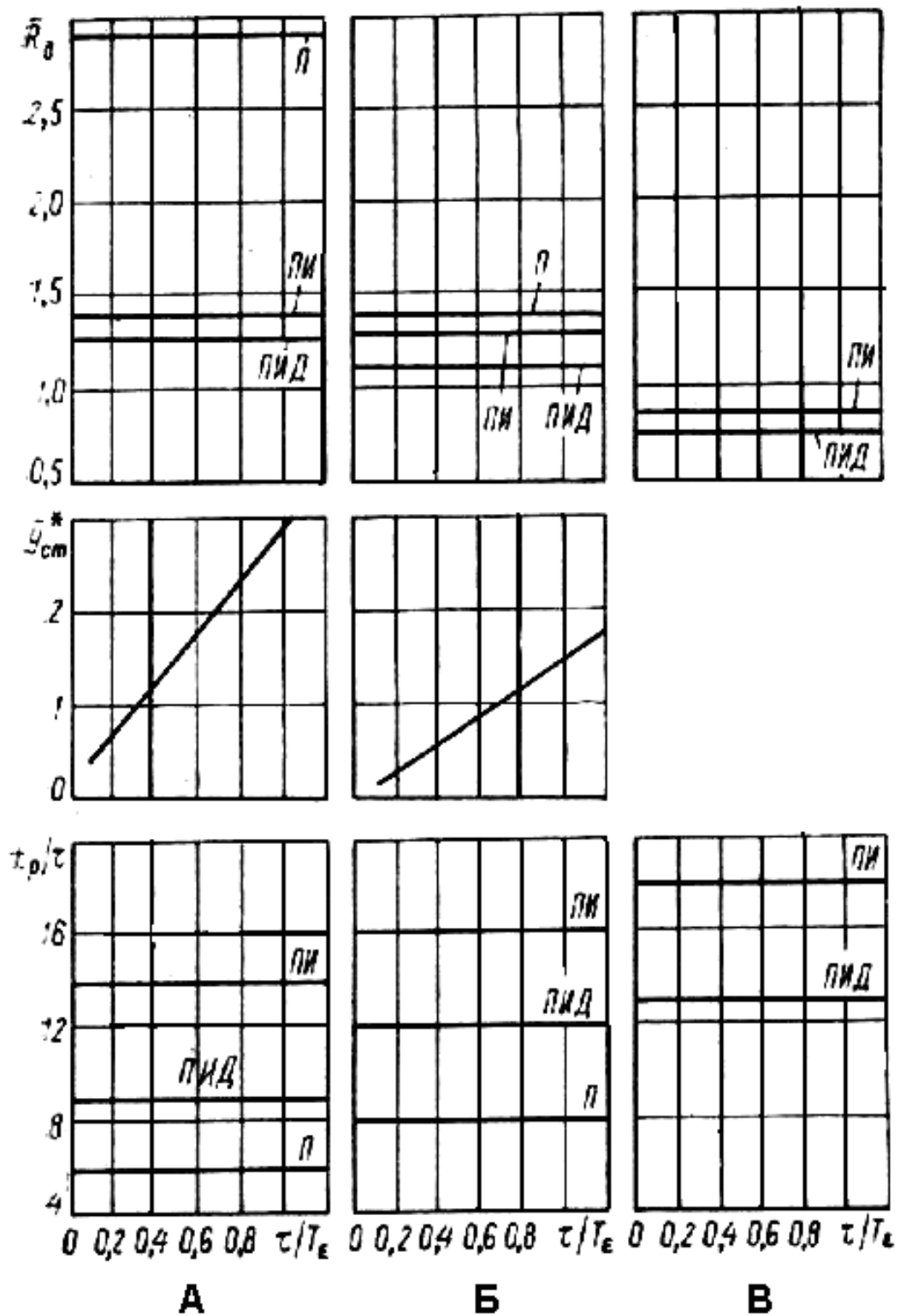


Рис.4.2 – Динамічні коефіцієнти регулювання R_d , статичні помилки регулювання $u_{ст}$ і час регулювання $t_p/$ нейтральних об'єктів: А – аперіодичний перехідний процес; Б – з 20%-им перерегулюванням; В – з мінімальною квадратичною площею відхилення.

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя
вул. Руська 56, м.Тернопіль, 46001
Формат 60x90/16. Папір офсетний.
Наклад 20 прим. Зам.№127-11.03

