

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО – ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ  
З ДИСЦИПЛІНИ**

# ***АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ***

*(для студентів усіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція»)*

**ХАРКІВ  
ХНАМГ  
2012**

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Автоматизація систем теплогазопостачання і вентиляції» (для студентів усіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: С. М. Нубарян – Х.: ХНАМГ, 2012. – 16 с.

Укладач: к. т. н., доц. С. М. Нубарян

Методичні вказівки побудовані за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу та узгоджені з орієнтованою структурою змісту навчальної дисципліни, рекомендованою Європейською Кредитно-Трансферною Системою (ECTS).

Рекомендовано для студентів будівельних спеціальностей

Рецензент: д. т. н, проф. Б. С. Ільченко

Затверджено на засіданні каф. «Експлуатація газових і теплових систем»  
протокол № 3 від 24.03.11 р.

## ВСТУП

Розрахунково-графічна робота з дисципліни «Автоматизація систем теплогазопостачання і вентиляції» є завершальним етапом при вивченні основ систем автоматизації технологічних процесів в системах теплогазопостачання і вентиляція, що призначається як індивідуальне завдання для студентів, які одержують освітньо-кваліфікаційний рівень «фахівець» за фахом «Теплогазопостачання і вентиляція». Ця робота базується на основі наступних навчальних курсів:

- «Контрольно-вимірювальні прилади і автоматика»;
- «Теплогазопостачання»;
- «Опалювання і вентиляція»

і спрямована на отримання професійних навиків, що необхідні при проектуванні систем автоматизації, а також інформаційно-управляючих систем для об'єктів теплогазопостачання і вентиляції.

Основними завданнями, які мають бути вирішені студентами при виконанні розрахунково-графічної роботи, є:

- знання технологічних особливостей об'єкту автоматизації;
- формулювання вимог до систем автоматизації конкретного процесу або об'єкту;
- чітка постановка завдань автоматизації;
- складання схем автоматизації, а також виконання їх аналізу;
- ознайомлення з особливостями різних стандартних алгоритмів регулювання й освоєння методики моделювання цих алгоритмів.

### 1. ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ І ЇЇ ОФОРМЛЕННЯ

До об'єму розрахунково-графічної роботи мають бути включені:

- технічне завдання (початкові дані)	1 сторінка;
- опис об'єкту (процесу) автоматизації	3-4 сторінки;
- вимоги до системи автоматизації (постановка завдань)	1 сторінка;
- структурно-динамічна схема автоматизації	1 сторінка;
- дослідження і аналіз якості регулювання заданого об'єкту управління за допомогою різних регуляторів -	2-3 сторінки;
- графік перехідних процесів, що протікають в об'єкті регулювання з використанням різних регуляторів на міліметрівці формату А4;	
- висновки	1 сторінка;
- список використаних джерел	1 сторінка.

Загальний обсяг текстової частини не має перевищувати 12-15 машинописних сторінок. Кожен пункт розрахунково-графічної роботи рекомендовано починати на новій сторінці.

Графічна частина має обов'язково вміщати структурну схему і, крім того, може вміщати ще і принципову схему автоматизації. Не слід виконувати схеми з'єднань або підключень, а також конструктивні креслення.

Текстову частину слід виконувати на білому папері формату А4 –друкувати на принтері: шрифт - Times New Roman (розмір 14), міжрядковий інтервал – 1,5; межі полів: зверху і знизу – 2 см, зліва і справа – 2 см.

Графічна частина може бути виконана від руки олівцем або з використанням комп'ютерної графіки на аркушах необхідного формату. При проведенні розрахунків якості процесів регулювання на ЕОМ студентами можуть бути використані будь-які мови програмування з обов'язковим застосуванням лістингів програм.

Титульний лист виконують за зразком, що наданий на рис. 1.1.

<p><b>Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України</b> <b>Харківська національна академія міського господарства</b></p> <p>Кафедра: Експлуатації газових і теплових систем</p> <p><b>Розрахунково-графічна робота</b> По дисципліні «Автоматизація систем ТГВ»</p> <p>Тема: «.....»</p> <p><b>Виконав:</b> Студент гр ТВ- _____ (П.І.Б.)</p> <p><b>Перевірив:</b> Викладач _____ (посада., П.І.Б.)</p> <p>м. Харків 20** рік</p>
---

Рис. 1.1 – Оформлення титульного аркуша до розрахунково-графічної роботи

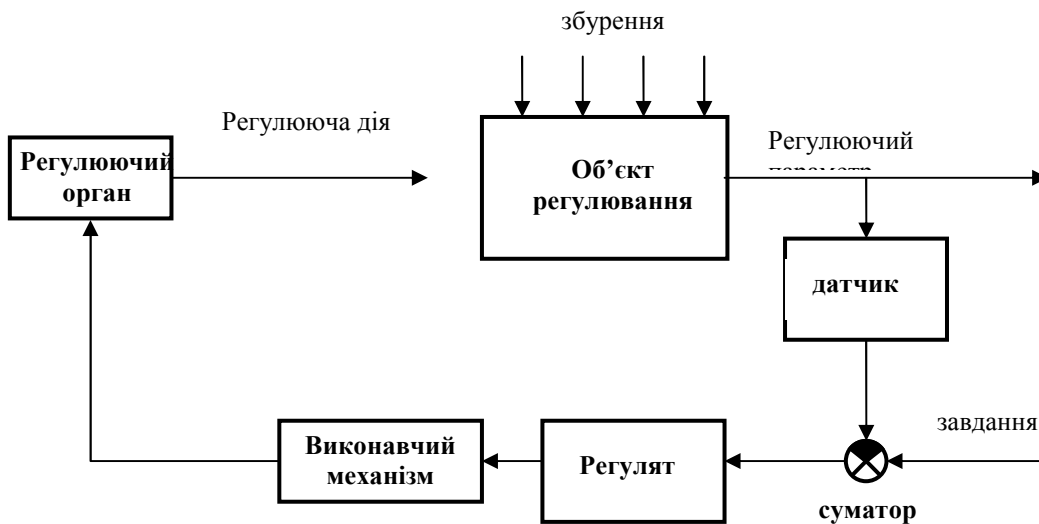
## 2. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

В описі технологічного об'єкта, який підлягає автоматизації, необхідно коротко навести дані про технологію, яку реалізують на об'єкті (фізичні закони функціонування об'єкту, характер процесу, послідовність операцій, необхідне оснащення і його основні характеристики). Тут необхідно вказати основні параметри об'єкта – споживану потужність, продуктивність, вид споживаної енергії (електрична, гідравлічна, пневматична та ін.). Крім того, необхідно відзначити задані і граничні параметри технологічного процесу - температуру, тиск, рівень в резервуарах, загазованість і тому подібне.

Далі, за узгодженням з викладачем, необхідно навести структурну схему якого-небудь каналу автоматичного управління, приклад якого зображений на рис. 2.1.

Кожен елемент схеми має бути конкретизований у відповідності з індивідуальним варіантом. Наприклад, у прямокутнику "Об'єкт регулювання"

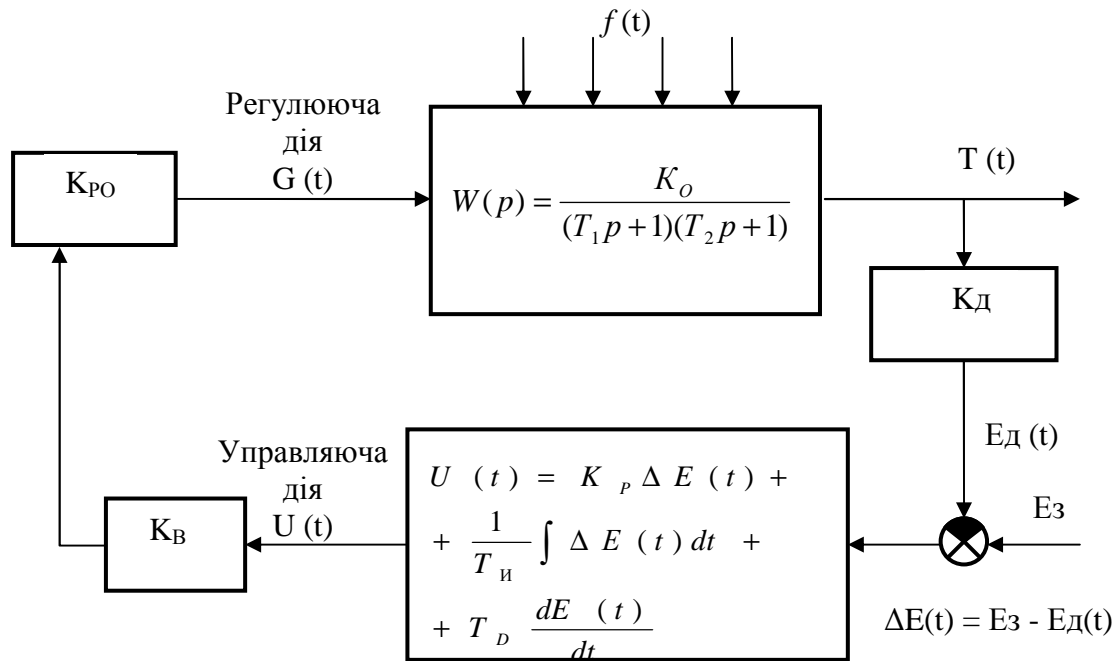
слід писати: Об'єкт регулювання – теплообмінник і так далі. Аналогічно студент визначає всі інші значення структурних модулів системи автоматизації для відповідного варіанту. Як правило, структурна схема складається для одного з регульованих параметрів. Проте, за завданням викладача, може бути прийнятий варіант для декількох параметрів процесу, що автоматизується. У такому разі складається декілька структурних схем для відповідних контурів регулювання, де кожен контур має свій сенсор (датчик), регулятор, виконавчий механізм і регулюючий орган і при цьому на даний об'єкт поступає декілька дій, що управляють.



**Рис. 2.1 – Загальна структурна схема системи управління**

Структурно-динамічна схема є різновидом загальної структурної схеми, в якій кожна ланка системи автоматизації описується математичною залежністю, що зв'язує вхідні і вихідні сигнали ланки. Загальний вид структурно-динамічної схеми зображений на рис. 2.2.

По структурно-динамічній схемі каналу управління для вибраного типу регулятора і відповідних параметрів його налаштування розраховуються і будуються криві перехідних процесів для заданих динамічних характеристик об'єкту управління. По кривих перехідних процесів визначаються показники якості регулювання, такі як швидкодія, ступінь загасання, статична і динамічна помилки.



**Рис. 2.2 – Структурно-динамічна схема системи управління теплообмінником:**  
 $G(t)$  витрата теплоносія;  $T(t)$  – температура на виході теплообмінника;  $f(t)$  – зовнішні збурення;  $W(p)$  – передавальна функція об'єкту;  $U(t)$  – дія, що управляє;  $K_d$ ,  $K_{ВМ}$ ,  $K_{РО}$  – коефіцієнти передачі датчика, виконавчого механізму і регулюючого органу, відповідно;  $\Delta E(t)$  – сигнал розузгодження між заданим і змінним значенням керованого параметра

### 3. ТИПОВІ СТРУКТУРНІ ЛАНКИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

При дослідженні процесів, що протікають у системах управління, користуються ланками, що ідеалізуються, які точно описуються математично і приблизно характеризують реальні ланки систем у заданому діапазоні зміни сигналів. Об'єкти управління, будучи елементом структурної схеми системи управління, також можуть бути описані типовими структурними ланками.

Розглядаючи характеристики ланок незалежно від їх призначення, фізичного принципу дії і швидкості процесів, що протікають у них, можна виділити ряд типових ланок, що описуються звичайними лінійними диференціальними рівняннями першого і другого порядків. Введення типових ланок дозволяє спростити математичний опис окремих елементів автоматики і систем управління в цілому.

Серед типових ланок систем автоматичного управління (САУ) розрізняють прості й комбіновані, а також особливі ланки.

Нижче приводяться математичний опис і приклади типових ланок САУ.

#### ***Підсилювальна ланка (безінерційна, пропорційна)***

Найпростішою є ланка, в якій вихідна величина прямо пропорційна вхідній величині. Рівняння такої ланки має вигляд:

$$y = k \cdot x, \quad (3.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт передачі (посилення) ланки.

Для цієї ланки передбачається, що передача сигналу від входу до виходу

відбувається миттєво без інерції. Тому таку ланку називають також безінерційною.

Прикладами підсилювальної ланки є: механічна передача (важіль або редуктор), електричний потенціометр, електронний підсилювач, пневматичний або гідравлічний клапани, пружні елементи (пружини або жорсткі мембрани) і так далі

***Інтегруюча ланка (астатична, нейтральна)***

Для даної ланки вихідна величина пропорційна інтегралу за часом від вхідної величини:

$$y = k \int_0^t x(t) dt + y_0, \quad (3.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Інакше кажучи, для такої ланки швидкість зміни вихідної величини пропорційна вхідній величині:

$$T \frac{dy}{dt} = kx, \quad (3.2)$$

де  $T$  – постійна часу ланки.

Прикладами реальних елементів, які можуть бути представлені інтегруючими ланками, є: вал електродвигуна, що обертається, гідравлічний резервуар, електричний конденсатор і індуктивність, гідравлічний підсилювач і так далі.

***Диференціююча ланка (імпульсна, передування)***

Для диференціюючої ланки вихідна величина залежить від швидкості зміни вхідної величини і описується рівнянням:

$$y = k dx / dt, \quad (3.3)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

На практиці не існує такого реального елемента, в якого на виході точно відтворювалася б похідна від вхідного сигналу. Проте існує ряд технічних пристроїв, які достатньо обґрунтовано можуть бути представлені диференціюючими ланками. До них відносяться: демпфуючі пристрої, електричний тахогенератор і електричні ланцюги з конденсаторами і індуктивностями.

***Аперіодична ланка (інерційна, ємкісна)***

Однією з найпоширеніших ланок в САУ є аперіодична ланка першого порядку. Окрім указаних вище назв, її іноді називають статичною і релаксаційною. Цю ланку описують наступним рівнянням:

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx, \quad (3.4)$$

де  $T$  і  $k$  – постійна часу і коефіцієнт посилення ланки, відповідно.

При відповідному спрощенні математичного опису прикладами інерційних ланок можуть служити багато об'єктів: теплові прилади, печі, газгольдери, гідравлічні резервуари, магнітні підсилювачі, датчики температури (термопары і термометри опору) і так далі.

### **Коливальна ланка (двохемкісна)**

Дана ланка відноситься до ланки другого порядку і описується рівнянням:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx, \quad (3.5)$$

де  $T_2, T_1$  – постійні часу;  
 $k$  – коефіцієнт посилення.

У загальному випадку

$$T_1 = 2\xi \cdot T_2, \quad (3.6)$$

де  $\xi$  - ступінь загасання.

При ( $\xi < 1$  і  $T_1 = T_2$ , рівняння (3.5) може бути представлене у вигляді:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \cdot \xi \cdot T \frac{dy}{dt} + y = kx, \quad (3.7)$$

Це рівняння відповідає чисто коливальній ланці.

Прикладами коливальної ланки можуть бути пружна механічна система з істотним впливом маси (вантаж, підвішений до пружини), електричний коливальний контур, поплавець дифманометр, мембранний пневмоклапан і так далі.

У випадку  $\xi \geq 1$  рівняння (3.7) описує інерційна ланка другого порядку, яке, по суті, є комбінованою ланкою і утворюється шляхом послідовного з'єднання двох аперіодичних ланок першого порядку. Прикладами такої ланки є теплообмінники типу “труба в трубі”, котельні агрегати, товстостінні печі і так далі. Рівняння такої ланки має вигляд (3.5).

### **Ланка запізнювання (трансцендентна)**

Ланка запізнювання, що відноситься до особливого типу ланок і серед них має найбільше практичне значення. Рівняння, що описує дану ланку має наступний вигляд:

$$y(t) = x(t - \tau), \quad (3.8)$$

де  $\tau$  - час запізнювання.

Приклади ланок запізнювання можна зустріти в різних конвеєрних установках, в трубопровідних системах без урахування втрат на тертя, в електричних ланцюгах з розподіленою індуктивністю і ємністю та ін.

Як видно з рівняння (3.8), вихідний сигнал ланки запізнювання повністю відтворює вхідний сигнал через деякий час.

Окрім простих типових ланок існують і комбіновані ланки, до яких відносяться:

**Форсуюча ланка** - ланка, яку описує наступне диференціальне рівняння:

$$y = k(x + Tdx / dt). \quad (3.9)$$

Така ланка створюється в результаті паралельного з'єднання пропорційної і диференціюючої ланок. Ця ланка, як і диференціююча, в ідеальному вигляді не може бути реалізована. У реальних форсуючих



пристроях є параметри, що створюють невелику інерційність, тим самим наближаючи будь-яку підсилювальну ланку до тієї, що форсує.

**Інерційно – диференціююча ланка** описують наступним диференціальним рівнянням:

$$y + Tdy / dt = kdx / dt. \quad (3.10)$$

Цю ланку називають також реальною диференціюючою. Прикладами ланки можуть бути демпфуючі пристрої, що працюють спільно з пружними елементами і електричні RC, RL ланцюги, що виконують функцію частотних фільтрів.

**Інерційно – форсуюча ланка.** Цю ланку описують рівнянням:

$$y + T_2 dy / dt = k(x + T_1 dx / dt), \quad (3.11)$$

Цю ланку називають також пружною ланкою.

Істотним параметром цієї ланки є параметр  $\tau = T_1 / T_2$ . Якщо  $\tau < 1$ , то ланка за своїми властивостями наближається до інтегруючої й інерційної ланок. Якщо  $\tau > 1$ , то ланка ближче до диференціюючої і інерційно-диференціюючої ланок. Приклади пружної ланки при відповідних значеннях  $\tau$  указані вище.

При синтезі САУ вибір того або іншого типу з наведених вище ланок здійснюється в результаті аналізу їх динамічних характеристик, що дозволяє використовувати необхідний математичний опис. Адекватність же математичного опису ланок зазвичай перевіряється експериментально.

Як основну динамічну характеристику для структурних ланок при дослідженні систем управління зазвичай використовують передавальну функцію  $W(p)$ , яку отримують з математичного опису ланки. Передавальні функції для розглянутих вище типових ланок наведені в таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1 - Характеристики типових ланок САУ**

Тип ланки	Рівняння ланки		Передавальна функція
	оригінал	зображення	
1	2	3	4
Підсилювальна	$y = k \cdot x,$	$Y = k \cdot X$	$W(p) = k$
Інтегруюче	$T \frac{dy}{dt} = kx,$	$Tp \cdot Y = k \cdot X$	$W(p) = k \frac{1}{Tp}$
Диференціююча	$y = kdx / dt$	$Y = kp \cdot X$	$W(p) = kp$
Аперіодична	$T \frac{dy}{dt} + y = kx$	$(Tp + 1)Y = kX$	$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$
Колювальна	$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y = kx$	$(T^2 p^2 + 2\xi T + 1)Y = kX$	$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T + 1}$
Аперіодична 2-го порядку	$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$	$(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)Y = kX$	$W(p) = \frac{k}{(T_2 p + 1)(T_1 p + 1)}$
Запізнювання	$y(t) = x(t - \tau)$	$Y = X \cdot e^{-p\tau}$	$W(p) = e^{-p\tau}$

Продовження табл. 1.

1	2	3	4
Форсуюча	$y = k(x + Tdx/dt)$	$Y = k(Tp + 1) \cdot X$	$W(p) = k(Tp + 1)$
Інерційно-диференціююча	$y + Tdy/dt = kdx/dt$	$(Tp + 1)Y = kp \cdot X$	$W(p) = \frac{kp}{(Tp + 1)}$
Інерційно-форсуюча	$y + T_2dy/dt = k(x + T_1dx/dt)$	$(T_2p + 1)Y = k(T_1p + 1)X$	$W(p) = \frac{k(T_1p + 1)}{(T_2p + 1)}$
<b>примітка:</b>			
Y, X – вихідна і вхідна змінні ланки в області зображень (після перетворень Лапласа)			
$W(p) = \frac{Y}{X}$ за нульових початкових умов.			

#### 4. АНАЛІЗ ЯКОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТОМ УПРАВЛІННЯ

Для аналізу якості управління прямим методом по заданому каналу необхідно за прийнятою структурно-динамічною схемою підібрати необхідний регулятор відповідно до таблиці 4.1 і з урахуванням передавальних функцій усіх ланок системи отримати її еквівалентну передавальну функцію. Потім розрахувати і побудувати криву перехідного процесу з прийнятим регулятором для оптимальних значень параметрів його налаштування і заданими динамічними характеристиками об'єкта управління по даному каналу ( $T_0$  - постійна часу,  $K_0$  - коефіцієнт посилення і  $\tau$  - час запізнювання).

Таблиця 4.1 - Типи стандартних регуляторів для різних об'єктів

Тип регулятора	Характеристика об'єкта		Характер зміни навантаження		Сфера застосування
	Ємність	Швидкість реакції	Значення	Швидкість	
Позиційний	Велика	Мала	Довільне	Довільна	Установки з великою постійною часу, резервуари, казани водяного опалювання, опалювальні прилади
I-	Довільна	Швидка	Довільне	Мала	Об'єкти з малим запізнюванням, промислові печі, ВКВ, об'єкти з самовирівнюванням
П-	Середня	Помірна	Мале	Середня	Регулювання рівня, сушильні печі і так далі
ПІ-	Довільна	Довільна	Велике	Середня	Об'єкти з великою швидкістю протікання процесів
ПІД-	Довільна	Довільна	Велике	Велика	Об'єкти з несподіваними обуреннями

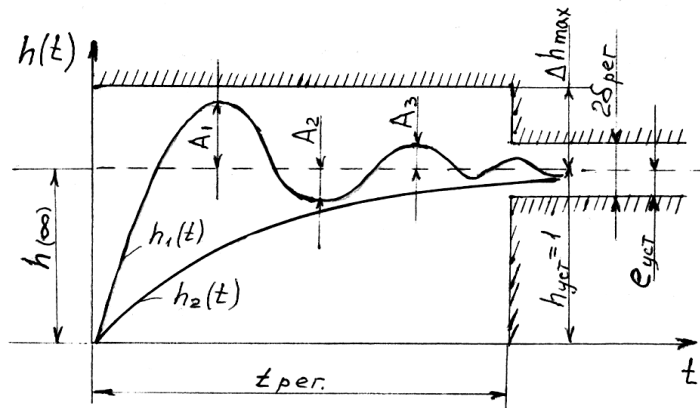
Значення оптимальних параметрів налаштування типових регуляторів для об'єктів з самовирівнюванням наведені в таблиці 4.2.

**Таблиця 4.2 - Значення оптимальних параметрів налаштування різних регуляторів**

Тип регулятора	Бажаний вид перехідного процесу		
	Аперіодичний з min трег	З 20 % перерегулюванням	З min квадрат. площею
I-	$T_S = 4,5 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1,7 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1,7 \cdot \tau \cdot K_0 \cdot T_0$
П-	$K_p = \frac{0,3}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0,7}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0,9}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПІ-	$T_u = 0,8\tau + 0,5T_0$ $K_p = \frac{0,95}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0,3T_0$ $K_p = \frac{1,2}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0,35T_0$ $K_p = \frac{1,4}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПІД-	$T_u = 2,4\tau$ $T_\delta = 0,4\tau$	$T_u = 2,0\tau$ $T_\delta = 0,4\tau$	$T_u = 1,3\tau$ $T_\delta = 0,5\tau$

**Примітка.**  
 $T_S$  – коефіцієнт передачі І- регулятора;  $K_p$  - коефіцієнт посилення регуляторів;  
 $T_u$  – час ізодрому;  $T_\delta$  – час передування;

Криві перехідних процесів отримують як результат дії на вхід ланки з еквівалентною передавальною функцією одиничного ступінчастого обурення  $U(t)$ . Можливі при цьому типи перехідних процесів наведені на рис. 4.1.



**Рис. 4.1 – Коливальний  $h_1(t)$  і аперіодичний  $h_2(t)$  перехідні процеси**

Розрахунок перехідних процесів проводять на підставі вирішення диференціальних рівнянь для системи регулювання в перетвореннях Лапласа  $Y(p)$  і подальшим переходом в область оригіналів  $Y(t)$ .

Перетворення Лапласа деяких функцій тимчасового аргументу приведені нижче:

1.  $1(t) \xrightarrow{\cdot} \frac{1}{p}$
2.  $t \xrightarrow{\cdot} \frac{1}{p^2}$
3.  $\frac{t^n}{n!} \xrightarrow{\cdot} \frac{1}{p^{n+1}}$
4.  $e^{\lambda t} \xrightarrow{\cdot} \frac{1}{p - \lambda}$
5.  $1 - e^{-\lambda t} \xrightarrow{\cdot} \frac{\lambda}{p(p + \lambda)}$
6.  $\frac{t^n}{n!} e^{\lambda t} \xrightarrow{\cdot} \frac{1}{(p - \lambda)^{n+1}}$
7.  $\cos \omega t \xrightarrow{\cdot} \frac{p}{p^2 + \omega^2}$
8.  $1_0(t - \tau) \xrightarrow{\cdot} \frac{1}{p} e^{-p\tau}$

Знаходження вирішення  $Y(t)$  в області оригіналів полягає в зображенні рівняння  $Y(p)$  у вигляді суми елементарних дробів, які за формулами переходу 1 - 8, наведеним вище, перепроводжують в область оригіналів.

Розкладання виразу  $Y(p)$  на елементарні дроби провадять за наступною формулою:

$$\frac{k(p)}{D(p)} = \frac{c_1}{p - \lambda_1} + \frac{c_2}{p - \lambda_2} + \dots + \frac{c_n}{p - \lambda_n}, \quad (4.1)$$

де -  $D(p)$  – характеристичне рівняння системи регулювання;

$\lambda_i$  - коріння рівняння  $D(p) = 0$ ,  $i = 1, n$ ;

$c_i = \frac{k(\lambda_i)}{D'(\lambda_i)}$  - коефіцієнти розкладання  $i = 1, n$ ;

$D' = \frac{dD(p)}{dp}$  при  $p = \lambda_1; p = \lambda_2 \dots; p = \lambda_n$ .

#### Приклад

Побудувати графік функції в області оригіналів, якщо в області зображень вона має вигляд:

$$Y(p) = \frac{6p^2 - p + 1}{p^3 - p}.$$

#### Рішення

Поліном чисельника заданої функції дорівнює  $k(p) = 6p^2 - p + 1$ ; характеристичне рівняння -  $k(p) = 6p^2 - p + 1$ ; а його похідна -  $D'(p) = 3p^2 - 1$ .

Визначимо коріння  $\lambda_i$  рівняння  $D(p) = 0$ ;

$$D(p) = (p - 1)(p + 1)p = 0;$$

$$\lambda_1 = 1; \lambda_2 = -1; \lambda_3 = 0.$$

Представимо початкову функцію у вигляді суми елементарних дробів відповідно до рівняння (4.1):

$$\frac{k(p)}{D(p)} = \frac{6p^2 - p + 1}{(p - 1)(p + 1)p} = \frac{c_1}{p - 1} + \frac{c_2}{p + 1} + \frac{c_3}{p}.$$

Визначимо коефіцієнти розкладання  $c_i$ :

$$c_1 = \frac{k(\lambda_1)}{D'(\lambda_1)} = \frac{k(1)}{D'(1)} = \frac{6 \cdot 1^2 - 1 + 1}{3 \cdot 1^2 - 1} = 3;$$

$$c_2 = \frac{k(\lambda_2)}{D'(\lambda_2)} = \frac{k(-1)}{D'(-1)} = \frac{6 \cdot (-1)^2 + 1 + 1}{3(-1)^2 - 1} = 4;$$

$$c_3 = \frac{k(\lambda_3)}{D'(\lambda_3)} = \frac{k(0)}{D'(0)} = \frac{1}{-1} = -1.$$

Таким чином

$$\frac{k(p)}{D(p)} = \frac{3}{p - 1} + \frac{4}{p + 1} - \frac{1}{p}.$$

Звідси:  $Y(t) = 3e^t + 4e^{-t} - 1$ .

Далі за заданими значеннями  $t$  будують графік перехідного процесу  $Y(t)$ .

Для оцінки перехідного процесу, окрім виду кривої (рис. 4.1), вводять кількісні величини, що є визначальними параметрами перехідного процесу, які мають задовольняти необхідним значенням. До таких параметрів відносять:

1. Статичну точність системи:

$$e_{уст} = |h_{уст} - h_{(\infty)}|; \quad (4.2)$$

2.  $t_{pez}$  – час регулювання, що визначає швидкодію системи, яку визначають із співвідношення:

$$|h(t) - h_{уст}| \leq 2\delta_{pez} \quad \text{при } t \geq t_{pez},$$

де  $2\delta_{pez}$  – задана мала величина, що характеризує точність системи ( $2\delta_{pez} \approx 5\%$ ).

2. Величину перерегулювання (динамічна помилка), що характеризує плавність протікання процесу:

$$\sigma = \frac{A_1 - h_{уст}}{h_{уст}} \% \leq \Delta h_{max}. \quad (4.4)$$

4.  $N$  – число перерегулювань, що показує, скільки разів коливання  $h(t)$  біля нового сталого значення перевищують величину  $2\delta_{pez}$ . Цей параметр визначають як число викидів, для яких  $h(t) - h_{уст} > 2\delta_{pez} > 0$  (для якісних САУ  $N \leq 2$ ).

5. Ступінь загасання (для калювальних процесів):

$$\xi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} \geq \xi_{треб}. \quad (4.5)$$

При цьому необхідне значення ступеня загасання має бути  $\xi_{треб} \geq 0,9$ .

## 5. ПОЧАТКОВІ ДАНІ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Початкові дані для виконання індивідуального завдання приведені в таблиці 5.1. Рівняння і передавальні функції для заданих регуляторів приведені в таблиці. 5.2.

**Таблиця 5.1 - Початкові дані**

остання цифра в № залікової книжки	рівняння об'єкту управління	значення параметрів об'єкту управління				тип регулятора	бажаний тип перехідного процесу
		Ко	$T_1$	$T_2$	$\tau$		
0	$T \frac{dy}{dt} + y = kx$	1	10	-	1	I-	3 min квадрат. площею
1	$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$	1	10	10	0,5	II-	Аперіодичний з min трег
2	$T \frac{dy}{dt} + y = kx$	1,5	5	-	0,3	III-	3 min квадрат. площею
3	$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$	0,9	5	10	0,1	I-	3 min квадрат. площею
4	$T \frac{dy}{dt} + y = kx$	1	2	-	0,2	ПД-	Аперіодичний з min трег
5	$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$	1	1	5	0,08	III-	Аперіодичний з min трег

Продовження табл. 5

6	$T \frac{dy}{dt} + y = kx$	1,2	15	-	1,5	П-	3 min квадрат. площею
7	$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$	1	5	10	0,5	I-	3 min квадрат. площею
8	$T \frac{dy}{dt} + y = kx$	0,8	1	-	0,1	ПІ-	Аперіодичний з min трег
9	$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx$	1	2	5	0,05	ПІД-	Аперіодичний з min трег

Таблиця 5.2 - Типові промислові регулятори

тип регулятора	рівняння	передавальна функція
I-	$U(t) = k_{ин} \int e(t) dt$	$W_{II}(p) = \frac{1}{Tp}$
П-	$U(t) = K \cdot e(t),$	$W_{II}(p) = K$
ПІ-	$U(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_u} \int e(t) dt \right].$	$W_{III}(p) = K \left( 1 + \frac{1}{T_u p} \right)$
ПІД-	$U(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_u} \int e(t) dt + T_s e'(t) \right]$	$W_{IIID}(p) = K \left( 1 + \frac{1}{T_u p} + T_s p \right)$

## 6. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

- за індивідуальними початковими даними зобразить структурну динамічну схему каналу регулювання (рис. 2.2);
- отримайте еквівалентну передавальну функцію каналу регулювання;
- отримайте зображення  $Y(p)$  рівняння перехідної функції каналу регулювання при вхідній стрибкоподібній дії;
- обчисліть перехідний процес у системі регулювання;
- отримайте рівняння перехідного процесу  $Y(t)$ ;
- побудуйте графік перехідного процесу (рис. 4.1);
- по графіку перехідного процесу визначте показники якості регулювання, такі як час регулювання, статичну і динамічну помилки регулювання, число перерегулювань, а також ступінь коливання.;
- результати розрахунків занесіть до таблиці;
- зробіть і запишіть висновки.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теория автоматического управления. Теория линейных систем. Под ред.. Нетушила А. В: Учебник для вузов - М.: Высшая школа, 1976. - 400 с.
2. Мухин О. А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции - Минск: Высшая школа, 1986. - 304 с.
3. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник – К.: Либідь, 1997. - 544 с.
4. Ротач В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 290 с.
5. Нубарян С.М. Основы автоматического управления. Курс лекций. – Харьков: ХГАГХ, 2003 – 136 с.
6. Нубарян С.М. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Краткий курс лекций. - Харьков: ХНАГХ, 2007 – 148 с.

## ЗМІСТ

стор.

Вступ.....	3
1. Зміст розрахунково-графічної роботи та її оформлення.....	3
2. Вимоги до виконання роботи.....	4
3. Типові структурні ланки систем управління.....	6
4. Аналіз якості регулювання об'єктом управління.....	10
5. Початкові дані для індивідуальних завдань.....	13
6. Порядок виконання розрахунково-графічної роботи.....	14
Список рекомендованих джерел.....	15

# НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання розрахунково-графічної роботи  
з дисципліни  
**«Автоматизація систем теплогазопостачання і вентиляції»**  
(для студентів усіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти  
спеціальності 7.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція»).

Укладач: **Нубарян** Сергій Манукович

Відповідальний за випуск *І. І. Катцов*

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 145М

---

Підп. до друку 02.11.2011р.  
Друк на різнографі  
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16.  
Ум. друк. арк. 0,9  
Зам. № \_\_\_\_\_

---

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rektorat@ksame.kharkov.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.