



**Єсаулов С. М.** Конспект лекцій з дисципліни «Автоматизація технологічних процесів та установок» (для студентів 5 – 6 курсів усіх форм навчання за спеціальностями 7.05070204, 8.05070204 – «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: С. М. Єсаулов. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 78 с.

Автор: С. М. Єсаулов

Рецензент: канд. техн. наук, доцент А. К. Бабіченко

Цей конспект лекцій присвячений вивченню дисципліни «Автоматизація технологічних процесів та установок» і складають основу закріплення знань з прикладної теорії автоматичного регулювання.

Затверджено на засіданні кафедри електричного транспорту,  
протокол №2 від 1.10.2013 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 1    Автоматизація технологічних об'єктів.....	5
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 2    Структурні схеми засобів автоматики.....	8
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 3    Об'єкти комунального господарства.....	14
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 4    Елементи розрахунку й аналіз САР.....	23
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 5    Автоматичні регулятори та їх вибір.....	29
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 6    Контроль технологічних параметрів.....	36
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 7    Регулюючі органи і виконавчі механізми.....	45
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 8    Організація служби диспетчерського керування ТО.....	54
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 9    Системи програмного керування ТО.....	58
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 10    Принципи складання схем автоматизації.....	66
ТЕМА ЛЕКЦІЇ 11    Підвищення надійності САР.....	71

## ВСТУП

Дисципліни «Автоматизація технологічних процесів та установок» і «Автоматизація технологічних процесів» відбиває прикладні питання теорії автоматичного регулювання і розкриває принципи синтезу засобів автоматики, якими на даний час оснащені всі виробничі технологічні об'єкти (ТО) комунального господарства, різні установки з електро-, пневмо- і гідроприводами, техніка побутового призначення та ін. Оскільки в засобах автоматизації використовують компоненти, що серійно випускаються, і вироби оригінального виконання, призначених для ексклюзивних зразків технологічного устаткування, то фахівці в сфері автоматизації повинні уміти систематизувати й розширювати теоретичні знання в різних галузях техніки, ефективно використовувати довідковий матеріал, мати досвід патентного пошуку, вирішувати технічні питання різних напрямів і використовувати в своїй практичній діяльності досягнення обчислювальної техніки.

Використовувані експериментальні й експериментально-аналітичні методи вивчення об'єктів автоматизації нині орієнтовані на застосування персональних комп'ютерів і спеціального програмного забезпечення. Оригінальний пакет прикладних програм “*SinSys*”, розроблений на кафедрі електричного транспорту, ілюструє студентам можливості віртуальних моделей і електронних стендів, за допомогою яких вивчають принципи роботи й розрахунок компонентів систем автоматики, що дозволяє отримувати необхідні дані без фізичної реалізації багатьох об'єктів керування. При опануванні дисциплін «Автоматизація технологічних процесів та установок» і «Автоматизація технологічних процесів» студенти набувають досвід індивідуального самостійного вивчення відомих технічних рішень, освоюють сучасні інженерні підходи при автоматизації технологічних об'єктів, виконують економічний аналіз власних оригінальних технічних рішень, оформляють технічну документацію за ДСТ.

Спеціалізація з автоматизації технологічних процесів придатна для:

- 1) автотранспорту - сучасні автомобілі, оснащені локальною системою автоматики і містять більше 50-ти датчиків різного призначення;
- 2) електротранспорту - системи автоматики на рухомих одиницях і тягових підстанціях;
- 3) підприємств водопостачання теплової мережі, каналізації, водоочисних споруд, ліфтового господарства;
- 5) сервісних центрів з ремонту побутової техніки (газові, мікрохвильові, електричні плити, теле-, радіо- і аудіотехніка, засоби дистанційного керування), будівельної техніки та ін.;
- 6) сервісно-консультативних центрів в торгівлі;
- 7) міських парків - світломузикальні фонтани, атракціони, іграшки та ін.

Все це обумовлює актуальність вивчення дисциплін «Автоматизація технологічних процесів та установок» і «Автоматизація технологічних процесів».

# ТЕМА ЛЕКЦІЇ 1 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

(2 год.)

## *План лекції*

1. Види технологічних об'єктів у комунальному господарстві.
2. Особливості керування технологічними процесами й установками.
3. Призначення систем автоматичного регулювання (САР).
4. Функціональні схеми систем автоматизації.

## *Короткий зміст. Основні поняття та терміни*

**Технологічні об'єкти комунального господарства:** об'єкти тепло- водо- газопостачання, ліфтове господарство, паркове обладнання та ін.

**Особливість** технологічних об'єктів – територіальний розподіл, велика кількість різних параметрів (температура, тиск рідин та газів, різні за потужністю електричні виконавчі механізми, які застосовують в насосах, вентиляторах; тягові підстанції різного призначення; диспетчерські пункти та ін.)

**Дисципліни** «Автоматизація технологічних процесів і установок» (АТПіУ) і «Автоматизація технологічних процесів» є прикладною теорією автоматичного керування (АК) і спрямована на вивчення і практичне застосування принципів аналізу технологічних об'єктів різного призначення і синтезу систем автоматичного регулювання (САР), управління (САУ) і контролю (САК). В АТПіУ використовують основи знань, отримані при вивченні теорії автоматичного керування (ТАК), теоретичних основ електротехніки (ТОЕ), мікросхемотехніки, мікропроцесорних пристроїв (МПП), автоматизації електроприводу, а також всіх законів математики, фізики, хімії.

**Особливості керування:** цілодобовий контроль і регулювання технологічних процесів, передача інформації для її обробки і використання різними службами, що знаходяться на відстані від технологічних об'єктів (ТО), вплив на ТО великої кількості неконтрольованих факторів.

**Призначення систем автоматизації** обумовлене використанням необхідністю вводу неперервного контролю і регулювання різних технологічних величин на ТО.

Системи автоматичного регулювання (САР) і системи автоматичного управління (САУ) в самостійному вигляді не існують, а їх завжди розглядають спільно з технологічним об'єктом, на основі знань процесів, що відбуваються в ньому, а також конструкції ТО, поведінки матеріалів, сировини та ін. в процесі його експлуатації. Тому знання технології і технологічного режиму ТО завжди лежать в основі синтезу САР і САУ.

Абревіатуру САР найчастіше використовують для локальних засобів автоматики, а САУ – при використанні декількох САР.

### Основи розробки функціональних схем систем автоматизації

В даний час за ДСТ 3925-58 для розробки функціональних систем автоматики використовують принцип зображення структурної схеми автоматики, але замість звичних зображень блоків та ін. функціональних компонентів САР їх позначають буквами (наприклад,  $I$  - показуючий прилад,  $R$  - реєструючий прилад,  $C$  - регулятор та ін.). При цьому треба враховувати прийняті позначення параметрів контролю: температури -  $T^0$ , тиску -  $P$ , електричної величини -  $E$  і т.д.

Будь-який конкретний елемент САР (датчик, прилад, орган керування та ін.) зображають у вигляді кола або еліпса, які ділять навпіл межею: у верхній половині - записують буквене позначення, функції конкретного компоненту системи, які відображають в наступній послідовності (рис. 1.1):

- 1) вимірювана величина -  $E$ ;
- 2) свідчення -  $I$ ;
- 3) реєстрація -  $R$ ;
- 4) регулювання або керування -  $C$ ;
- 5) включення, перемикання -  $S$ ;
- 6) сигналізація -  $A$ .

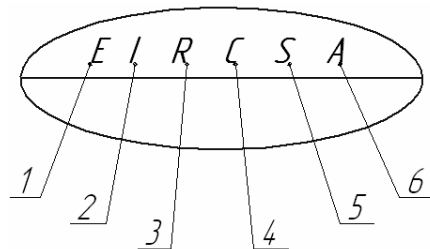


Рисунок 1.1 – Позначення засобів автоматики на функціональних схемах

а в нижній частині - умовна нумерація всіх компонентів (наприклад, у вигляді  $1-1$ .)

На функціональних схемах ТО зображають найчастіше їх силуетом, а місця установки конкретних компонентів САР - точками.

Щоб відтворити датчик температури на автомобілі, слід скористатися рисунком 1.2:

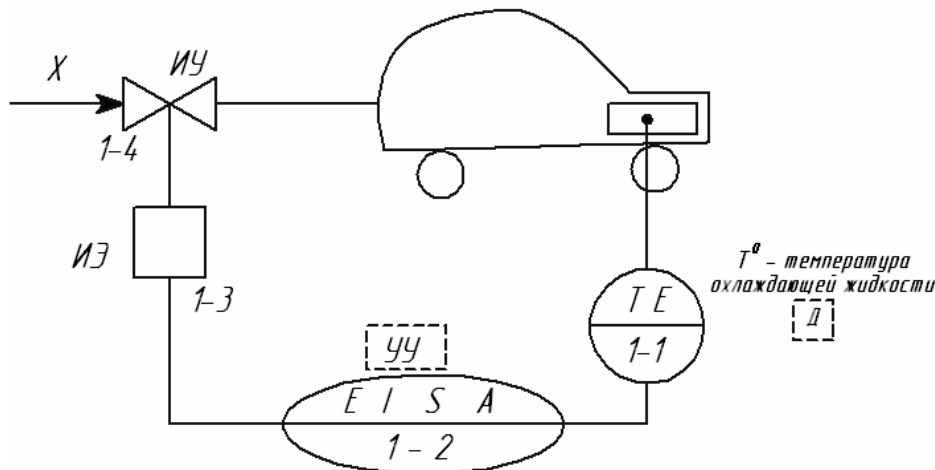


Рисунок 1.2 – Приклад функціональної схеми

*Специфікації схем систем автоматизації.*

Специфікація – найбільш важливий етап при розробці функціональної схеми автоматики (табл. 1.1). У специфікації: позиція – *1 - 1*; умовні позначення заповнюють якщо використовують буквені позначення компонентів САР, що відрізняються від прийнятих в стандарті; найменування – словесно указують компонент САР, що прийнятий в номенклатурі виробників (наприклад, датчик-резистор); параметр – зазвичай указують інтервал, контрольованої величини, в межах якої змінюється в часі експлуатований ТО; примітка – завод-виробник.

Таблиця 1.1 – Приклад специфікації функціональної схеми автоматики

<i><b>Позиція</b></i>	<i><b>Умовні позначення</b></i>	<i><b>Найменування</b></i>	<i><b>Параметр</b></i>	<i><b>Примітка</b></i>
1 - 1	ТО	Датчик резистивний	10÷100 <sup>0</sup> С (-50÷150 <sup>0</sup> С)	Завод- виробник

***Список літератури для самостійного пророблення матеріалу  
за даною темою.***

1. Круглов Г.А. Основы автоматизации производственных процессов. – М.: ТОО «ЯНУС», 1995. – 52 с.
2. Бушуев С.Д., Михайлов В.С. Автоматика и автоматизация производственных процессов: Учебн. для вузов. – М.: Высш.шк., 1990. – 256 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 2 СТРУКТУРНІ СХЕМИ ЗАСОБІВ АВТОМАТИКИ

(2год.)

### План лекції

1. Основні види САР.
2. Типові динамічні ланки, їх передавальні функції, часові й частотні характеристики.

### Короткий зміст. Основні поняття та терміни

#### Основні види САР

В основі практичного використання САР лежать три принципи керування: за відхиленням, збуренням і комбінований.

1. САР за відхиленням (рис. 2.1) складається з:

- ТО (технологічного об'єкту), в якому вихідна ордината  $Y$  є предметом автоматизації ТО з метою підтримки її на рівні  $Y_0$  (номінальне значення). Щоб контролювати  $Y$ , ТО оснащують приймальним елементом (датчиком), який служить перетворювачем вихідної величини  $Y$  в електричну або іншу фізичну величину, зручну для зміни перетворення або передачі на відстань. Датчики в замовленій специфікації відзначають у вигляді «температура - напруга» ( $T^\circ - E$ ), «температура - тиск» ( $T^\circ - P$ ), «температура - освітлення» ( $T^\circ - \Phi$ ).

- УУ (керуючий пристрій), який є електронним блоком з двома входами: на перший подається сигнал від датчика-перетворювача (Д), а на другий сигнал еквівалентний параметру завдання  $Y_0$ .

- ЗУ (задаючий пристрій), який є самостійним елементом схеми, який розміщується на пульті керування і доступний для обслуговування персоналу для зміни завдання СА.

- $Y$  - вихідний сигнал з УУ, який найчастіше електричний, поступає на виконавський елемент (ІЭ), що складається з електроприводу (пнеumoприводу, гідроприводу) і виконавчого механізму (засувка, двигун реостата та ін.), який розміщений безпосередньо на об'єкті керування (ОК) для регулювання величини  $X$ .

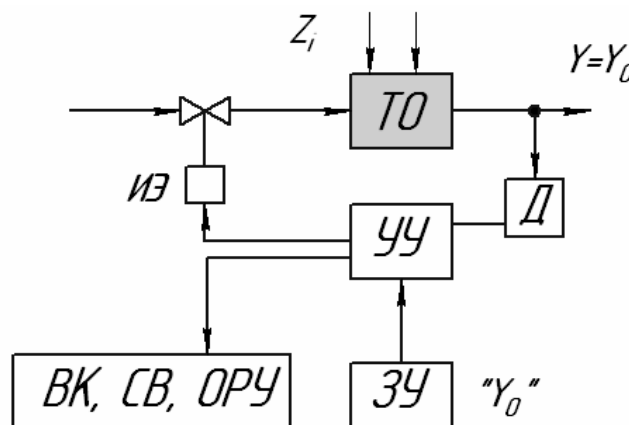


Рисунок 2.1 – Блок-схема САР за відхиленням.



Розглянуту блок-схему САР завжди оснащують засобами контролю (ВК), засобами візуалізації (СВ), органами ручного керування (ОРУ), тому будь-яка САР завжди має табло, пульт керування, показуючі прилади й засоби запису або запам'ятовування.

САР за відхиленням найбільш застосовані, оскільки забезпечують компенсацію дії на ТО будь-якої збурюючої величини  $Z_i$ .

## 2. САР за збуренням.

САР за збуренням мають ту ж саму структуру, що й за відхиленням тільки датчик встановлюють для контролю збурюючих величин (рис. 2.2). Якщо в першому випадку за підтримкою температури в приміщенні повинні були використовувати термометр (термодатчик) усередині приміщення за умови, що

$$\begin{aligned} Y_0 &= 20^0\text{C}, \\ Y_0 &> Y, \\ Y_0 &< Y \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} Y_0 &= 20^0\text{C}, \\ Y_0 &> Y, \\ Y_0 &< Y \end{aligned}} \right\} "a", \quad (2.1)$$

а невиконання умов «а» досягається включенням САР, якщо  $Y_0 > Y$  - це нагрівач, якщо  $Y_0 < Y$  - кондиціонер, то для рисунку 2.2 термодатчик розміщується на вулиці для контролю збурюючих величин, а канали регулювання залишаються колишніми («температура зовнішня - температура кімнатна»  $T_H^0 - T_K^0$ ).

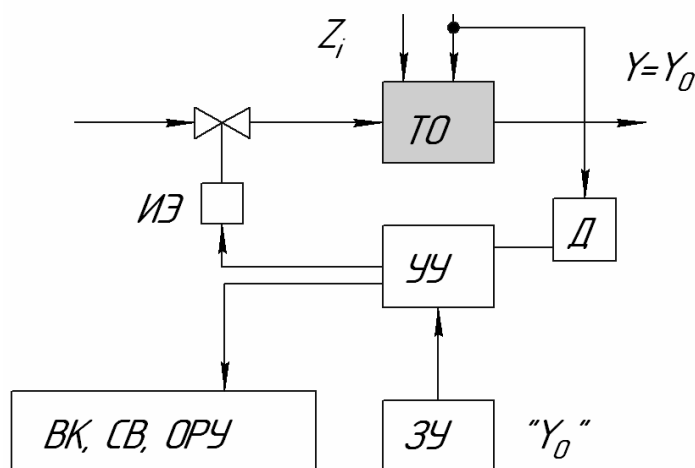


Рисунок 2.2 – Блок-схема за збуренням.

Недолік системи за збуренням полягає в тому, що складно отримати лінійну залежність між  $Z$  та  $Y$  (наприклад  $T_H = 20^0\text{C}$  і  $T_K = 20^0\text{C}$ ), тобто  $Y = Y_0$ , а система за відхиленням гнучкіша, але відрізняється більшою витратою часу для досягнення величини  $Y$  номінального значення  $Y_0$ .

3. САР комбіновані. Рідше в техпроцесах застосовують комбіновані САР (рис. 2.3), що складаються з САР за відхиленням і збуренням.

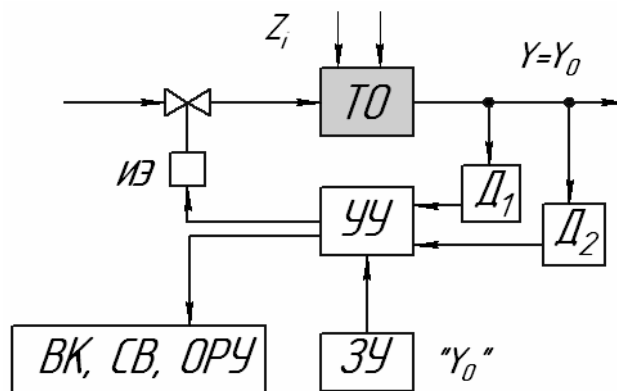


Рисунок 2.3 – Блок-схема САР комбінована.

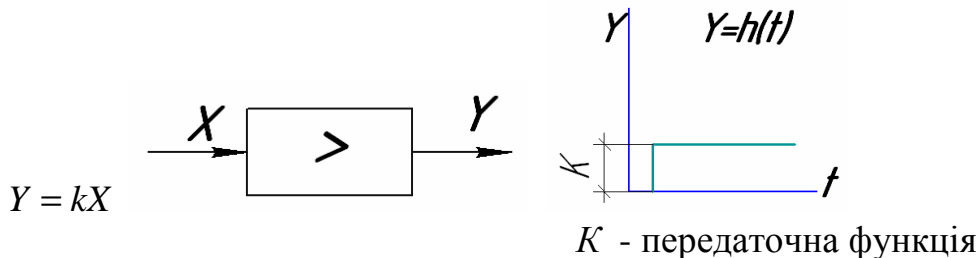
**Застосування.** Адаптацію (пристосовування) САР до непередбачених відхилень параметрів  $X$  і  $Z$  здійснює САР з розглянутими структурами, в яких застосовують складні й інтелектуальні керуючі пристрої.

**Типові динамічні ланки,** в яких проходження сигналу описують алгебраїчним або диференціальним рівнянням не вище 2-го порядку.

#### 1.1. Типові динамічні ланки.

Оскільки поведінку ТО, як було розглянуто вище, описують схожими рівняннями динаміки згідно з кривими розгону, тому всі об'єкти розділені на групи із схожими властивостями.

##### 1. Підсилювальна ланка.



$$W(p) = k. \quad (2.1)$$

До ТО, що володіють властивістю підсилювальної ланки, слід віднести всі пристрої з поршневою дією на середовище керування (рисунок 2.4), такі об'єкти легко реалізувати на практиці і досить просто описувати зв'язними перехідними характеристиками.

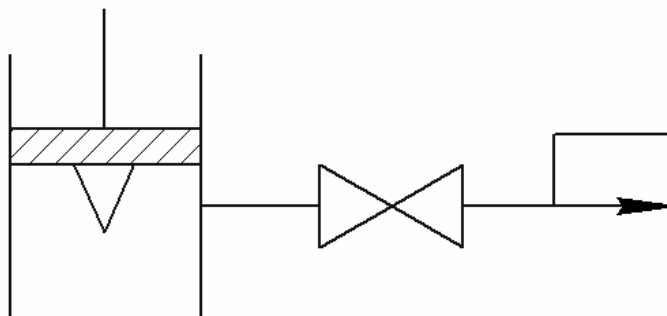
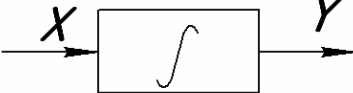


Рисунок 2.4 – Приклад поршневого пристрою

2. Інтегруюча ланка (рис. 2.5).

$$Y = \frac{1}{T_u} \int X dt$$


$$W(p) = \frac{1}{T_u} \cdot \frac{1}{p} \quad (2.2)$$

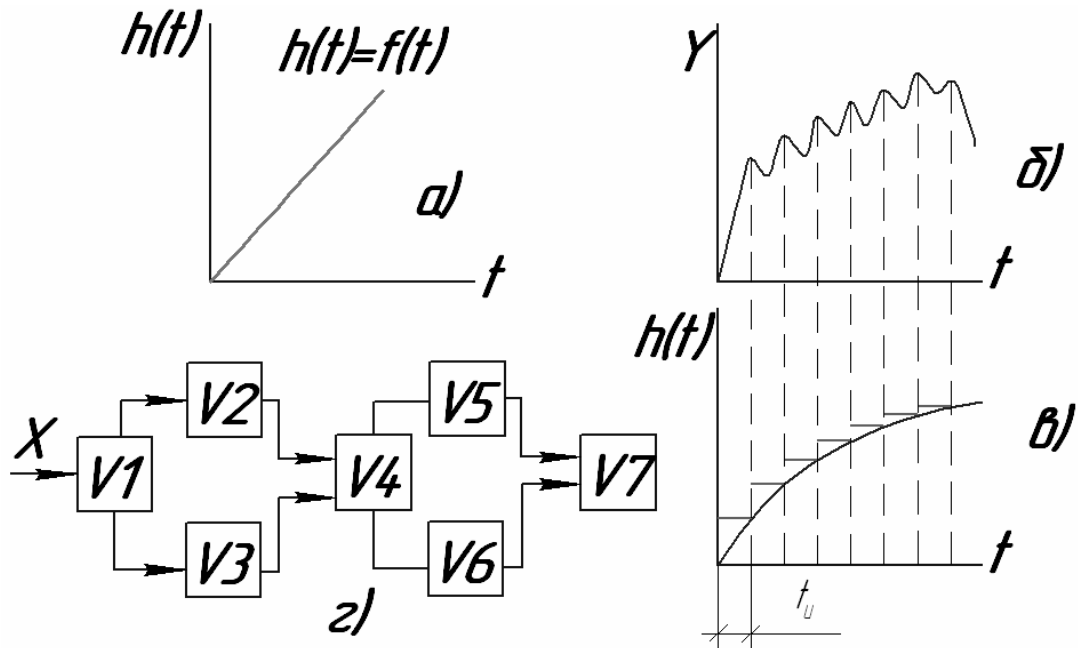
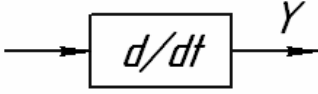


Рисунок 2.5 – Інтегруюча ланка

Параметр  $T_u$  – час інтеграції (час ізодрома) визначає параметр настройки такого пристрою, здатного відстежувати поточну інформацію щодо поведінки ТО за перехідною характеристикою (рис. 2.5б), формуючи вихідний сигнал (рис. 2.5в). До таких об'єктів належать багатомісні ТО із змішаним з'єднанням за відсутністю ліній зворотного зв'язку (рис. 2.5г).

3. Диференціююча ланка.

$$Y = T_\partial \frac{dX}{dt}, \quad h(t) = T_\partial X ;$$


Диференціююча ланка часто зустрічається в електричних пристроях (рис. 2.6), коли при замиканні тумблера  $S$  в ланцюзі керування  $U_y$  з конденсатором  $C$  виникне струм заряду. Цей процес ілюструє крива  $I = f(t)$  на рисунку 2.7б. Оскільки процес заряду  $C$  може бути швидкоплинним, то струм в ланцюзі осцилограф реєструє у вигляді імпульсу  $h(t = f(t))$  на рисунку 2.7а. Властивість диференціюючої ланки часто використовують для реєстрації початку перехідного процесу.

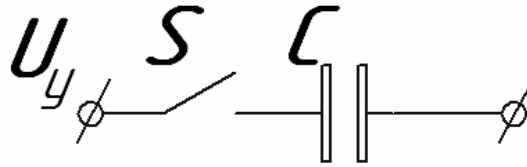


Рисунок 2.6 – Електричний ланцюг з конденсатором:  
 $U_y$  – керуюча напруга;  $S$  – тумблер;  $C$  – конденсатор

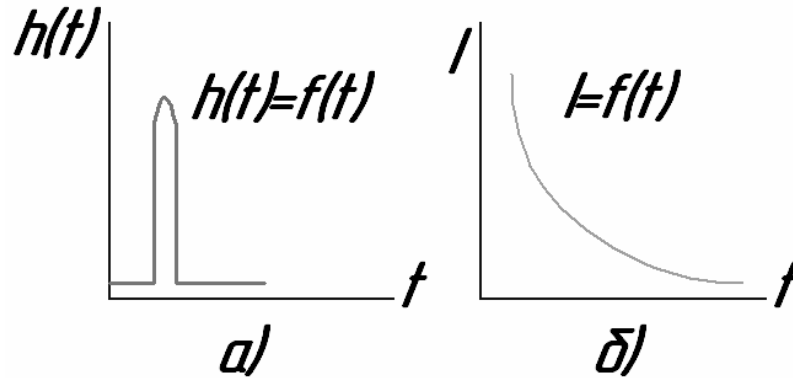


Рисунок 2.7 – Контроль процесів в електричному ланцюзі з конденсатором:  
 $a$  – часова характеристика;  $б$  – струм заряду конденсатора

На відміну від базових динамічних ланок, розглянутих вище, ТО включають багато різних динамічних елементів (рис. 2.8а). Схеми складних ТО (рис. 2.8а) представляють моделями (рис. 2.8б), які використовують для вивчення перехідних процесів без реалізації реальних об'єктів керування.

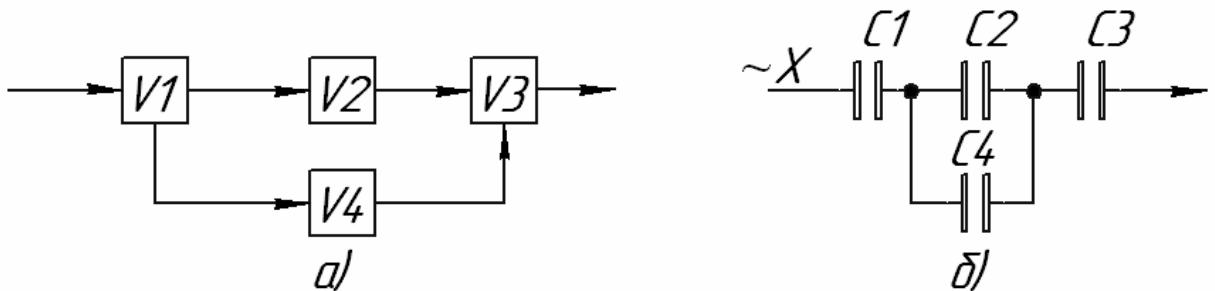


Рисунок 2.8 – Приклад ТО:  
 $a$  – з'єднання компонентів ТО;  $б$  – модель ТО, що отримана за допомогою радіоелементів.

#### 4. Аперіодична ланка - ланка першого порядку (рис. 2.9)

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1}. \quad (2.3)$$

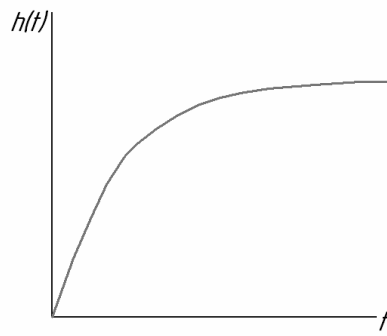


Рисунок 2.9 – Часова характеристика

#### 5. Коливальна ланка - ланка другого порядку

$$W(p) = \frac{K}{Tp^2 + Tp\zeta + 1} \quad (2.4)$$

У цьому виразі коефіцієнт демпфування  $\zeta$  ілюструє параметр, що впливає на заспокоєння коливальних процесів в ТО.

Часові характеристики коливальної ланки за різними параметрами його компонентів наведені на рисунок 2.10.

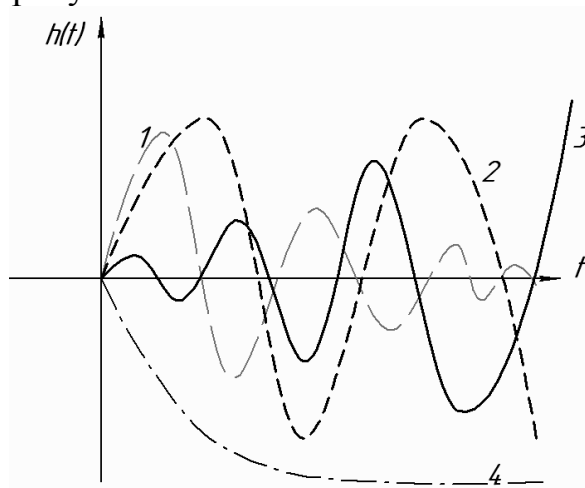


Рисунок 2.10 – Часові характеристики коливальної ланки:

- 1 – коливальний процес, що сходиться; 2 – незгасаючі коливання з постійною амплітудою; 3 – коливальний процес, що розходиться; 4 – аперіодичний процес, отриманий при великому коефіцієнті демпфування*

#### **Список літератури для самостійного пророблення матеріалу за даною темою.**

1. Бушуев С.Д., Михайлов В.С. Автоматика и автоматизация производственных процессов: Учебн. для вузов. – М.: Высш.шк., 1990. – 256 с.
2. Староверов А.Г. Основы автоматизации производства: Учеб. для средн. учебн. заведений. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 3 ОБ'ЄКТИ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

(бгод.)

### *План лекції*

1. Дискретні ТО, структурні схеми та їх компоненти.
2. Релейно-контактні системи (РКС) автоматики та їх математичне модулювання.
3. Розробка функціональних схем.
4. Аналогові ТО, структурні схеми і їх компоненти.
5. Лінійні САР.
6. Експериментальне дослідження властивостей ТО і складання математичного описання об'єктів.
7. Вплив ємкісного і транспортного запізнювання на динамічні властивості ТО.
8. Поняття про стійкість систем.

### *Короткий зміст. Основні поняття та терміни*

*Технологічний об'єкт* - сукупність технологічних операцій, які проводять з метою отримання продукту із заданими властивостями, здійснювані в спеціальних апаратах або установках.

*Технологічний об'єкт регулювання* - технологічний процес, реалізований на відповідному технологічному устаткуванні, в якому підтримують певні умови роботи.

*Керуюча дія* - цілеспрямована зміна матеріальних і енергетичних потоків.

*Керуюча величина* - вхідна величина, за допомогою якої здійснюють нейтралізацію впливу збурень на ТО.

*Локальні системи автоматики* - забезпечують стабілізацію необхідних режимів процесів, що протікають в окремих апаратах, шляхом підтримки заданих значень характерних технологічних величин.

Об'єкти комунального господарства оснащують дискретними і аналоговими системами автоматики (системами автоматичного регулювання САР).

За характером регулюючої дії САР ділять на дискретні, безперервні, імпульсні або цифрові.

*Дискретні (релейні) системи* автоматики мають у своєму складі релейну ланку, що перетворює неперервну вхідну величину в дискретну.

Наприклад, коли регулююча дія на ТО за допомогою виконавчих механізмів здійснюється короткочасно, досягши граничних допустимих значень (температура опустилася до  $20^{\circ}\text{C}$  при  $t_{\text{норм}} = 25^{\circ}\text{C}$  - включається нагрівач, при досягненні  $25^{\circ}\text{C}$  - вимикається).

### **Моделювання РКС**

Моделювання дискретних систем засновано на застосуванні таблиць істинності, отриманні математичного опису і розробці функціональної схеми автоматизації на базі елементів логіки «И», «ИЛИ», «НЕ». У таких схемах ствердні стани аргументів  $X_1$  і  $X_2$  позначають «1», а інверсні - «0». Згідно, наприклад, з формальним описом, функціональна схема буде реалізована на одному елементі «ИЛИ».

Окрім цього існує *матричний метод моделювання*, заснований на використанні структурних матриць. *Метод структурних матриць* діє на прикладі дискретного включення сигнальної лампи  $Y$ . Даний метод застосовний для будь-яких схем, полягає в наступному: в схемі нумерують вузли з'єднання компонентів  $1 - 4$ , матриця відповідно матиме чотири стовпці і чотири рядки. Там, де вузол є місцем з'єднання аргументу в матриці і відображається цим аргументом. Зазвичай по діагоналі структурної матриці завжди ставлять «1». Структурну матрицю записують визначником:

$$D_{13} = \begin{vmatrix} X_1 & 1 & X_3 \\ 0 & X_2 & \bar{X}_4 \\ 0 & X_3 & 1 \end{vmatrix}, \quad (3.1)$$

а математичний вираз для пристрою запишуть у вигляді:

$$F = X_1 X_2 \vee X_1 X_3 \bar{X}_4 = X_1 (X_2 \vee X_3 \bar{X}_4), \quad (3.2)$$

згідно з яким і складається функціональна схема логічного пристрою дискретного керування.

Функціональну схему реалізують на логічних елементах «И», «ИЛИ», «НЕ». Як датчики - джерела дискретної інформації для такого пристрою зручно застосовувати дискретні приймальні елементи (наприклад, термометри електроконтактів), якими оснащують теплообмінні технологічні об'єкти, реле максимального струму і напруги на об'єктах електропостачання та ін.

**Аналогові (безперервні) системи** побудовані так, що неперервній зміні одної величини системи відповідають неперервні зміни величин на виході всіх компонентів схеми. Безперервні системи формують аналоговим сигналом на ТО і в лініях зв'язку вони присутні безперервно, а регулятор безперервно пов'язаний з виконавчим механізмом незалежно від того чи приводить він його в дію, чи ні.

**Цифрові або імпульсні** - засновані на застосуванні імпульсних систем, що забезпечують перетворення параметрів контролю в імпульси чи певного періоду частоти, обробку яких ведуть цифровими або мікропроцесорними системами за конкретно заданою програмою.

Таким чином, формують структурні схеми автоматики до складу яких входять: приймальний елемент, пристрій обробки інформаційного сигналу і виконавчий елемент (компоненти САР). Типова САР складається з датчика-перетворювача, лінії зв'язку регулятора з функціональними аналогами розглянутими вище, лінії зв'язку і виконавчими пристроями. За числом регулюючих величин САР поділяють: на *одновимірні і багатовимірні, зв'язаного і незв'язаного регулювання* (зв'язане регулювання - підготовка легкобензинової суміші для ДВЗ; незв'язане - заповнення паливної системи за допомогою мембрани насоса).

На ТО використовують *системи автоматичного контролю (САК)*.

Типова САК складається з датчика-перетворювача, що розміщується на контрольованому ТО, лінії зв'язку і вимірювального приладу, що дозволяє вести візуальний контроль параметра, реєстраційного параметра, сигналізації гранично допустимих рівнів і в деяких випадках аварійного відхилення устаткування.

*Контур регулювання* включає всі розглянуті в САР компоненти, коли датчик встановлюють на ТО в місці контролю, керованого параметра, а регулятор формує керуюча дія, що реалізовується за допомогою виконавчого механізму, встановленого на вході ТО, лінійно-взаємозв'язаного з параметрами відгуку («швидкість руху - подача палива», «швидкість руху - температура двигуна», «швидкість руху - температура повітря»).

За призначенням (характером зміни задаючої дії на ТО) системи регулювання поділяються на:

- САР автостабілізації - коли конкретний параметр підтримується на заданому рівні (подача води насосом під постійним тиском незалежно від рівня її в баку);
- САР програмно-керуючі – задана регулююча величина представляється у вигляді відомої функції часу  $U = f(t)$ ;
- стежачі системи - задане значення регульованої величини не відоме і є функцією зовнішньої незалежної технологічної величини  $U = f(y)$ .

Систему, що реалізовує складні САР, які забезпечують оптимізацію отримання  $Y = Y_0$ , міняючи вхідні  $X_i$  за заданою програмою, називають *екстремальною*.

*Ведені і ведучі САР*. Ведені - залежать від роботи локальних САР стабілізації. Ведучі - формують сигнали для керування декількома локальними САР, що розміщені на об'єктах. Локальні САР працюють за своєю програмою.

Статичні і динамічні характеристики ТО вимірюються на стендах, оснащених засобами контролю й управління.

*Статична характеристика* - залежність між вхідною і вихідною величинами в рівноважному стані (звичайно - це рівняння з алгебри).

Для отримання статичної характеристики ТО підготовки гарячої води, шляхом змішування холодної і гарячої води, об'єкт забезпечують датчиками контролю витрати кожного потоку рідин  $G_1E$  (холодна) і  $G_2E$  (гаряча), а також



здійснюють контроль температури води на виході ТО. Мінняючи величини  $G_1$ , при  $G_{20}$  і  $G_2$ , при  $G_{10}$  отримують шукані статичні залежності.

Отримавши статичну характеристику визначають: параметричну чутливість (ступінь впливу параметра на вихідну величину) і вибирають керуючу величину.

Маємо характеристики  $T^\circ$  від  $X_7, X_8$  ( $T = f(X_7, X_8)$ ) (рис. 3.1).

Ці характеристики є базовими для вибору каналів регулювання  $Q_2 \rightarrow T^\circ$ ,  $Q_3 \rightarrow T^\circ$ .

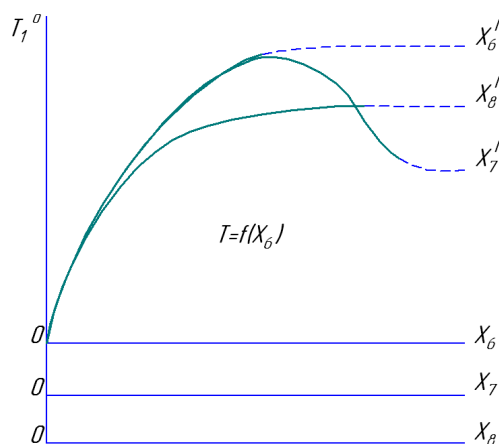


Рисунок 3.1 – Приклади статичних характеристик

Статична залежність  $T = f(X_6)$  характеризує найбільш чутливий канал керування.

*Приклад чинників*, що впливають на температуру: природне охолодження ( $X_7$  – ПО) повітряним потоком ( $Q_2$ ); примусове охолодження за допомогою електровентильатора –  $Q_3$  і т.п.

Для експериментального отримання статичних характеристик, наприклад,  $T^\circ$  від  $X_7$  ( $T = f(X_7)$ ) (рис. 3.1), всі інші величини стабілізуються, тобто вони повинні бути нормованими. Ці характеристики є базовими для розробки каналів керування.

Безрозмірний вигляд статичних характеристик  $X_6, X_7, X_8$  отримують відповідно до виразів:

$$X'_6 = \frac{X_6}{X_{60}}; X'_7 = \frac{X_7}{X_{70}}; X'_8 = \frac{X_8}{X_{80}}, \quad (3.3)$$

де  $X_6, X_7, X_8$  – поточне значення;

$X_{60}, X_{70}, X_{80}$  – нормоване значення.

При розгляді безрозмірних статичних характеристик часто виявляються залежності неочевидні навіть фахівцям.

*Динамічна характеристика* відображає реакцію ТО на керуючу дію, яку отримують за допомогою часової характеристики.

Часова характеристика системи - зміна вихідної величини в часі при подачі на її вхід ступінчастої аперіодичної дії.

Для отримання динамічних характеристик ТО зазвичай користуються обладнанням стендом (рис. 3.2).

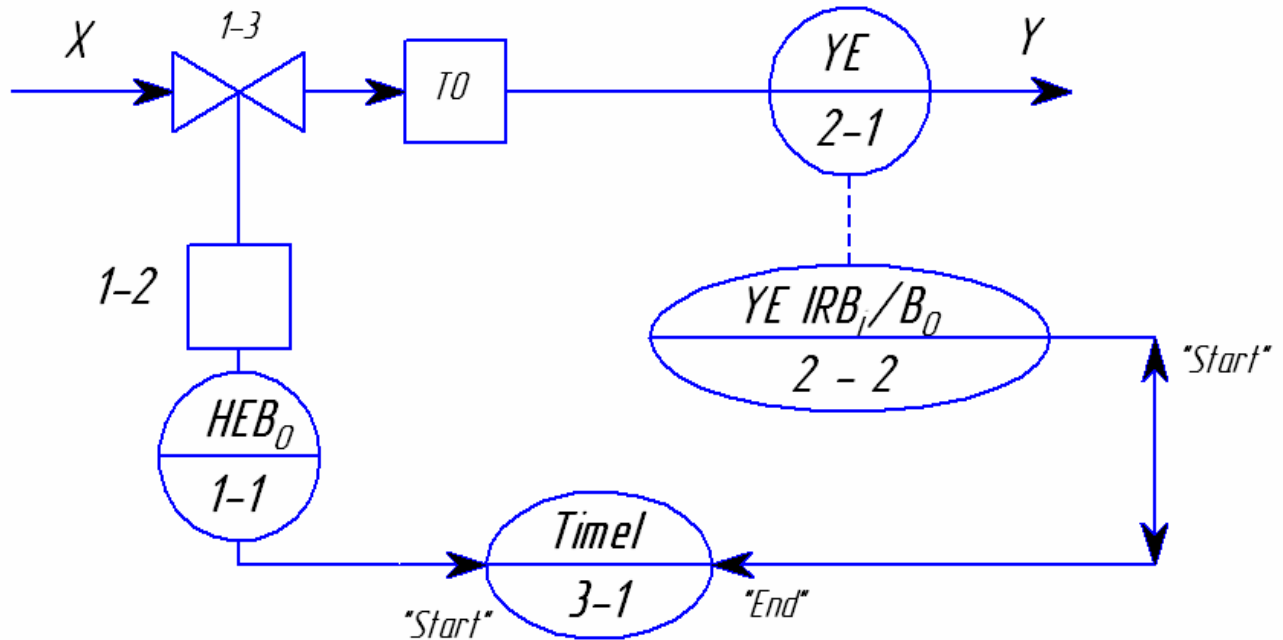


Рисунок 3.2 – Функціональна схема з експериментального стенда для вивчення ТО

На ТО впливають по каналу  $X \rightarrow Y$ , використовуючи пристрій 1-1, оснащений виконавчим механізмом 1-2, 1-3. Функцію відгуку  $Y$  контролюють за допомогою датчика-перетворювача 2-1 і контрольно-вимірювального приладу 2-2, функції якого включають відображення інформації  $I$  і запис її в реальному часі  $R$ . Реєстрація часової характеристики, здійснюваного експерименту, і є шуканою динамічною залежністю ТО.

При внесенні ступінчастого збурення, дія якого визначається інтервалом  $t_s - t_1$  у часі, що записує прилад 2-2, який веде реєстрацію параметра  $Y$  щодо нормованого значення  $Y_0$  (рис. 3.3). На графіку (рис. 3.3а) збурююча величина по каналу, а рисунок 3.3б – запис перехідного процесу, отриманий за сигналами з виходу ТО за допомогою реєструючого контрольно-вимірювального приладу 2-2, (рис. 3.3) припиняється в  $t_{end}$  (час закінчення експерименту), величина  $Y$  в точці  $t_3$  досягла нормованого значення  $Y_0$ .

**Лінійними САР** (рис. 3.4) називають такі, в яких виконують *принцип суперпозицій*, тобто під впливом чинників  $X_1(t), X_2(t) \dots X_i(t)$  параметри відгуку  $Y_1(t), Y_2(t) \dots Y_i(t)$  описуються точно диференціальними рівняннями. Всі диференціальні рівняння представляють систему лінійних диференціальних рівнянь, що відображають динаміку впливу  $X_i(t)$  на величину  $Y(t)$ .

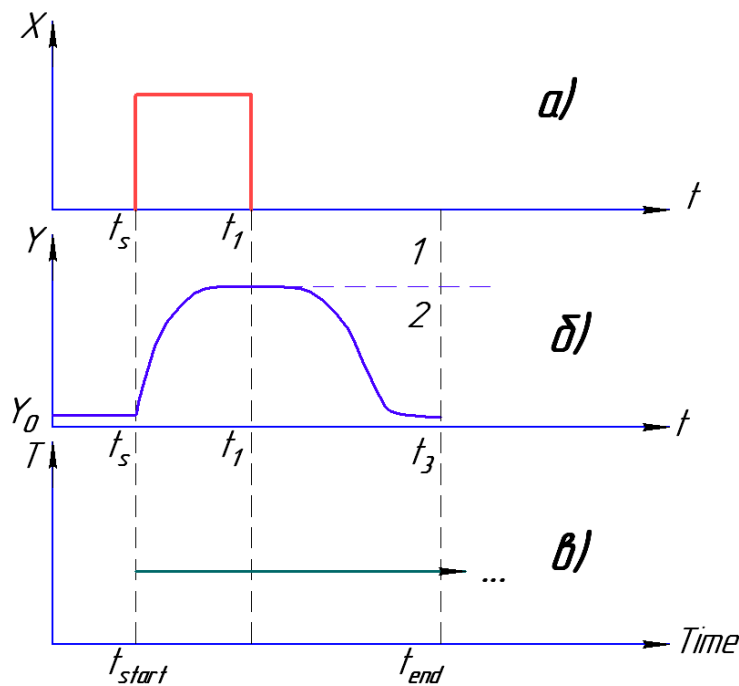


Рисунок 3.3 – Експериментальне отримання часової характеристики ТО:  
 а – збурююча дія; б – часова характеристика,  
 в – робота таймера пристрою керування ТО

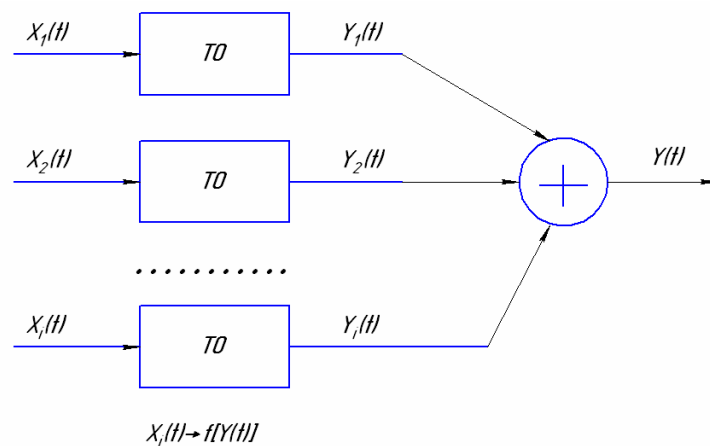


Рисунок 3.4 – Принцип суперпозиції

Під впливом вхідних величин процеси в ТО порушуються, що обумовлює перехідні процеси, коли необхідно впливати на об'єкт для усунення виниклих відхилень перебігу його, що відрізняється від заданого.

*Перехідний процес* – зміна в часі вихідної величини системи від моменту нанесення збурення або задаючої дії до приходу її в рівноважний стан. Перехідні процеси: аперіодичні, які сходяться і розходяться; коливальні, що сходяться, розходяться, гармонійні.

*Перехідна характеристика* – окремий випадок часової, отримуваної при подачі на вхід елементу ТО або системи одиничного ступінчатого збурення.

*Передавальні функції* характеризують зміни сигналу при проходженні його через систему. Передавальні функції - це відношення Лапласових

зображень вихідної  $X_{вих}(p)$  і вхідної  $X_{вх}(p)$  величин системи при нульових початкових умовах:

$$W(p) = \frac{X_{вих}(p)}{X_{вх}(p)}. \quad (3.4)$$

Параметри передавальної функції аперіодичного динамічного елементу можна отримати графічним шляхом з часової характеристики. В експериментальній кривій коефіцієнт передачі об'єкта  $K_{об} = tg \alpha$  пропорційний куту нахилу дотичної до осі часу, побудованої з точки початку перехідного процесу. Постійна часу об'єкта  $T_{об} = T$  визначається відрізком осі часу, отриманим при проведенні перпендикуляра з точки перетину дотичною з лінією сталого режиму на вісь часу. Оскільки більшість інерційних об'єктів достатньо точно описуються передавальною функцією першого порядку, то використовують передавальну функцію аперіодичної ланки:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об}}{Tp + 1}, \quad (3.5)$$

де  $p$  – оператор диференціювання або Лапласа

$$p = \frac{d}{dt}. \quad (3.6)$$

Сама передавальна функція є математичною моделлю конкретного ТО і може бути перетворена в частотну характеристику  $p \rightarrow j\omega$  шляхом заміни оператора диференціювання на  $j\omega$ :

$$W_{(j\omega)} = \frac{K_{об}}{Tj\omega + 1}, \quad (3.7)$$

де  $j$  – уявна одиниця, а  $\omega$  – колова частота.

Передавальна функція і частотна характеристика однаково описують об'єкт, але експериментально отримані математичні моделі відносяться тільки до конкретних ТО.

Ємкісне запізнювання легко зрозуміти, розглянувши випадок, коли дві ємкості з водою  $V_1$  і  $V_2$  використовують для водопостачання споживача через водопровід  $P_3$  (рис. 3.5а). Для наповнення цих ємкостей використовується система міського водопостачання з тиском  $P_1$ . Якщо з ємкостей, сполучених вентилем  $P_2$ , відбирається через вентиль  $P_3$  рідина, то в обох ємкостях вона знаходитиметься на одному рівні. При заповненні води в першу ємність  $V_1$ ,

рівень рідини в ній відрізнятиметься від рівня в другій ємкості  $V_2$ , а їх вирівнювання відбудеться через деякий час  $\tau$  (рис. 3.5б), яке носить назву інерційного або ємкісного запізнювання.

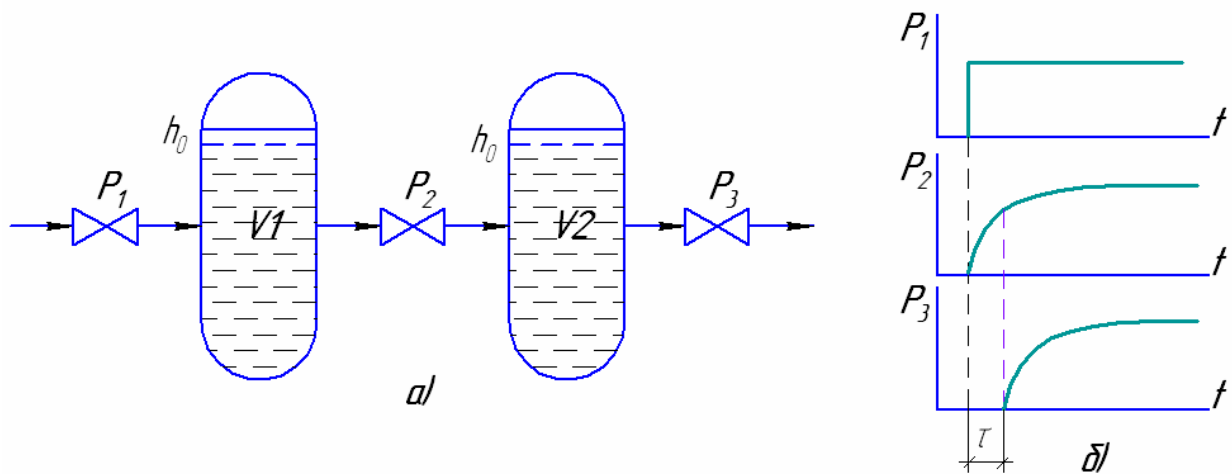


Рисунок 3.5 – Приклад інерційного об'єкта.

*Транспортне запізнювання* - відрізок часу від моменту внесення збурення до початку реєстрації перехідного процесу. Транспортне запізнювання розглянемо на прикладі стрічки транспортера (рис. 3.6), яка служить для переміщення упакованих або сипких матеріалів. Подача речовини  $S$  в момент  $t_0$  на виході транспортера виявиться через час  $t_1$ . Визначивши величину  $\tau$

$$\tau = t_1 - t_0, \quad (3.8)$$

знаходять час транспортного запізнювання конкретного ТО.

Передаточна функція об'єкта першого порядку з транспортним запізнюванням матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1} e^{-p\tau}. \quad (3.9)$$

Транспортне запізнювання впливає на перехідний процес в ТО, що позначається на якості процесу регулювання. Очевидно, що цей чинник необхідно враховувати при виборі регулятора і формуванні керуючих величин.

*Стійкість системи* - самостійне повернення до рівноважного стану після усунення збурення, що порушує його рівновагу.

*Якість перехідної характеристики* визначають за статичною і динамічною помилками регулювання, часом регулювання, величиною перерегулювання, інтегральною квадратичною помилкою регулювання.

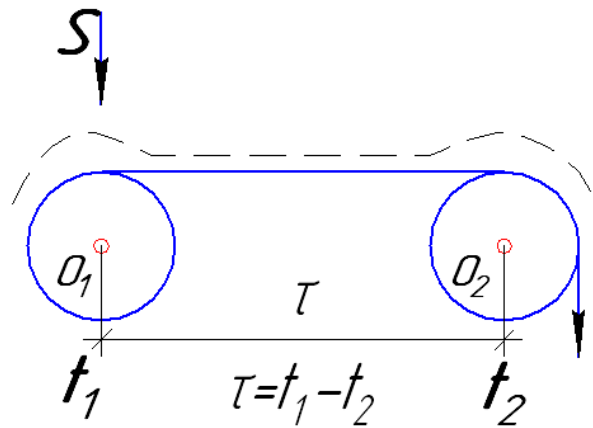


Рисунок 3.6 – Приклад транспортного запізнювання

***Список літератури для самостійного пророблення матеріалу  
за даною темою***

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебн. для вузов. – М.: Высш.шк., 1991. – 347 с.
2. Староверов А.Г. Основы автоматизации производства: Учеб. для сред. учебн. заведений. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
3. Экспериментальное исследование режимов энергосистем / Под ред. С.А. Совалова. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 215 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 4 ЕЛЕМЕНТИ РОЗРАХУНКУ Й АНАЛІЗ САР

(4 год.)

### Мета лекції:

#### План лекції

1. Одновимірні і багатовимірні системи автоматизації.
2. Одноконтурні САР.
3. Розробка функціональних схем.
4. Аналітичне складання рівнянь статички й динаміки реальних автоматичних систем регулювання технологічних об'єктів та їх аналіз.

#### Короткий зміст. Основні поняття та терміни

*Одновимірні системи* - мають одну регульовану величину; *багатовимірні* - декілька регульованих величин.

*Одноконтурні* - містять один замкнутий контур для проходження сигналу від приймального до виконавчого елемента.

*Багатоконтурні* - мають декілька замкнутих контурів.

Багатоконтурні системи регулювання часто застосовують для стабілізації тільки однієї вихідної величини, що забезпечує високу якість регулювання.

Цифрові або імпульсні САР часто реалізують багатоконтурні і багатозв'язані системи автоматики. З їх допомогою будуються системи оптимізації, коли, наприклад, для співвідношення «паливо – повітря» в карбюраторі ДВЗ залежно від навантажень, витрату палива оптимізують, підтримуючи заданий режим експлуатації двигуна, вибираючи його шляхом аналізу інших величин, що ілюструють криві 1, 2 і 3 на рисунку 4.1.

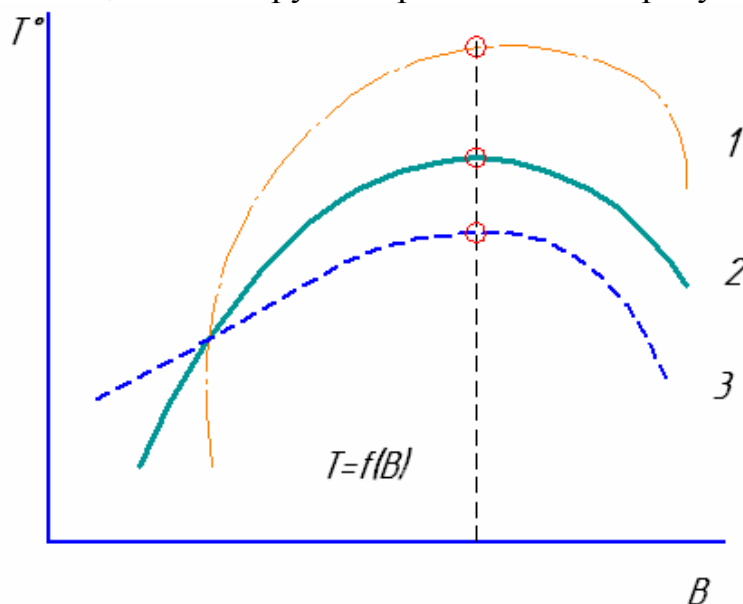


Рисунок 4.1 – Приклад багатоконтурної системи оптимізації експлуатації ДВЗ при різних режимах:

1 – САР витрати повітря; 2 – САР витрати палива; 3 – САР швидкості руху

Аналітичні методи досліджень ТО засновані на застосуванні математичного моделювання статички (рівноважного) і динаміки (перехідного) технологічного процесу або пристрою.

Аналітичне моделювання статички ТО засноване на застосуванні законів фізики, хімії, механіки стосовно технологічних об'єктів.

Статичну характеристику можна представити виразом з алгебри наступного вигляду

$$y_j = kx_i, \quad (4.1)$$

де  $x_i$  – вхідні величини;

$y_j$  – вихідні величини;

$k$  – коефіцієнт пропорційності.

Відомі в механіці математичні моделі часто відображають у формальному вигляді взаємозв'язок багатьох величин, наприклад:

$$n = f(N, U, r, S...), \quad (4.2)$$

де  $n$  – число обертів вала ЕДГ;

$N$  – число полюсів;

$U$  – напруга живлення ЕДГ;

$r$  – опір обмотки;

$S$  – зазор між статором і ротором.

Це математичний опис дозволяє при нормованих величинах  $N_0, U, r_0, S_0 \rightarrow n_i = f(N_0, U, r_0, S_0...)$  отримати залежність, наприклад  $n = f(U)$  (рис. 4.2).

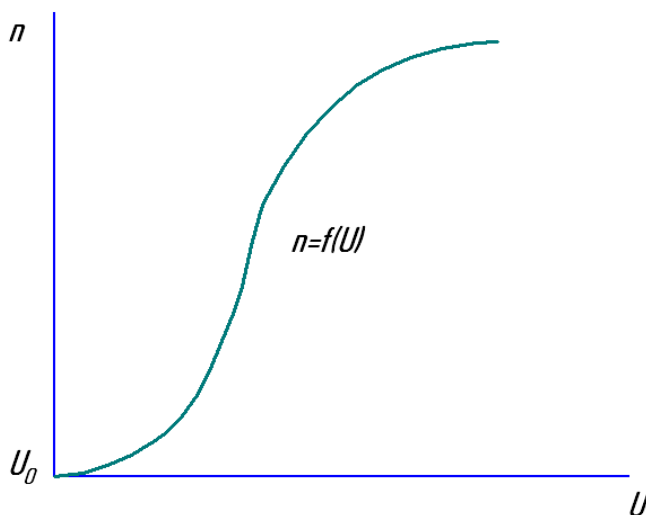


Рисунок 4.2 – Статична характеристика  $n = f(U)$

Аналогічно отримують інші характеристики, наприклад,  $n_i = f(N_0, U_0, r, S_0...)$  число обертів від опору обмотки (рис. 4.3).



Якщо використовувати вираз для опору обмотки ЕДГ у вигляді:

$$r = \rho \frac{l}{S}, \quad (4.3)$$

де  $\rho$  – питомий опір матеріалу;

$l$  – довжина дроту в обмотці;

$S$  – перетин дроту,

то, нескладно можна отримати нові залежності для ТО, що вивчають.

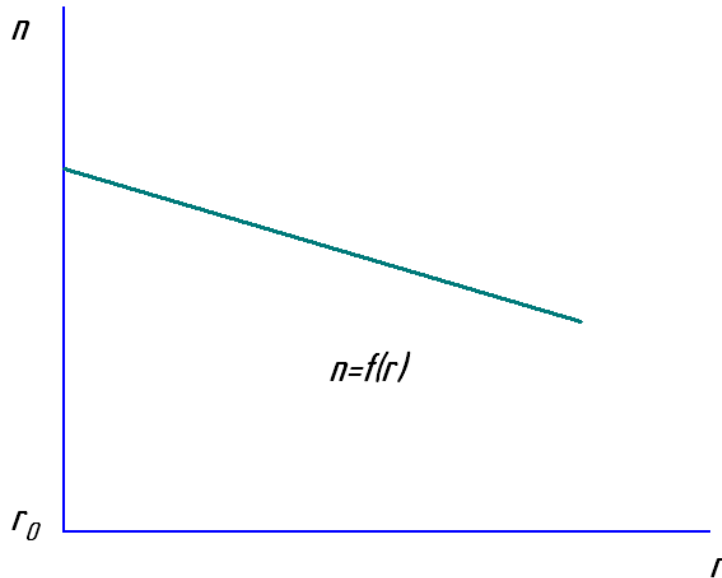


Рисунок 4.3 – Статична характеристика  $n = f(r)$

У складних технологічних схемах ТО слід розглядати як сукупність елементарних  $TO_i$  зі своїми математичними описами, а система рівнянь у цьому випадку і є математичною моделлю ТО (рис. 4.4), що відображає взаємозв'язок  $Y = f(Y_3, Y_2, Y_1, X_i)$ .

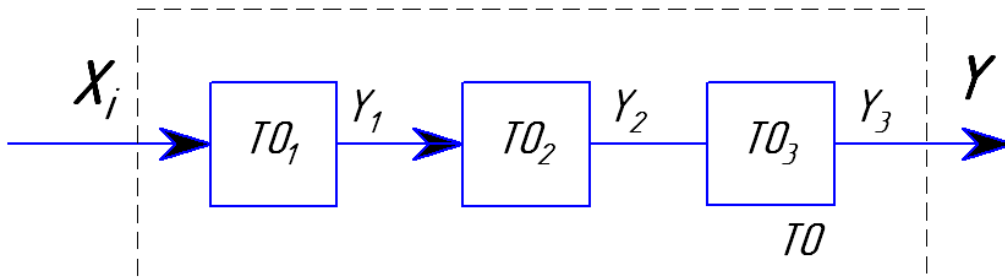


Рисунок 4.4 – Функціональна схема складного ТО

Розбиваючи ТО на окремі ланки, можна графічно отримувати рішення систем рівнянь (рис. 4.5). Графіки дозволяють оптимізувати процеси без розв'язання системи рівняння.

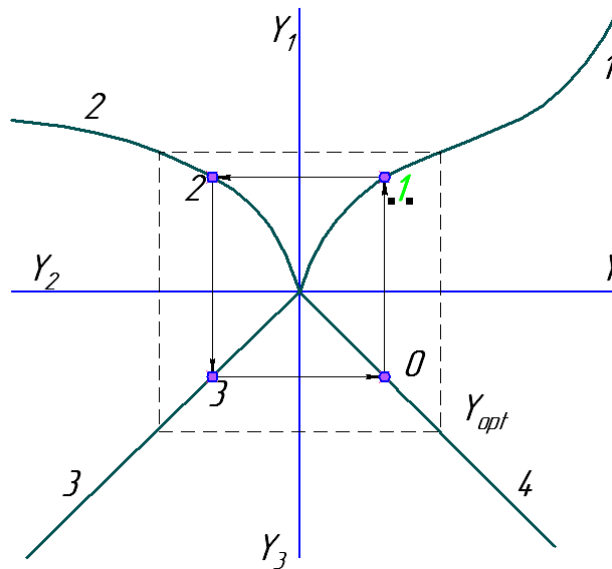


Рисунок 4.5 – Взаємозв'язок статичних характеристик складного ТО

*Аналітичне моделювання динаміки ТО* – засновано на складанні рівнянь балансів досліджуваних об'єктів в динамічному режимі, коли враховують акумуляцію енергії в різних компонентах системи.

Якщо розглянути витрату енергії, яка витрачається на корисну роботу і втрати для електротехнічного устаткування, то можна скористатися рівнянням:

$$Q = U_n I_n - (U_n I_n) k_{nm}. \quad (4.4)$$

де  $Q$  – кількість енергії;

$U_n I_n - (U_n I_n)$  – корисна робота;

$k_{nm}$  – коефіцієнт витрат.

Приклад отримання диференціального рівняння розглянемо на базі рівняння статички

$$Q_n = k(Q_3 - 20), \quad (4.5)$$

де  $Q_n$  – корисна енергія;

$Q_3$  – витрата енергії;

20 – постійна величина;

$k$  – коефіцієнт використання.

Дане рівняння статки, щоб використовувати для отримання рівняння динаміки, потрібно подати у вигляді приросту корисної потужності або потужності витрат в одиницю часу  $\Delta t$ , задавшись наступним алгоритмом:

$$\Delta Q_n = k(Q_3 - 20)\Delta t; \quad (4.6)$$

$$\frac{\Delta Q_n}{\Delta t} = k(Q_3 - 20); \quad (4.7)$$

$$\frac{dQ_n}{dt} = k(Q_3 - 20); \quad (4.8)$$

$$\frac{dQ_n}{Q_3 - 20} = -kdt; \quad (4.9)$$

$$\int \frac{dQ_n}{Q_3 - 20} = \int -kdt; \quad (4.10)$$

$$\ln(Q_3 - 20) = -kt + c. \quad (4.11)$$

На основі визначення логарифма (4.11) можемо записати:

$$Q_n - 20 = e^{-kt+c} = e^{-kt} \cdot e^c \approx me^{-kt}; \quad (4.12)$$

$$Q_n = Q_0 - me^{-kt}. \quad (4.13)$$

Залежність (4.12) отримана в результаті безпосереднього розв'язання рівняння динаміки, а вираз (4.13) виходить з урахуванням існуючого взаємозв'язку, між вхідною і вихідною величинами.

### **Дослідження ТО**

Аналіз стійкості за допомогою амплітудно-фазових характеристик (АФХ) в передаточній функції оператора  $p$  замінюють на  $j\omega$ :

$$W(p) = \frac{K}{Tp+1} \rightarrow p \Rightarrow j\omega \Rightarrow \frac{K(Tj\omega-1)}{(Tj\omega+1)(Tj\omega-1)} = \frac{K(Tj\omega-1)}{T^2(\omega)^2-1}. \quad (4.14)$$

Після перетворення отримують реальну й уявну частини.

$$W(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j\text{Im}(\omega). \quad (4.15)$$

Таблиця 4.1 – Розрахунок даних АФХ

$N$	$\omega$	$\operatorname{Re}(\omega)$	$\operatorname{Im}(\omega)$
1	0	$\operatorname{Re}(\omega)_0$	0
2	0	$\operatorname{Re}(\omega)_1$	$\operatorname{Im}(\omega)_1$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$\infty$		

Згідно з розрахунковими даними в таблиці 4.1 будують годограф для аналізу ТО за допомогою відповідного критерію стійкості, стосовно ТО з розімкненою або замкнутою САР (Гурвіца – критерій алгебри; Михайлова – частотний критерій за АФХ; Неймарка, Найквіста та ін.).

***Список літератури для самостійного пророблення матеріалу  
за даною темою***

1. Староверов А.Г. Основы автоматизации производства: Учеб. для сред. учеб. заведений. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
2. Андреев Г.Н., Маханько А.М. Автоматический контроль в технологических процессах. – М.: Издательство «Станкин», 1993. – 63 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 5 АВТОМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ ТА ЇХ ВИБІР

(6 год.)

### План лекції

1. Класифікація регуляторів.
2. Характеристика дії регуляторів.
3. Якість процесу регулювання.
4. Конструкція та принцип дії регуляторів.
5. Реалізація законів регулювання.
6. Розробка функціональних схем.
7. Особисті види САР (позиційні, багатоконтурні, екстремальні та ін.)

### Короткий зміст. Основні поняття та терміни

*Автоматичні регулятори* - велика група автоматичних керуючих пристроїв, які виробляють регулюючу дію в САР, якщо регульована величина відхилиться від заданого значення.

Всяка автоматична система регулювання складається з двох частин, що взаємодіють між собою: об'єкта регулювання й регулятора. При цьому якість перехідного процесу і стійкість регулювання залежать не тільки від статичних і динамічних властивостей об'єкта, але й від властивостей самого регулятора.

Системи автоматичної стабілізації різних параметрів на технологічних об'єктах знайшли дуже широке застосування. Найбільш поширені з таких систем забезпечують підтримку регульованого технологічного параметра (ТП) на заданому значенні, яке залишається завжди постійним.

Існує значна кількість різноманітних типів регуляторів, проте всі вони є сукупністю деяких специфічних елементів, що виконують певні функції (рис. 5.1): датчик 1, пристрій порівняння 2, задаючий пристрій 3, регулюючий пристрій 4, виконавчий механізм 5 і регулюючий орган 6.

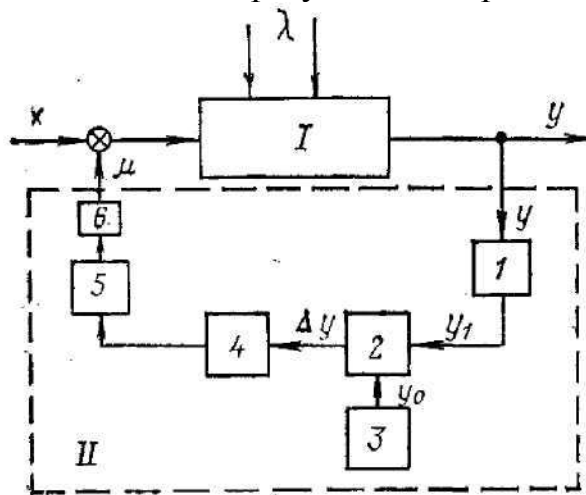


Рисунок 5.1 – Структурна схема регулятора:

*I* – об'єкт регулювання; *II* – регулятор;

*1* – датчик; *2* – пристрій порівняння; *3* – задатчик; *4* – пристрій регулювання;

*5* – виконавчий механізм; *6* – регулюючий орган

Датчик проводить безперервне вимірювання поточного значення регульованої величини  $y$  в об'єкті регулювання  $I$ , який випробовує збурюючі дії  $\mu$ , і перетворить цю величину в сигнал керування  $\lambda$ , (наприклад, електричний або пневматичний).

Задаючий пристрій видає сигнал  $y_0$ , відповідний заданому значенню регульованої величини. Пристрій 2 порівнює сигнали від датчика і задатчика і в разі їх відмінності (якщо задане значення регульованої величини в даний момент не рівне поточному) видає сигнал розузгодження (розбаланс)  $\Delta y$  на пристрій регулювання.

Пристрій регулювання перетворює, а в разі потреби підсилює цей сигнал, і за допомогою виконавчого механізму і регулюючого органу здійснює керуючу дію  $\mu$ , на об'єкт регулювання  $I$ , змінюючи вхідну величину  $x$  так, щоб вихідна величина  $y$  прийняла первинне значення.

У конкретних випадках окремі елементи регулятора можуть бути об'єднані в одному блоці або зовсім бути відсутніми.

Сучасні технічні рішення блоку  $II$  реалізують програму обробки початкової інформації від датчиків, формування керуючих величин та ін. сигналів за допомогою програмованих регуляторів на базі мікропроцесорів і мікроконтролерів.

### ***Класифікація регуляторів:***

- *за виглядом регульованого параметра* (тиском, витратами, рівнем, температурою та ін.);

- *за родом та способом дії* (переривчастої і безперервної дії, прямої і непрямої або непрямої);

- *за характером регулюючих дій* на технологічний об'єкт комунального господарства дуже поширені безперервні системи стабілізації. Це такі системи, в яких безперервній зміні вхідної величині відповідає безперервна зміна керуючій дії.

- *за характером дії* підрозділяються на  $Пз$  - позиційні,  $I$  - інтегральні,  $П$  - пропорційні,  $ПІ$  - пропорційно - диференціальні і  $ПІД$ .

### ***Приклад гідравлічного регулятора.***

Гідравлічні регулятори призначені для підтримки тиску, розрідження, перепаду тиску, витрати, рівня, а також співвідношення двох тисків або витрат речовин. Застосовують на об'єктах водопостачання.

Як енергія, необхідна для перестановки регулюючих органів, в гідравлічних регуляторах використовується енергія рідини під тиском; ця рідина підводиться від спеціальної насосної установки, що входить в комплект регулятора. Робочими рідинами служать мінеральні масла (турбінні, трансформаторні), спеціальні суміші й вода, до якої додані різні пасиватори - речовини, що ослабляють корозію.

Вони відрізняються простотою конструкції, надійністю в роботі, нескладністю обслуговування. Проте їм властиві недоліки, основними з яких є громіздкість, необхідність ретельної герметизації, обмежений радіус дії,

наявність спеціальної насосної установки, пристроїв з очищення робочої рідини і т.д.

В даний час гідравлічні регулятори найчастіше застосовують для автоматизації котельних і автономних електростанцій невеликої потужності, а також деяких теплоенергетичних установок.

Найбільшого розповсюдження набули регулятори із струменевими підсилювачами, що працюють на трансформаторному мастилі. Такі регулятори реалізують *I*- і *III*-закони регулювання.

На рисунку 5.2 показана принципова схема *I*-регулятора; принцип його дії ілюструється прикладом регулювання витрати в трубопроводі.

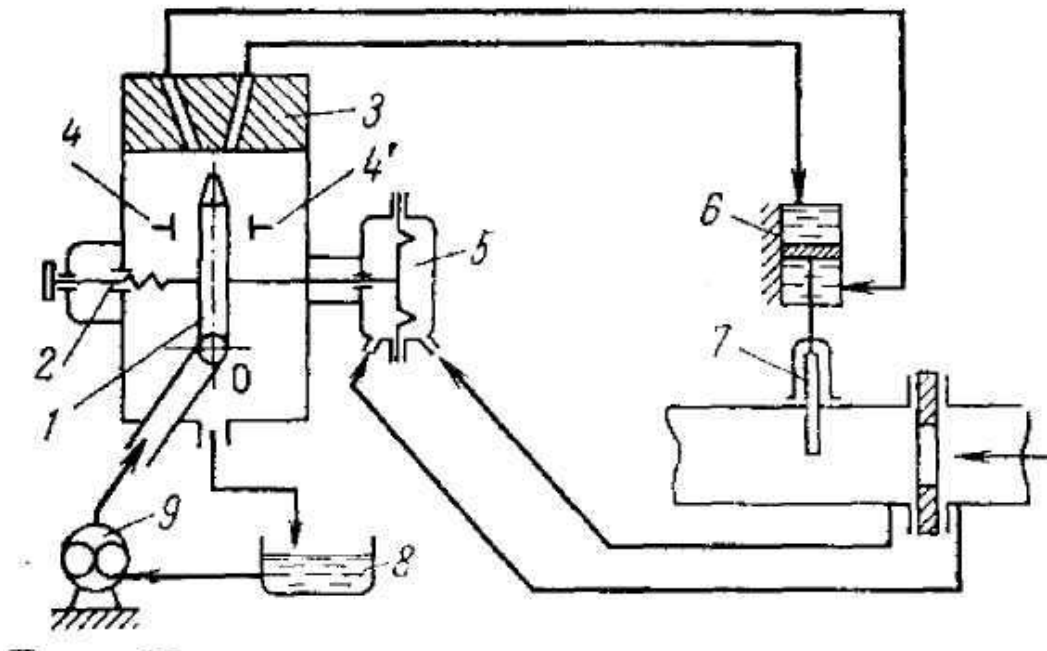


Рисунок 5.2 – Принципова схема гідравлічного *I*-регулятора:  
1 – струменева трубка; 2 – задатчик; 3 – соплова плитка; 4 – упори;  
5 – дифманометр; 6 – поршковий виконавчий механізм; 7 – засувка;  
8 – резервуар; 9 – шестерний насос.

Повна струменева трубка 1 з сопловою насадкою може повертатися щодо осі *O* у вертикальній площині до упора 4. У внутрішню порожнину струменевої трубки під тиском подається мастило, що витікає з сопла із швидкістю 25-30 м/с. Для подачі мастила використовується шестерний насос 9 з електроприводом; він забирає мастило із спеціального резервуара 8.

На струменеву трубку діють зустрічні зусилля: від чутливого елемента дифманометра 5 (це зусилля тим більше, чим більша витрата в трубопроводі) і від задатчика 2, натягнення пружини якого змінюється за допомогою спеціального гвинта і встановлюється уручну пропорційно заданому значенню витрати. Якщо задане й поточне значення регульованої величини рівні, то рівні зусилля, що діють на струменеву трубку, яка знаходиться в середньому положенні. При цьому мастило, витікаючи сильним струменем з сопла, битиме в площину соплової плитки 3, потім через злив воно потрапляє до резервуара 8, звідки знов закачується до струменевої трубки насосом 9.

Припустимо, що витрата в трубопроводі перевищила задану. В цьому випадку зусилля від чутливого елементу дифманометра зросте і струменева трубка обернеться до правого упору 4', а сопло встановиться проти правого каналу соплової плитки 3. Через цей канал мастило почне поступати по трубопроводу на поршень виконавчого механізму 6 і засувка 7 (регулюючий орган) переміститься вниз, що приведе до зменшення витрати. Як тільки зусилля від задатчика і дифманометра зрівняються, струменева трубка повернеться в початкове положення і дія регулятора припиниться. Якщо витрата в трубопроводі стане менша заданого, то струменева трубка переміститься до упору 4 і мастило почне поступати в нижню порожнину циліндра виконавчого механізму 6, що стане причиною переміщення засувки 7 вгору і збільшення витрати.

Графічне зображення частин автоматичної системи, які взаємозв'язані між собою за певною ознакою і шляхами передачі дій, називають структурною схемою автоматичної системи.

На структурних схемах елементи автоматичних систем зображають квадратами або прямокутниками, в які вписують умовні позначення компонентів (наприклад, *ПЕ* - приймального, *ПрЕ* - проміжного, *ВЕ* - виконавчого, *ЗЕ* - задаючого (задатчик) елементів і т. п.). Елементи, що підсумовують, зображають у вигляді кола, розділеного на сектори.

При розробці структурних схем враховують особливості елементів. Так, якщо *ВЕ* не є простим перетворюючим підсилювальним елементом, а в динамічному відношенні є складнішою ланкою (інтегруючим, аперіодичним і т.п.), то її динамічні властивості обов'язково використовують при формуванні закону регулювання, а на структурних схемах особливості *ВЕ* обов'язково повинні бути відмічені. Приклад структурної схеми наведений на рисунку 5.3.

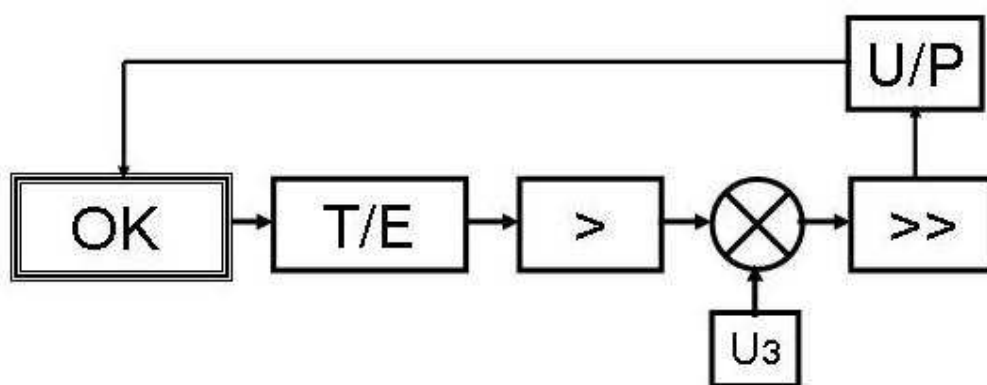


Рисунок 5.3 – Структурна схема системи автоматики:

*OK* – об'єкт керування; *T/E* – датчик-перетворювач (параметр – е.р.с.);  
*>* – підсилювач напруги; *>>* – підсилювач потужності;  $\otimes$  – елемент порівняння (суматор); *Uз* – задатчик; *U/P* – виконавчий елемент (електричний сигнал – механічна дія)



Очевидно, що ця вимога відноситься до зображення всіх елементів систем автоматики, що слід враховувати при розробці аналогічних технічних рішень будь-якої складності.

На кафедрі електричного транспорту розроблені моделі віртуальних програмних регуляторів, які реалізують відомі *I*-, *П*-, *ПІ*-, *ПД*- і *ПІД*- алгоритми керування ТО.

На рисунку 5.4а проілюстрований електронний стенд програми *SinSys* для проведення експериментів з часто використовуваними компонентами САР.

При дослідях з програмними компонентами комп'ютер виконує реєстрацію поточного часу перехідного процесу, всіх параметрів досліджуваного ТО і вибраного регулятора. Автоматичний аналіз даних веде «вбудований експерт», який у виняткових випадках відзначає небажаний хід процесу, вказуючи тим на доцільність коректування моделі ТО за допомогою доступних для цього параметрів. Змінюючи вихідні характеристики, користувач достатньо швидко може вибрати певний закон регулювання або, скориставшись динамічними властивостями ТО, обмежитися в схемі позиційним пристроєм керування.

Щоб скористатися даним стендом, досить мати параметри динамічних характеристик ТО, ПЕ, ВЕ та ін. периферійних компонентів, а вибір регулятора і його уставок програма допоможе отримати експериментальним шляхом.

На рисунку 5.4b показані перехідні характеристики, отримані під час проведення експериментів з віртуальними системами автоматики.

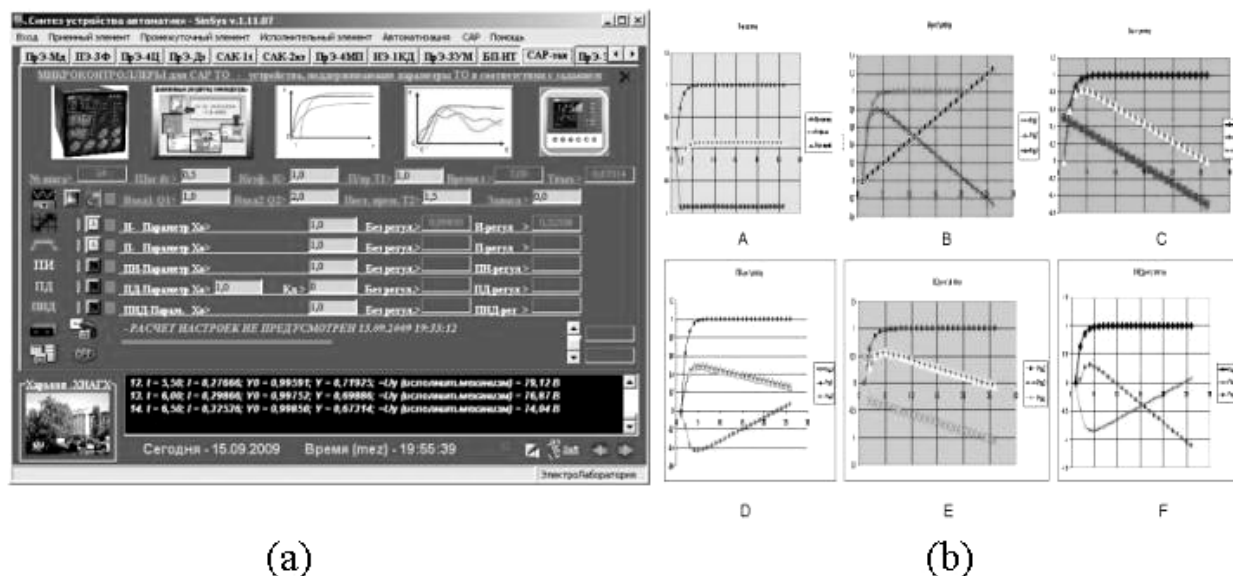


Рисунок 5.4 – Інтерфейс віртуального стенда (а) і графіки перехідних процесів компонентів САР (b):

*A* – *П*-регулятор; *B* – *I*-регулятор; *C* – *Д*-регулятор; *D* – *ПІ*-регулятор;  
*E* – *ПД*-регулятор; *F* – *ПІД*-регулятор.

Оскільки при синтезі САР розрахункові настроювальні величини застосувати повною мірою не уявляється можливим, тому що їх необхідно оптимізувати в заданій конкретній ситуації, то розглянутий шлях вивчення

компонентів допомагає обґрунтувати структурну схему і визначити базові уставки регулятора, якщо їх реалізація в реальній системі автоматики можлива. Крім того, досить просто отримати таблицю відповідності параметрів моделей конкретних САР з коефіцієнтом пропорційності, часом інтеграції (ізодрома) і часом диференціювання (передування) регулятора, розробленого або вибраного в реальній схемі автоматики.

В даний час широкого поширення набули модулі введення/виводу, які дозволяють організувати дискретний або аналоговий контроль технологічних величин і виведення аналогічних сигналів керування.

- Логічний «0» = 0 – 1 В. Логічна «1» = 4 – 30 В.

- Модулі видаленого введення/виводу аналогових сигналів призначені для роботи з термісторами, терморезисторами, світлодіодами, термопарами та ін.

- В модулях передбачена гальванічна розв'язка портів RS-485 є вбудований таймер і пам'ять, 4 СОМ порта та ін.

- Застосовується в САР ТП, системах видаленого моніторингу та ін.

Для безперервної роботи з важкими умовами праці створюють компактні комп'ютери eBOX, Nise, NEO та ін.

- Мінікомп'ютери не містять у собі вентилятори.

- Корпус, виконаний у вигляді моноблока-радіатора.

- Не вимагають обслуговування.

- Відрізняються високою стійкістю до запиленних умов праці.

- Можуть використовуватися як невеликі сервери.

Для реалізації САР без традиційних дротяних ліній зв'язку розробники мікропроцесорної техніки створюють спеціальні радіоблоки.

Постійне вдосконалення таких пристроїв служить основою початку широкого використання бездротових систем автоматики різного призначення. Впровадження бездротових мікропроцесорних САР стане можливе в надзвичайних умовах експлуатації ТО, на об'єктах будь-якої складності і установках різного призначення як стаціонарних, так і тих, що використовують в мобільних варіантах.

Виробники мікроконтролерів постійно розширюють асортимент пристроїв для САР, що зайвий раз служить нагодою звернути на них особливу увагу. Очевидно, це вимагає підвищення кваліфікації фахівців в сфері автоматизації ТП і установок, обумовленої появою нової мікропроцесорної техніки для САР.

Мікропроцесорні регулятори на основі програмних засобів здатні виконувати коректування налаштувань при пошуку оптимальних умов експлуатації або роботи ТО.

Розрахунок настроювальних коефіцієнтів для ПІД-регулятора (рис. 5.5) виконують, використовуючи аналітичні вирази для статичних і астатичних об'єктів регулювання ( $k$  – коефіцієнт посилення ТО;  $T$  – постійна часу ТО;  $t$  – час запізнювання).

**РАСЧЕТ НАСТРОЕК ПИД для статического ТО  
с типовыми процессами регулирования**

Регулятор	Апериодический	С 20% перерегулированием	С максимальным интегральным критерием качества регулирования
П	$K=0,3/(kT/t)$	$K=0,7/(kT/t)$	$K=0,9/(kT/t)$
ПИ	$K=0,6/(kT/t)$ $T_i=0,6T$	$K=0,7/(kT/t)$ $T_i=0,7T$ $(T_i=t+0,3T)$	$K=1,0/(kT/t)$ $T_i=T$
ПИД	$K=0,95/(kT/t)$ $T_i=2,4t$ $T_d=0,4t$	$K=1,2/(kT/t)$ $T_i=2,0t$ $T_d=0,4t$	$K=1,4/(kT/t)$ $T_i=1,3t$ $T_d=0,5t$

**РАСЧЕТ НАСТРОЕК ПИД для астатического ТО  
с типовыми процессами регулирования**

Регулятор	Апериодический	С 20% перерегулированием	С максимальным интегральным критерием качества регулирования
П	$K=0,5/k$	$K=1/k$	$K=1,2/k$
ПИ	$K=0,7/k$ $T_i=2t$	$K=0,9/k$ $T_i=3T$	$K=1,4/k$ $T_i=3t$
ПИД	$K=0,95/k$ $T_i=5t$ $T_d=0,2t$	$K=1,2/(kT/t)$ $T_i=2,0t$ $T_d=0,5t$	$K=2/k$ $T_i=1,6t$ $T_d=0,5t$

Рисунок 5.5 – Приклад розрахунку настройок ПІД-регуляторів

***Список літератури для самостійного пророблення матеріалу  
за даною темою***

1. Овчаренко Н.И. Аналоговые и цифровые элементы автоматических устройств энергосистем. – Рига: ЛАТНИКНТИ, 1981. – 280 с.
2. Староверов А.Г. Основы автоматизации производства: Учебн. для средн. учебн. заведений. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 6 КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

(6 год.)

### *План лекції*

1. Місцевий і дистанційний контроль.
2. Приймальні елементи (ПЕ) для контролю технологічних величин.
3. Перетворювачі інформаційних сигналів, їх прилади і розрахунок основних компонентів.
4. Джерела нормалізованих сигналів.
5. Експериментальне визначення властивостей перетворювачів.
6. Автоматичні засоби контролю параметрів ТО.
7. Серійні прилади контролю.
8. Розробка функціональних схем.

### *Короткий зміст. Основні поняття та терміни*

*Зміряти параметр* – порівняти його з іншою однорідною величиною (мірою), прийнятою за одиницю вимірювання.

*Пряме вимірювання* – вимірювана величина визначається безпосередньо при експериментах за допомогою показуючих приладів або пристроїв (термометрів, мірних ємкостей).

*Непряме вимірювання* – вимірювана величина визначається на основі відомої залежності між нею і величиною, отриманою в результаті прямого вимірювання (величина струму з падіння напруги на резисторі, температура з величини опору терморезистора, швидкість руху з рівня напруги на виході тахометра).

*Міра* – засіб вимірювання, призначений для відтворення фізичної величини заданого значення (гиря, сантиметр, Ампер, Вольт та ін.).

*Вимірювальний прилад* – засіб для вироблення сигналу вимірювальної інформації у форматі, доступному для сприйняття користувачем (вольтметр, амперметр, термометр, манометр і т.п.).

До числа вимірювальних приладів входять; аналогові, цифрові, показуючі, реєструючі, інтегруючі, підсумовуючі пристрої і вхідні до їх складу (декілька пристроїв в одному корпусі) спеціальні перетворювачі початкової інформації – пневмоелектричні, гідроелектричні, цифрові та ін.

*Місцевий контроль* – установка вимірювальних приладів на самих об'єктах контролю.

*Дистанційний контроль* – система вимірювального приладу, що включає датчик (первинний перетворювач), вторинний прилад (показуючий, реєструючий та ін.) і канал зв'язку.

*Вторинний прилад* – пристрій, що сприймає сигнал від датчика і перетворює його в переміщення покажчика щодо шкали або дискретну інформацію на табло, а також, здійснюючий реєстрацію початкових даних, сигналізацію граничнодопустимих значень параметра контролю та ін. функції.

*Канал зв'язку або імпульсна лінія* (електрична, пневматична, гідравлічна, радіоканал, оптична) при дистанційному контролі служить для передачі сигналу від датчика до вторинного приладу або вимірювального пристрою.

Класифікацію вимірювальних приладів виконують залежно від фізичних властивостей матеріалів і різних компонентів, покладених в основу вимірювання.

Наприклад, для вимірювання температури в основу покладені термометричні речовини. У зв'язку з цим прилади для вимірювання температури розділені на наступні групи за принципом дії:

А. Термометри для вимірювання температури контактним методом.

1. *Термометри розширення*, що вимірюють температуру за тепловим розширенням рідини або твердих тіл.
2. *Манометричні термометри*, що використовують залежність між температурою і тиском термометричної речовини в замкнутій термосистемі.
3. *Термометри опору*, що використовують зміну електричного опору речовини при зміні температури навколишнього середовища.
4. *Термоелектричні термометри*, дія яких заснована на зміні термоелектрорушійної сили термопари при зміні температури середовища, в яке вона поміщена.

Б. Пірометри для вимірювання температури безконтактним методом.

1. *Яскравісні пірометри*, що вимірюють яскравість нагрітого тіла у вузькому діапазоні довжини хвиль випромінювання.
2. *Радіаційні пірометри* для вимірювання температури за тепловою дією випромінювання розжареного тіла у всьому спектрі довжин хвиль.

В. Термометр розширення.

У приладах даного типу використовуються властивості твердих і рідких тіл змінювати свою довжину або об'єм під впливом температури навколишнього середовища. Ці прилади можна розділити на три групи:

- 1) біметалічні (рис. 6.1);
- 2) дилатометричні (рис. 6.2);
- 3) рідинні скляні.

Принципова схема біметалічного (бі – два) термометра наведена на рисунку 6.1. Дві тонкі металеві пластинки (рис. 6.1а) з матеріалів з різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення жорстко сполучені між собою по всьому периметру (спаяні, зварені, склепані і т. п.).

При зміні температури відбувається деформація (вигин) біметалічного елемента, причому величина деформації залежатиме від навколишньої температури. Якщо температура підвищиться, то вигин елемента відбудеться у бік пластини з малим температурним коефіцієнтом. Через систему передачі елемент можна з'єднати з пристроєм для візуалізації даних деформації в одиницях вимірювання температури.

Щоб збільшити деформацію елемента із зміною температури, тобто підвищити його чутливість, йому надають форму спіралі (рис. 6.1б).

Як матеріали з великим температурним коефіцієнтом лінійного розширення застосовують нікель, латунь, сталь, а для пластин з малим коефіцієнтом лінійного розширення найчастіше застосовують інвар (сталь, що містить 36% Ni).

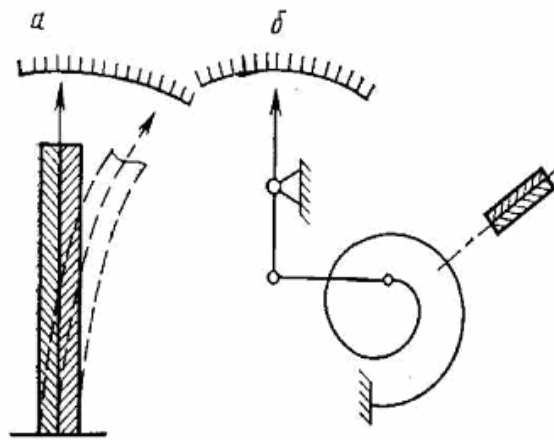


Рисунок 6.1 – Схеми біметалічних термометрів:  
а – з плоским елементом; б – зі спіральним елементом

Біметалічні термометри використовують для вимірювання температури в межах від 150 до 700 °С. Похибка приладів складає 1-1,5%.

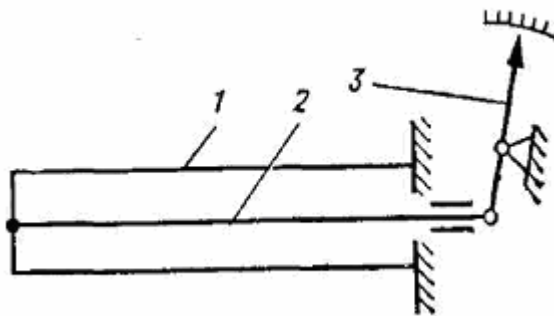


Рисунок 6.2 – Схема дилатометричного термометра:  
1 – трубка; 2 – стрижень; 3 – пристрій для відліку свідчень

Принципові схеми вимірювальних (вторинних) приладів, що працюють в комплекті з термометрами опору, мають різні технічні рішення.

При використанні терморезисторів (рисунок 6.3) застосовують резистивні мости.

*Вимірювальне перетворення* – віддзеркалення розміру однієї фізичної величини розміром іншої фізичної величини.

*Вимірювальний перетворювач* – технічний пристрій, що побудований на певному фізичному принципі, виконує одне вимірювальне перетворення.

*Функція перетворювача* – збереження функціональної залежності вихідної величини від вхідної, описуваної аналітичним виразом або графіком у відомому інтервалі.

*Вимірювана величина* – параметр, який отримують за допомогою вимірювального перетворювача.

*Перешкоди* – параметри, що не відносяться до перетворюваної вимірюваної величини.

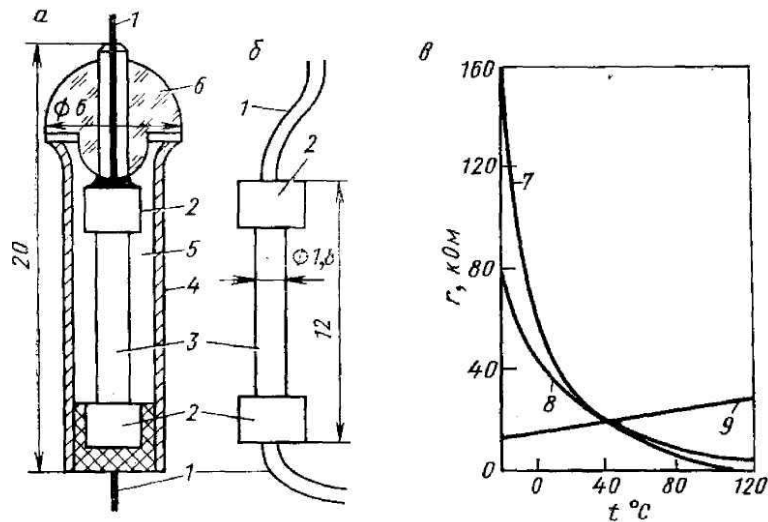


Рисунок 6.3 – Загальні види герметизованого (а) і не захищеного (б) терморезисторів і їх температурна характеристика (в):

1 – виводи; 2 – контактні ковпачки; 3 – тіло терморезистора; 4 – чохол;  
5 – металева фольга; 6 – скляний ізолятор; 7 – КМТ-1; 8 – ММТ-1;  
9 – мідний термометр опору (для порівняння)

Одним з найпоширеніших технічних засобів, що використовують для реалізації вимірювального пристрою, є неврівноважені мости.

Принципова схема неврівноваженого моста показана на рисунку 6.4. Постійні опори плечей моста, виконані у вигляді котушок з обмоткою з манганінового дроту (манганін – різновид ніхрому, що володіє практично нульовим температурним коефіцієнтом опору, тобто не змінює свого опору при зміні температури навколишнього середовища);  $r_t$  – термометр опору, що розміщується в контрольованому середовищі;  $r_K$  – контрольний опір;  $B$  – джерело живлення моста напругою  $1,5 \div 4$  В (акумулятор);  $r_e$  – реостат для підтримки постійної напруги живлення моста;  $T$  – мілівольтметр;  $r_{вн}$  – опір зовнішньої лінії (проводів, що сполучають термометр опору з мостом);  $\Pi$  – перемикач (положення  $I$  – зміна;  $K$  – контроль);  $a, b, c, d$  – вершини резистивного моста;  $a - b, c - d$  – діагоналі моста.

Неодмінною умовою вимірювання повинна бути постійність напруги, що подається від джерела струму  $B$  в діагональ моста  $c - d$ . Оскільки з часом напруга падає, перед початком вимірювань рекомендують кожного разу проводити перевірку і регулювання напруги живлення моста. Для цього перемикач  $\Pi$  переводять в положення « $K$ », внаслідок чого контрольний опір  $r_K$  підключають до схеми моста, а термометр опору  $r_t$  – відключають.

Якщо напруга живлення  $U$  має номінальне значення, то стрілка мілівольтметра  $T$  повинна зупинитися проти сектора або покажчика «норма», спеціально нанесеною на шкалу приладу.

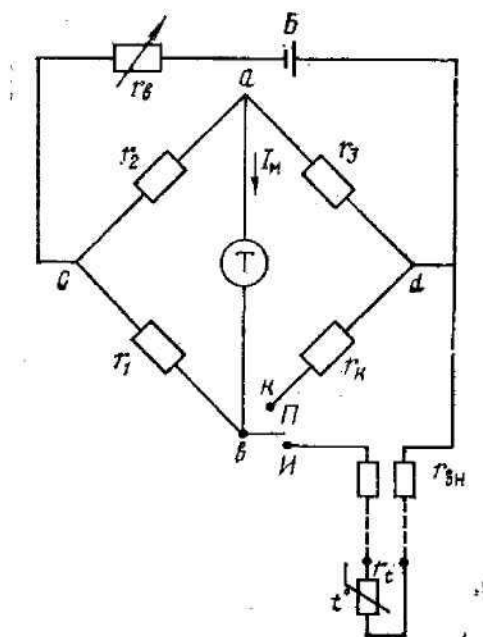


Рисунок 6.4 – Принципова схема неврівноваженого моста

Якщо ж  $U$  відрізняється від номінального значення і стрілка проти показника на приладі не встановлюється, то за допомогою реостата  $r_6$  змінюють  $U$  до тих пір, поки показчик приладу прийме задане положення.

Після установки напруги живлення перемикач переводиться в положення «И», при цьому опір  $r_K$  відключається, а замість нього до схеми моста підключається термометр опору  $r_t$  із сполучними проводами. Залежність

$$(r_t + 2r_{BH})r_2 = r_1r_3 \quad (6.1)$$

означає, що рівність добутків опорів протилежачих плечей, коли різниця потенціалів в точках  $a$  і  $b$  буде дорівнювати нулю і через мілівольтметр  $T$  струм протікати не буде (сила струму  $I_M = 0$ ), тобто стрілка приладу знаходитиметься на початковій відмітці шкали. При цьому температура середовища, в якому знаходиться терморезистор, дорівнює початковому значенню (наприклад,  $0^\circ\text{C}$ ).

Із збільшенням температури контрольованого середовища почне зростати опір терморезистора, внаслідок збільшення  $r_t$  рівність (6.1) перетвориться на нерівність і через показуючий прилад потече струм ( $I_M > 0$ ), що приведе до відхилення стрілки від початкового положення. Чим сильніше зміниться температура в порівнянні з первинним значенням, тим сильніше зміниться  $r_t$  і тим сильніше зросте сила струму  $I_M$  в діагоналі моста  $a-b$ . Шкала приладу, відносно якої переміщається стрілка, градуйована в одиницях температури, дозволить оцінити саму температуру вимірюваного середовища.



Таким чином, кут повороту  $\varphi$  стрілки приладу залежатиме від сили струму моста  $a - b$ , визначуваний залежністю, що протікає по діагоналі

$$\varphi = CI_M, \quad (6.2)$$

де  $C$  – коефіцієнт пропорційності, постійний для даного приладу.

Приклади рівнемірів без чутливих елементів (рис. 6.5, 6.6).

Межі вимірювання рівня 0 – 10 м.

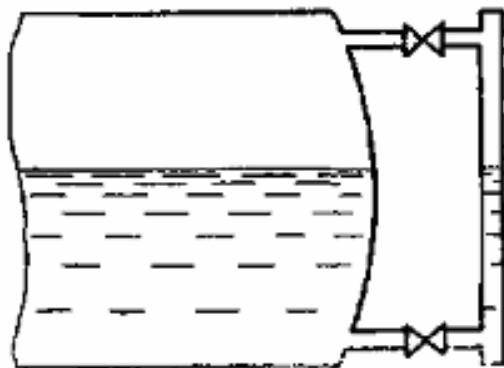


Рисунок 6.5 – Схема установки з водомірним склом

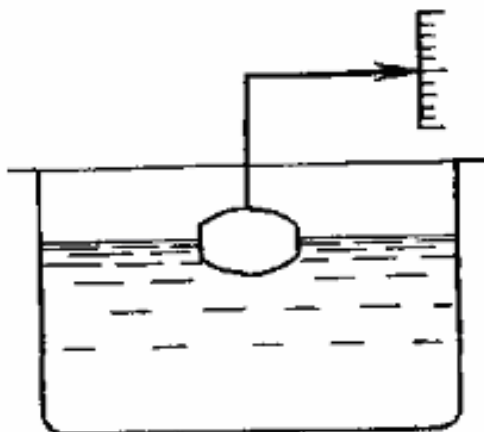


Рисунок 6.6 – Схема рівнеміра-поплавця

#### Рівнеміри з чутливими елементами

Чутливим елементом приладу даного типу є металевий циліндровий буйок, частково занурений в контрольовану рідину. На рисунку 6.7 зображена схема рівнеміра-поплавця одного з типів, який серійно випускають. Коли рівень підвищується, поплавець 1 переміщається вгору, натягнення троса 2 слабшає, але під дією вантажу 8 трос 9 починає змотуватися з барабана 10 і знов натягує трос 2, при цьому обертання передається на ротор сельсина-датчика 5 і вал рахункового механізму 7.

На рисунку 6.8 зображена схема буйкового рівнеміра.

Об'єкт 1, в якому контролюється рівень, сполучений з камерою 11, де знаходиться буйок 10, підвішений на тросі до важеля 3. Через пружний елемент 2 важіль виведений з камери і кінематично пов'язаний із заслінкою 9 і дном

сильфона жорсткого зворотного зв'язку 4. До сопла 8 через постійний дросель 7 подається стисле повітря тиском  $1,37 - 106 \text{ Н/м}^2$ .

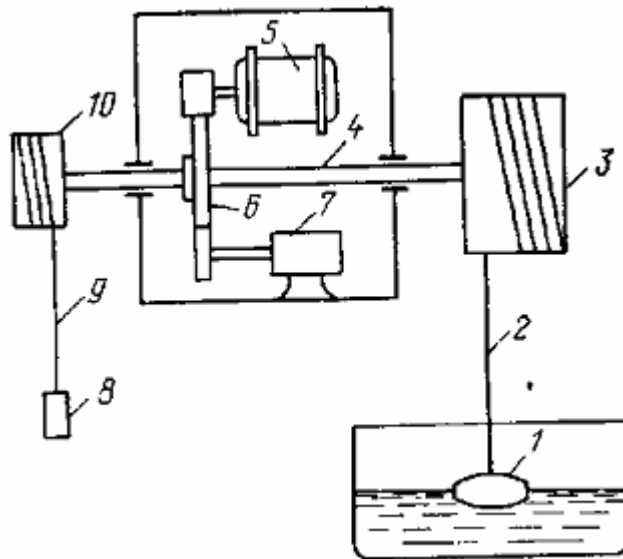


Рисунок 6.7 – Схема рівнеміра поплавця з сельсином:  
 1 – поплавець; 2, 9 – троси; 3, 10 – барабани; 4 – вісь; 5 – сельсин-датчик;  
 6 – зубчасте колесо; 7 – лічильник; 8 – противага.

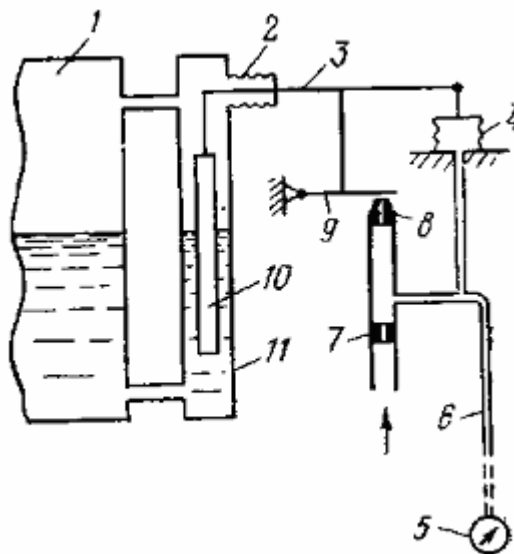


Рисунок 6.8 – Схема буйкового рівнеміра:  
 1 – об'єкт контролю; 2 – пружний елемент; 3 – важіль; 4 – сильфон;  
 5 – вторинний прилад; 6 – сполучна лінія; 7 – дросель постійного перетину;  
 8 – сопло; 9 – заслінка; 10 – буйок; 11 – камера.

Зміна рівня в об'єкті позначиться на величині рівня в камері 11, внаслідок чого зміниться виштовхуюча сила, що діє на буйок, і він переміститься або вгору (при підвищенні рівня), або вниз (при його пониженні). При цьому переміститься важіль 3, а разом з ним і заслінка 9 щодо сопла 8. Це приведе до зміни тиску повітря в лінії 6 вторинного приладу 5 і в середині сильфона 4, який, впливаючи на важіль 3, прагне повернути заслінку в початкове

положення. Шкала приладу 5 градуйована в одиницях вимірювання рівня рідини (мм, см, м).

Рівнеміри цього типу знайшли широке застосування для вимірювання рівня найрізноманітніших рідин в діапазоні від 0 до 9000 мм на самих різних об'єктах і при будь-якому тиску.

#### П'єзометричні рівнеміри

Вимірювання рівня цими пристроями здійснюється методом безперервного продування газу через шар контрольованої рідини. У посуд з рідиною (рисунок 6.9) поміщають п'єзометричну трубку 1, до якої підводять стисле повітря (або інший газ залежно від властивостей рідини) через редуктор 4 і контрольний стаканчик 3. Контрольний стаканчик дозволяє підтримувати нормальну подачу повітря (60 – 100 бульбашок за 1 хвилину). Чим вище рівень рідини в посуді, тим важче повітрю барботувати через шар рідини, тим вище тиск в п'єзометричній лінії. Це тиск, пропорційний рівню, вимірюється манометром 2, шкала якого градуйована в одиницях рівня.

Такий прилад найчастіше використовують для контролю рівня агресивних рідин і пульп, що кристалізуються, у відкритих ємкостях. Межі вимірювання 250 – 4000 мм (по воді).

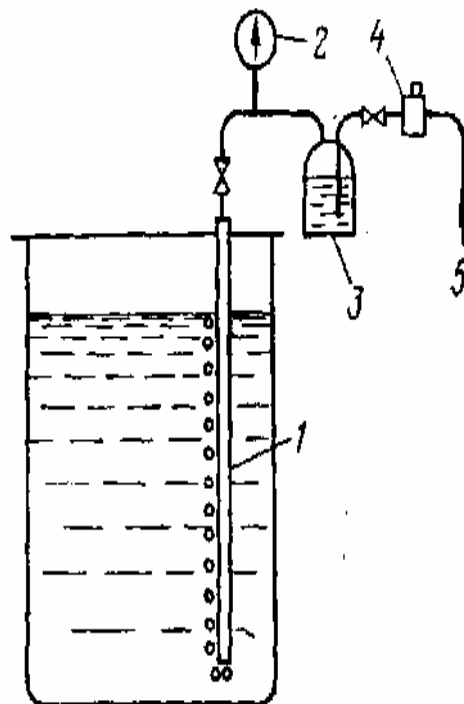


Рисунок 6.9 – Схема п'єзометричного рівнеміра:

1 – п'єзометрична трубка; 2 – манометр; 3 – контрольний стаканчик;  
4 – редуктор; 5 – стисле повітря.

Механічні вимірювальні прилади (рис. 6.10, 6.11).

Рідинні лічильники широко використовуються для вимірювання кількості в'язких рідин (масла, мазут, різні нафтопродукти).

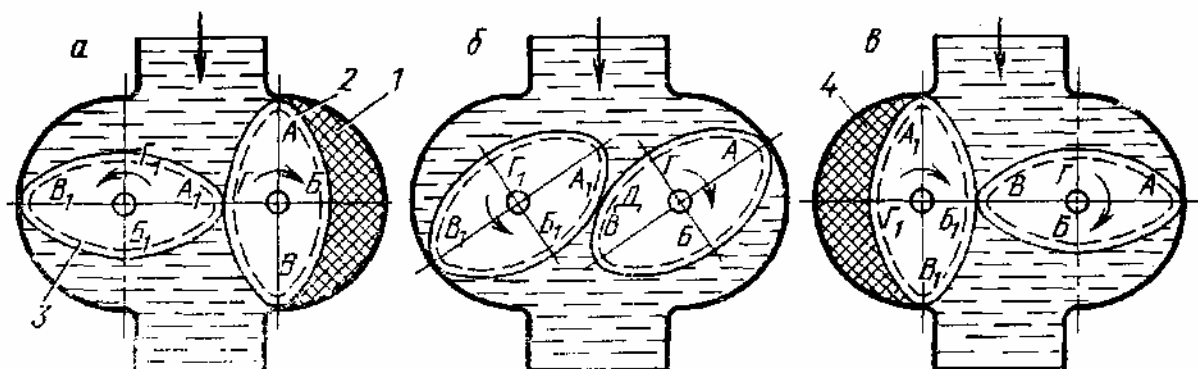


Рисунок 6.10 – Схема об'ємного рідинного лічильника з овальними шестернями:

*а – перше початкове положення; б – проміжне положення; в – друге початкове положення; 1 – об'єкт, що витісняється; 2, 3 – овальні шестерні; пунктиром показано зубчасте зачеплення.*

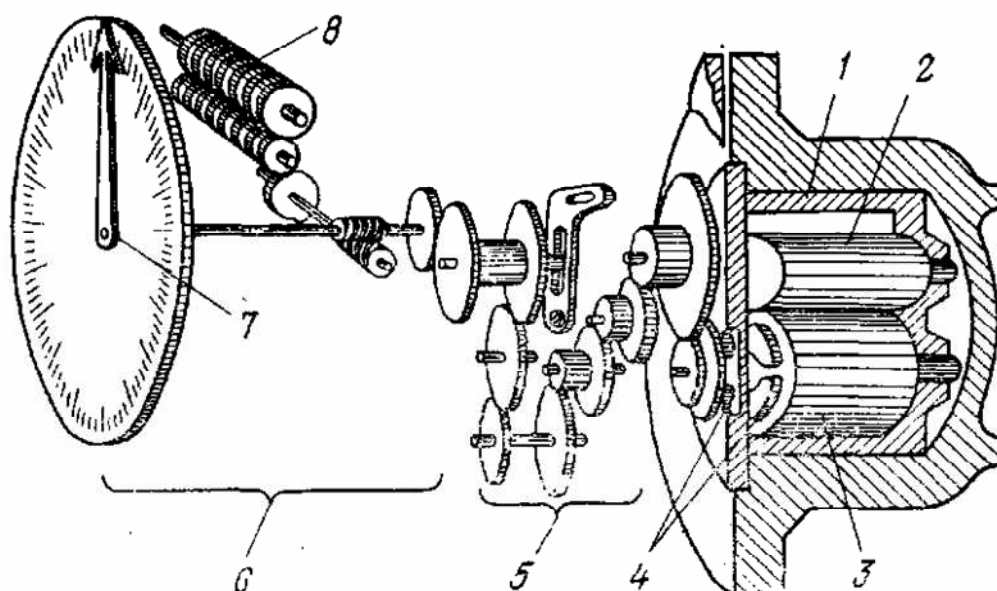


Рисунок 6.11 – Кінематична схема лічильника з овальними шестернями:  
*1 – вимірювальна камера; 2, 3 – овальні шестерні; 4 – магнітна муфта;  
 5 – редуктор; 6 – рахунковий механізм; 7 – стрілка;  
 8 – роликівий рахунковий показчик.*

#### **Список літератури для самостійного пророблення матеріалу за даною темою**

1. Андреев Г.Н., Маханько А.М. Автоматический контроль в технологических процессах. – М.: Издательство «Станкин», 1993. – 63 с.
2. Брюханов В.Н., Схиртладзе А.Г., Вороненко В.П. Автоматизация машиностроительного производства. Учебное пособие для вузов. – М: МГТУ «Станкин», 2003. – 287 с.
3. Кашкаров А.П. Электронные датчики. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 208 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 7 РЕГУЛЮЮЧІ ОРГАНИ І ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

(2 год.)

### *План лекції*

1. Електричні, механічні, гідравлічні, пневматичні виконавчі елементи (ВЕ), прилади і їх розрахунок.
2. Експериментальне визначення властивостей ВЕ.
3. Крани, заслінки, клапани, шибери.
4. Серійні ВЕ.

### *Короткий зміст. Основні поняття та терміни*

*Виконавчі пристрої* – елементи систем автоматики, які безпосередньо впливають на технологічний процес відповідно до командної інформації, що поступає від регулятора або пристрою дистанційного керування.

Командна інформація поступає на виконавчий пристрій у вигляді тиску стислого повітря в діапазоні  $2 \cdot 10^4 - 10^5$  Па, струму силою  $0 - 5$  мА або в будь-якій іншій формі.

Виконавчі пристрої складаються з двох основних функціональних блоків: виконавчого механізму і регулюючого органу. Від властивостей цих функціональних блоків, як і кожної ланки, що входить до автоматичної системи, залежить стійкість і якість процесу регулювання.

*Виконавчий механізм (ВМ)* – це ланка виконавчого пристрою, призначена для переміщення затвора регулюючого органу відповідно до сигналів керування (командною інформацією).

Як правило, потужності сигналу керування недостатньо для безпосереднього переміщення затвора регулюючого органу, тому виконавчий механізм можна розглядати як підсилювач потужності, за допомогою якого слабкий вхідний сигнал, посилюючись у багато разів за рахунок енергії джерела живлення і передається на регулюючий орган.

На сьогодні в техніці автоматизації, яку експлуатують в комунальному господарстві, існує велике число різноманітних виконавчих механізмів. Їх конструкція і принцип дії залежать як від характеру роботи, яку вони повинні виконувати, так і від роду використовуваної енергії.

Крім конструктивних, експлуатаційних і економічних чинників, основними показниками, за допомогою яких судять щодо якості компонентів САР і проводять порівняльну оцінку виконавчих механізмів різних типів, є прийняті швидкодія і точність.

*Швидкодією* називають величину, зворотну відрізка часу, що витрачається на перехід виконавчого механізму з одного сталого стану в інший під впливом сигналу керування. При цьому, за один сталий стан можна прийняти середнє (або одне з крайніх) положення виконавчого механізму, а за інше - максимальне відхилення (або інше крайнє положення).

*Точністю* називають величину, зворотну максимально можливій помилці встановлення виконавчого механізму в новий стан рівноваги.

Окрім цих основних показників характеристика виконавчих механізмів залежить від наступних чинників:

- *номінальне навантаження* (момент або зусилля, при якому виконавчий механізм працює з віддачею максимальної корисної потужності);
- *максимальне навантаження* (найбільший момент або максимальне зусилля, яке може передати виконавчий механізм);
- *коефіцієнт корисної дії* (відношення максимальної корисної потужності, що отримують на виході виконавчого механізму, до потужності, яку отримують від джерела енергії при оптимальному режимі роботи);
- *зона нечутливості* (область, в межах якої зміна величини сигналу керування не приводить виконавчий механізм до руху).

Виконавчий механізм, що працює в системі автоматичного керування, повинен не тільки здійснювати роботу з переміщення регулюючого органу, але і забезпечувати це переміщення з можливо меншими викривленнями законів регулювання, що формуються регулятором.

Перераховані вище основні показники роботи виконавчих механізмів дозволяють здійснити правильний їх вибір і експлуатацію.

За виглядом енергії, яку використовують для створення перестановочного зусилля, виконавчі механізми поділяють: на електричні, пневматичні і гідравлічні.

Електричні ВМ можна розділити на дві основні групи: соленоїдні і електродвигунові.

Особливість соленоїдних виконавчих механізмів полягає в тому, що необхідне для перестановки робочого органу зусилля створюється за рахунок електромагніту, що є невід'ємною частиною виконавчого механізму і забезпечує лише поступальний рух вихідної ланки.

Соленоїдні механізми застосовуються в основному в схемах двохпозиційного регулювання («Відкрито - Закрито»). Це пояснюється тим, що регулюючий орган може знаходитися тільки в двох крайніх положеннях. Наприклад, перше - струм включений, осердя притягає і клапан відкритий, друге - струм відключений, осердя відпущене (не притягає) і клапан закритий.

Електродвигунові ВМ або сальникові вентилі, включають електромагнітний привод (головний електромагніт) і електромагнітну засувку.

При подачі від регулятора імпульсу на відкриття вентилі (замикається контакт «Більше») обмотка головного електромагніту виявляється включеною, якір втягується в котушку соленоїда і повністю відкриває вентиль. Одночасно спеціальна засувка зафіксує якір в цьому положенні, а блокувальний контакт, розімкнеться, знеструмивши обмотку головного електромагніту. Коли регулятор дає команду на закриття вентилі (замикається контакт «Менше»), під струмом опиниться обмотка електромагнітної засувки, яка звільнить механізм засувки, який під дією, наприклад, власної ваги або поворотної пружини закриється, розірве блокувальний контакт і здійсниться запланована дія ВМ. На випадок відсутності електроенергії вентилі забезпечують пристроєм ручного керування.

Рациональнішим, ніж електромагнітний, є електродвигуновий виконавчий механізм, що складається з електродвигуна і понижуючого механічного редуктора.

За характером руху вихідної ланки електродвигунові виконавчі механізми підрозділяються: на поворотні (однообертові), багатообертові і прямоходні.

Електричні ВМ часто містять в своїх конструкціях електричні двигуни. На рисунку 7.1 показана електрична схема включення електродвигунового багатооборотного виконавчого механізму, який через редуктор кінематично пов'язаний з регулюючим органом.

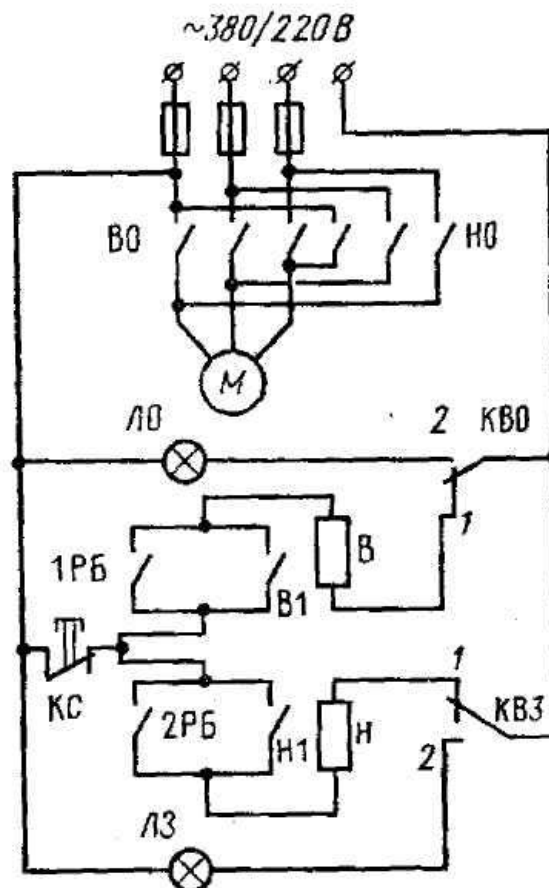


Рисунок 7.1 – Приклад реальної електричної схеми включення багатообертового виконавчого механізму

Пуск електродвигуна, що забезпечує відкриття або закриття регулюючого органу, проводиться контактами *1РБ* і *2РБ* реле-регулятора, причому тривалість подачі команди може бути дуже мала. Якщо, наприклад, замкнувся контакт *1РБ*, то під струмом опинилася обмотка *В* - реверсивний магнітний пускач, внаслідок чого головні контакти *В* пускача включають в мережу електродвигун *М* і блок-контакт *В1* пускача шунтують контакт *1РБ* регулятора, який може тут же розімкнутися, але ланцюг залишиться під струмом. Електродвигун переміщає регулюючий орган у бік відкриття; в той момент, коли він досягне крайнього положення, шляховий мікроперемикач *KB0*

перемкне контакт з положення 1 в положення 2, знеструмлюючи обмотку магнітного пускача *B*. При цьому головні контакти *B* розмикаються, двигун зупиняється, а сигнальна лампа *Л0* запалюється, сигналізуючи про повне відкриття регулюючого органу. При замиканні контакту *2РБ* регулятора під струм потрапляє обмотка *H* реверсивного магнітного пускача, замикаються його головний контакт *Н0* і блокувальний контакт *Н1*, ротор реверсивного двигуна *М* почне обертатися в інший бік, відпрацьовуючи закриття регулюючого органу. Коли регулюючий орган повністю закриється, шляховий мікроперемикач *КВ3* перемкне контакт з положення 1 в положення 2, розімкнеться ланцюг обмотки *H* магнітного пускача, двигун зупиниться, а лампа *Л3* - засвітиться.

Дорожні мікроперемикачі *КВ0* і *КВ3* змонтовані всередині корпусу редуктора. Кнопка *КС* служить для аварійної зупинки двигуна *М*.

Тиристорні ВМ - безконтактні пристрої, які реалізуються на базі напівпровідникових елементів і мікропроцесорних пристроїв.

Пневматичні ВМ випускаються в двох модифікаціях, що можуть бути мембранними й поршневыми.

У системах водо-, газо- і теплопостачання широко застосовуються *мембранні виконавчі механізми*. Ці пристрої можуть володіти поступальним переміщенням штока для керування регулюючими дросельними клапанами, конструктивно об'єднаними з ними в єдиний блок, або кутовим переміщенням важеля, шарнірно пов'язаного з штоком (важелі призначені для керування поворотними заслінками).

Виконавчий механізм має мембранну головку, що складається з верхнього 1 і нижнього 4 фланців. Між фланцями кришок затиснута мембрана з прогумованої тканини 3 з жорстким (металевим) центром 2, який пов'язаний з штоком 7. На нижньому кінці штока знаходяться плунжери 19.

Із збільшенням сигналу від регулятора (тиск  $P_y$ ) мембрана 3 з центром 2 і штоком 7 переміститься вниз, стискаючи пружину 6, а зазор між плунжерами 19 і сідлами 20 зменшиться. Це приведе до зменшення витрати речовини через клапан. Стиснення пружини регулюється втулкою 10, укрученою в корпус виконавчого механізму. Втулка передає посилення на пружину через наполегливий підшипник 9 і кільце 8. Для мастила штока і сальникового набивання передбачений лубрикатор 16. На штоку укріплений показчик 11 положень плунжера.

*Пневматичні регулюючі клапани* (рисунк 7.2) підрозділяються на два типи: ВЗ – «Повітря закриває» (з підвищенням тиску повітря на мембрану виконавчого механізму клапан закривається) і ВО - «Повітря відкриває» (з підвищенням тиску повітря клапан відкривається).

Клапани типу ВЗ застосовуються у тому випадку, коли при аварійному припиненні подачі стислого повітря до виконавчого механізму за технологічними умовами безпечніше мати відкриту лінію керування ТО.

Розглянуті ВМ використовують для реалізації позиційних реле (рис. 7.3) або позиціонерів.



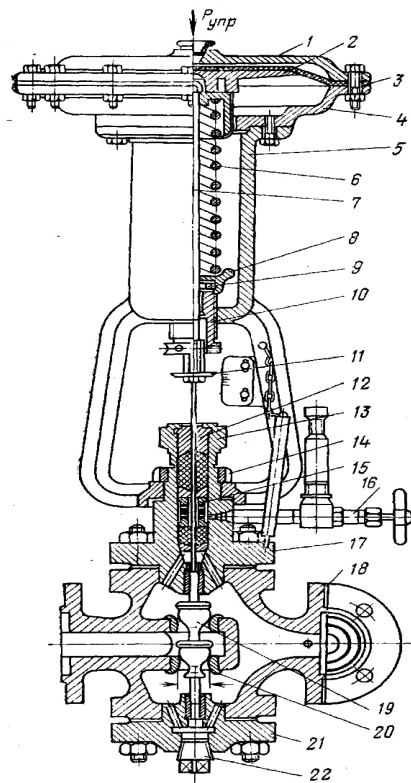


Рисунок 7.2 – Загальний вигляд двох сідельного регулюючого клапана з пневмоприводом:

1, 4 – кришки головки; 2 – жорсткий центр; 3 – мембрана; 5 – корпус виконавчого механізму; 6 – пружина; 7 – шток; 8 – кільця; 9 – упорний підшипник; 10, 15 – втулки; 11 – показчик положення плунжера; 12 – ґрундбукса; 13 – накидна гайка; 14 – сполучна гайка; 16 – лубрика-гор; 17, 18, 21 – фланці; 19 – плунжер; 20 – сідло; 22 – зливна пробка.

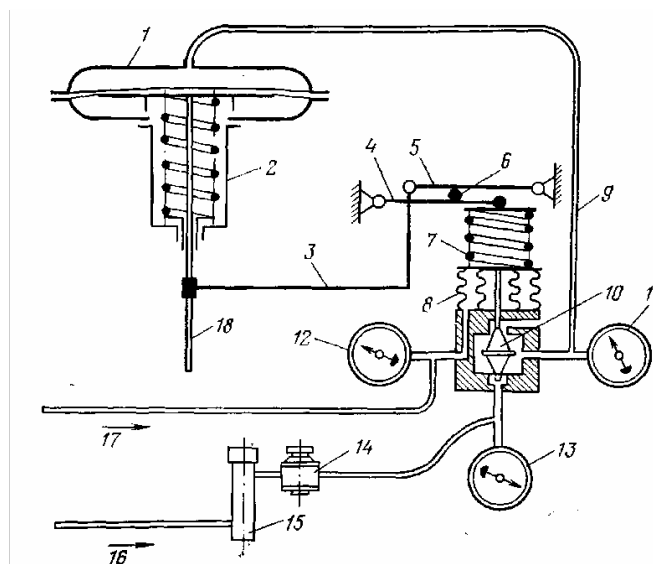


Рисунок 7.3 – Принципова схема позиційного реле:

1 – головка виконавчого механізму; 2 – виконавчий механізм; 3-5 – важелі; 6 – рухомий шарнір; 7 – пружина; 8 – сильфони; 9 – трубка; 10 – клапан; 11-13 – манометри; 14 – редуктор; 15 – фільтр; 16 – повітря від компресора; 17 – повітря від регулятора; 18 – шток.

*Позиційні реле* оснащуються манометрами 11 - 13, які служать для контролю тиску повітря у відповідних лініях. Необхідний коефіцієнт зворотного зв'язку встановлюється рухомим шарніром 6.

Не дивлячись на те, що позиціонери дають відомі переваги, їх застосування під час роботи з виконавчим механізмом далеко не завжди є обов'язковим, оскільки системи керування є замкнутими і мають чималий загальний коефіцієнт посилення, а тому похибки окремих ланок, зокрема виконавчих механізмів, можуть не робити суттєвого впливу на точність відробітку сигналу для системи в цілому.

Застосування позиціонерів обов'язково в наступних випадках: при значних перепадах тиску на регулюючих клапанах (особливо односідельних, шлангових, діафрагмових), коли виникають великі неврівноважені зусилля на штоці ВМ;

*Прямоходовий електромагнітний ВЕ* (рис. 7.4) складається з: електромагніту (Ш-подібними частинами осердя 1,3 і котушки 2), рухомої рами 4, поперечини 5 з ізоляційного матеріалу з подвійними контактами 6 і нерухомих контактів 7, до яких приєднуються проводи електричного ланцюга, що замикається ВЕ.

Коли по обмотці електромагніта протікає електричний струм, нижня рухома частина осердя (якір) піднімається вгору, захоплюючи за собою рухома раму з установленими на поперечині подвійними контактами. Рухомі контакти щільно доторкаються до нерухомих і з'єднують їх. Відбувається замикання ланцюга, керованого контактором.

Прямоходові ВЕ виготовляють одно- і триполюсними (для трифазного змінного струму).

Котушки більшості електромагнітних ВЕ конструктивно виконують на каркасах і розраховують на тривале включення.

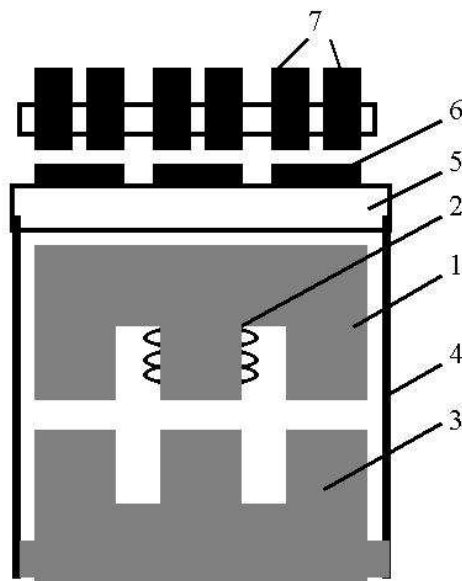


Рисунок 7.4 – Прямоходовий виконавчий елемент

Поверхню котушки  $S_{\varepsilon}$  постійного струму, що знаходиться в повітрі, і поверхню  $S_M$ , що стикається з металом при її, наприклад, циліндричному виконанні, визначають за формулами:

$$S_{\varepsilon} = \pi D_H h + \frac{\pi(D_H^2 - D_B^2)}{4}, \quad (7.1)$$

$$S_M = \pi D_B h + \frac{\pi(D_H^2 - D_B^2)}{4}, \quad (7.2)$$

де  $D_H$ ,  $D_B$ ,  $h$  – зовнішній, внутрішній діаметри і довжина котушки. Обмотувальні дані котушки розраховують у такій послідовності:

#### 1. Потужність котушки

$$P = k_1 S_B + k_2 S_M, \quad (7.3)$$

де  $k_1$ ,  $k_2$  – коефіцієнти, що визначають потужність, яка виділяється з одиниці поверхні котушки, залежать від товщини обмоток і умов експлуатації.

#### 2. Площа вікна

$$S = \frac{D_H - D_B}{2} \cdot h. \quad (7.4)$$

#### 3. Середня довжина витка котушки

$$L_{CP} = \pi S. \quad (7.5)$$

4. Сила котушки, що намагнічує, для обмоток, виконаних з круглого мідного проводу:

$$F = 5(P)^{0,5} \cdot \left( \frac{S}{L_{CP}} \right)^{0,5}. \quad (7.6)$$

#### 5. Діаметр проводу котушки

$$D_{II} = 0,16 \cdot \left( \frac{L_{CP} F}{U_y} \right)^{0,5}, \quad (7.7)$$

де  $U_y$  – значення напруги керуючого ланцюга.

#### 6. Число витків котушки

$$\omega = \frac{0,64 S}{D_{II}^2}. \quad (7.8)$$

Якщо котушка ВЕ включається в керуючий ланцюг послідовно, то розрахунок конструктивних даних роблять, використовуючи значення струму  $I_y$  за формулами:

$$\omega = \frac{F}{I_y}, \quad (7.9)$$

$$D_{II} = 0,8 \left( \frac{S}{\omega} \right)^{0,5}. \quad (7.10)$$

Розрахунок котушок змінного струму при максимальному використанні їхнього об'єму виконують в наступному порядку:

в апаратах змінного струму (з рівнобіжними котушками перерізом  $S_c$ ) максимальна робоча індукція знаходиться в межах  $0,7 - 1,1$  Т. При такій індукції і частоті  $50$  Гц значення ЕРС будуть:

$$E = (1,6 \cdot 42,5) 10^{-2} \cdot \omega S_c. \quad (7.11)$$

Число витків, що приходить на кожний вольт прикладеної напруги,

$$\omega_y = (40 \cdot 4 \cdot 60) \cdot S_c. \quad (7.12)$$

Число витків котушки на напругу  $U_y$

$$\omega = \omega_y U_y. \quad (7.13)$$

Площу вікна визначають за залежністю (7.4), а переріз і діаметр проводу

$$S_{II} = \frac{S \cdot k_3}{\omega}; \quad (7.14)$$

$$D_{II} = 1,13 \cdot S_{II}^{0,5}; \quad (7.15)$$

$$k_3 = (0,63 \cdot 4 \cdot 0,74) \cdot \left( \frac{D_{II}}{D_{III}} \right)^2, \quad (7.16)$$

де  $D_{II}$ ,  $D_{III}$  – діаметр проводу без ізоляції і з ізоляцією відповідно.

Розрахунки більшості ВЕ в даний час виконуються за допомогою спеціальних комп'ютерних програм, які реалізують алгоритми аналогічно розглянутому вище прикладу.

***Список літератури для самостійного пророблення матеріалу  
за даною темою***

1. Семьян А.П. Источники питания. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 416 с.
2. Вовк П.Ю. Электромагнитные реле. – К.: «МК-Пресс», 2004. – 400 с.
3. Брюханов В.Н., Схиртладзе А.Г., Вороненко В.П. Автоматизация производства: Учеб. Для сред. проф. учеб. заведений / Под. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш.шк., 2005. – 367 с.
4. Красников В.М., Новиков А.В. Электрические машины. – К.: Высш.шк., 1995. – 364 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 8 ОРГАНІЗАЦІЯ СЛУЖБИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ ТО

(2 год.)

### *План лекції*

1. Принципи телевиміру і телекерування.
2. Системі сповіщення, блокування, автоматичного повторного включення.
3. Розробка функціональних схем.

### *Короткий зміст. Основні поняття та терміни*

*Принципові схеми* служать для найбільш простого й наочного умовного зображення пристроїв, показувати взаємний зв'язок між окремими елементами з урахуванням послідовної роботи, що відображають принцип дії самих різних електротехнічних пристроїв.

*Телевимірювачі* – дистанційні засоби для автоматичного контролю технологічних параметрів ТО. До них відносять засоби вимірювання, перетворення й передачі інформації на великі відстані.

При передачі інформації, про вимірювані величини на великі відстані, технічні труднощі пов'язані з обмеженням похибок, обумовлених змінами робочих характеристик ліній зв'язку і в результаті діючих перешкод.

У засобах телевимірювань використовують безперервні (аналогові) і переривчасті (дискретні) технічні рішення.

Блок-схеми телевимірювальної системи включають датчики, передавачі, приймачі, вторинні прилади й різні канали зв'язку (радіоканали, дротяні, волоконно-оптичні, комбіновані).

*Телекерування* - дистанційні засоби для автоматичної передачі сигналів керування (аналогових, дискретних, цифрових).

*Диференціально-трансформаторні* системи довгий час відносилися до універсальних засобів електричного дистанційного контролю й керування ТО.

*Сельсини* – самосинхронізуючі електричні машини з обмотками синхронізації та збудження.

*Пневматичні системи типу «сопло-заслінка»* для дистанційних систем контролю й керування.

*Мікропроцесорні засоби телевимірювання, керування, сигналізації і реєстрації подій на ТЕ.*

*Системи сигналізації і сповіщення* – пристрої, призначені для віддзеркалення стану окремих елементів ТО або для повідомлення про порушення нормального ходу технологічних процесів на об'єкті контролю і керування.

За призначенням сигналізація поділяється на: положення і повідомлення; командно-переговорна; дії захисту і автоматики; технологічна попереджуюча і аварійна.

Схеми сигналізації можуть включати джерела світлових і звукових сигналів, що уявляють собою табло, панелі, мнемосхеми, екрани моніторів та ін. варіанти виконання.

Схема, що задовольняє багатьом вимогам (рис. 8.1), може складатися з будь-якої кількості точок сигналізації. Апаратура сигналізації кожної точки контролю складає окрему ділянку схеми (показано дві таких ділянки і одна загальна, яка відноситься до звукової сигналізації і перевірки ламп).

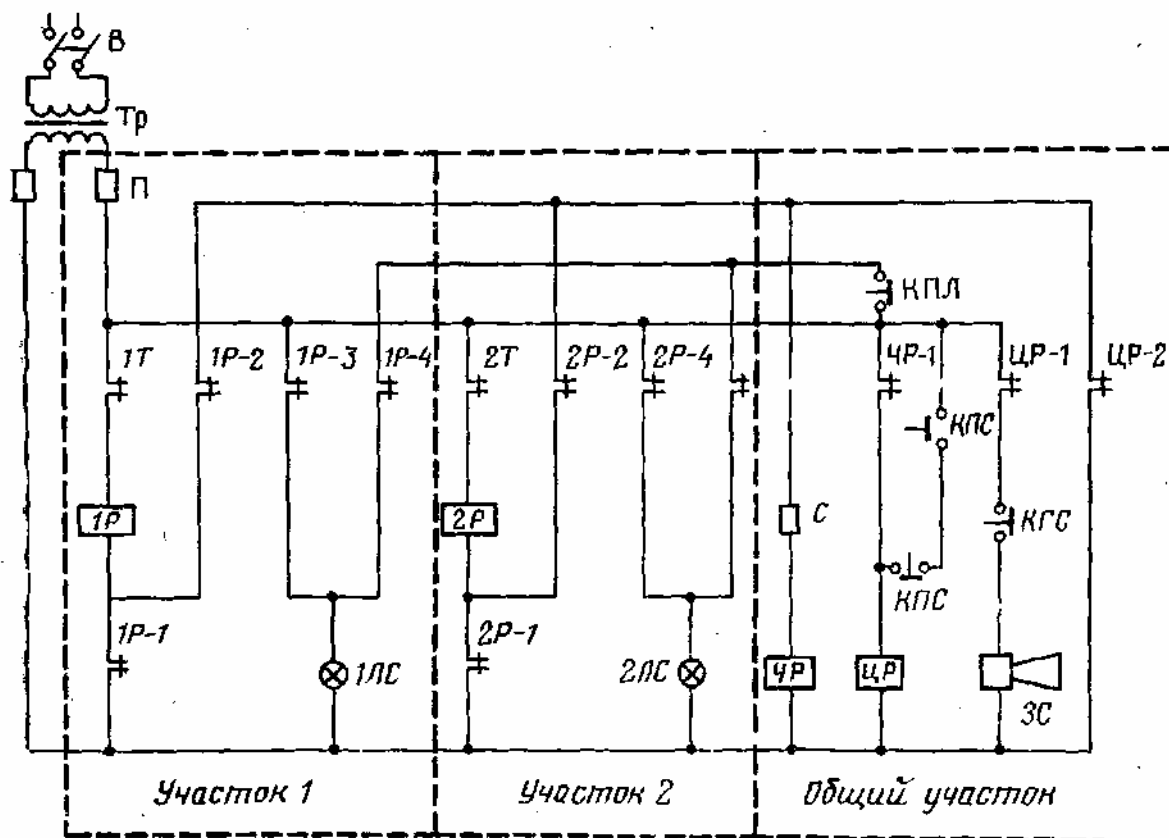


Рисунок 8.1 – Приклад реальної схеми технологічної сигналізації

У схемі рисунку 8.1 передбачено застосування проміжних реле двох типів: чутливих (ЧР) і звичайних (Р). Для включення Р потрібно значно більший струм, ніж для включення ЧР.

Живлення схеми сигналізації здійснюється через рубильник В, що знижує трансформатор Тр, запобіжники П.

При замиканні контактів 1Т першого вимірювального приладу включається електричний ланцюг; обмотка реле 1Р, його розмикаючий контакт 1Р-2, опір С і обмотка чутливого реле ЧР. У перший момент реле 1Р ще не може спрацювати, оскільки опір ланцюга (враховуючи опір С) буде дуже великий. Спрацює чутливе реле ЧР, замикаються його контакти ЧР-1, включаючи два ланцюги-обмотки реле ЦР і звуковий сигналізатор ЗС; подається звуковий сигнал, одночасно включаються замикаючі контакти ЦР-1 і ЦР-2. Живлення звукового сигналізатора проводиться тепер вже за двома ланцюгами: через контакти ЧР-1 та ЦР-1 і кнопку гасіння сигналу (з розмикаючими контактами) КГС. За тими ж двома ланцюгами живиться і обмотка реле ЦР.

Включення контактів *ЦР-2* шунтує опір і обмотку реле *ЧР*. Струм, що протікає через реле *1Р*, відразу ж зростає і реле *1Р* спрацьовує. Замикаються його контакти *1Р-1*.

Блокування, що виключає одночасну роботу двох двигунів, передбачене в схемі, зображеній на рисунку 8.2. Вона здійснюється блок-контактами *1К* і *2К*, включеними в ланцюзі втягуючих котушок контакторів, відповідно *2К* і *1К*.

Керування приводом здійснюється реалізацією наступного алгоритму: для пуску електродвигуна *1Д* натискається кнопка «Пуск 1», що замикає ланцюг котушки *1К*, контактор *1К* спрацьовує і головними контактами підключає до мережі електродвигун *1Д*. Робота двигуна *2Д* при цьому виключена, оскільки ланцюг котушки контактора *2К* розімкнений блок-контактом *1К*.

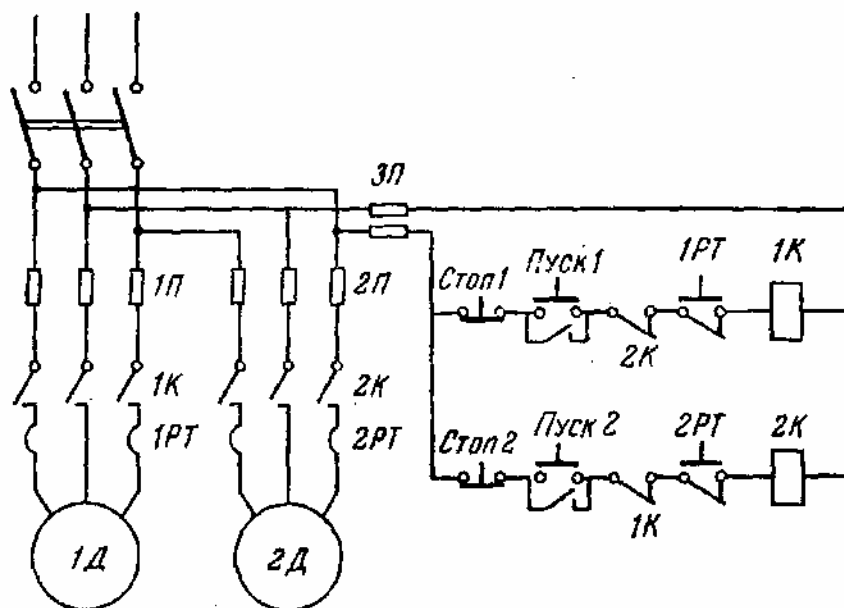


Рисунок 8.2 – Схема блокування

При необхідності пуску двигуна *2Д* спочатку повинна бути натиснута кнопка «Стоп-1», що відключає від мережі двигун *1Д*. Тільки після відключення двигуна *1Д* контакт *1К* в ланцюзі котушки *2К* замикається і представляється можливим за допомогою кнопки «Пуск-2» провести включення двигуна *2Д*. Подібна залежність роботи електродвигунів зберігається і при пуску першим двигуном *2Д*.

Захист двигунів здійснюється плавкими запобіжниками *1П* і *2П*, а також тепловим реле *1РТ* і *2РТ*. Ланцюги керування захищені плавкими запобіжниками *3П*.

При розробці принципів електричних схем всі апарати і прилади, що беруть участь в схемі, отримують умовне позначення або марку, причому марка, привласнена апарату, використовується для позначення (маркірування) всіх його елементів і функції в схемі: наприклад, контактор *К*, лампа сигнальна *ЛС*, реле напруги *РН*, реле часу *РВ*, кнопка «Стоп» *КС* та ін.



Розглянутий вище алгоритм включення двох електродвигунів в мікропроцесорній системі керування, сигналізації і блокування реалізують програмними засобами. Програмування алгоритмів виконуються на мовах низького або високого рівнів стосовно конкретного мікропроцесорного пристрою автоматики.

***Список літератури для самостійного пророблення матеріалу  
за даною темою***

1. Олефир Д.А. Внедрение автоматизированных систем диспетчерского управления в ОЭС Украины // Электрические сети и системы. – 2005. – №1 – 2.
2. Букович Н.В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем: Навч.посіб. – Л.: Бескид Біт, 2003. – 130 с.
3. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 272 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 9 СИСТЕМИ ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ТО

(2 год.)

### *План лекції*

1. Системи автоматизації на базі мікропроцесорів і мікроконтролерів, мехатронні системи на ТО комунального господарства.
2. Інтелектуальні системи телекерування.
3. Розробка функціональних схем.

### *Короткий зміст. Основні поняття та терміни*

Мікропроцесорні засоби автоматизації (МПЗА) реалізують логічне керування ТО на базі програмних засобів, створених на базі мов програмування.

*Мова програмування* – набір засобів для опису процесів наказаних для виконання процесору технічного пристрою.

Основу програмування САР складають моделі технологічних процесів.

Проектування МПЗА засноване на декількох незалежних алгоритмах, що включають: звичайне моделювання роботи пристрою; синтез пристрою; структурні перетворення; побудову тестів перевірки; пошук несправностей.

Очевидно, що можливості цифрових систем автоматики, особливо, програмованих, значно вище відомих дискретних і аналогових САР.

Спеціальні перетворювачі сигналів часто використовуються як компоненти електронних моделей ТО.

Наприклад, підсилювачі сигналів з одним (рис. 9.1а) або декількома входами (рисунок 9.1б), що реалізують залежність:

$$U_{вих} = - \sum_{i=1}^n \frac{R_0}{R_i} U_{вх_i} , \quad (9.1)$$

дозволяють моделювати перетворення електричних величин в приймальних елементах, вимірювальних схемах, компонентах регуляторів та ін.

Інтегруючий підсилювач показаний на рисунку 9.1в реалізує залежність

$$U_{вих} = - \frac{1}{R_1 C} \int_0^t U_{вх} dt , \quad (9.2)$$

де  $\frac{1}{R_1 C} = K$  – коефіцієнт передачі, що дозволяє застосовувати його при моделюванні інтегруючих компонентів технологічних об'єктів.

На базі подібних рішень створюються самі різні елементи САР.

Пристрій вводу забезпечує введення початкових даних в МПЗА. Він може проводити наступні операції: з'єднання вирішальних елементів між собою відповідно до заданої системи керування (за допомогою перемичок і коротких гнучких шнурів з штекерами); установку коефіцієнтів передачі підсумовуючих й інтегруючих елементів; завдання початкових значень змінних та ін. При настройках всі ці операції здійснюються вручну.

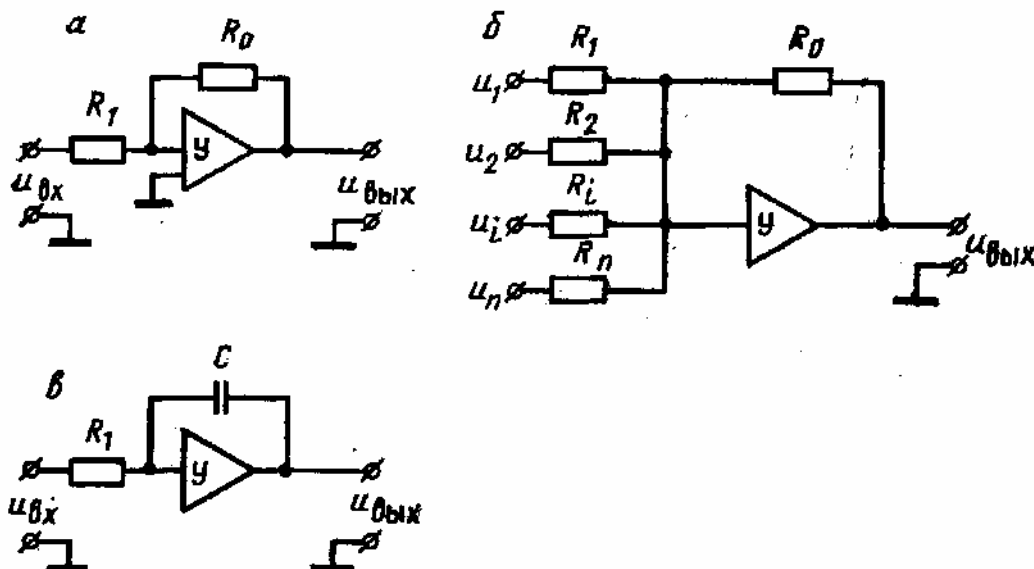


Рисунок 9.1 – Схеми включення операційних підсилювачів:  
*а – розмножувальний елемент, що здійснює множення на постійний коефіцієнт; б – суматор; в – інтегратор*

Пристрій управління і контролю здійснює керування всіма вузлами МПЗА і забезпечує візуальне спостереження за рішенням завдань на екрані монітора. Процес рішення починається за сигналом «Пуск» з пульта керування, а автоматичне керування здійснюється за допомогою спеціальної цифрової схеми або МПЗА.

Реєструючий пристрій призначений для реєстрації результатів роботи САР. Як реєструючі пристрої використовуються вимірювальні прилади: цифрові й стрілочні вольтметри постійного струму, електронні запам'ятовуючі пристрої, електронні осцилографи, реєструючі прилади.

Процес програмування завдання автоматизації ТО ілюструє схема, зображена на рисунку 9.2.

На етапі постановки завдання необхідно:

а) дати опис об'єкта моделювання і чітко сформулювати мету дослідження;

б) отримати математичну модель досліджуваного об'єкта, визначити чисельні значення параметрів і початкових значень змінних і діапазонів, в яких вони можуть змінюватися в процесі експлуатації ТО;

в) оцінити швидкість модифікації змінних, їх похідних і функцій (на рис. 9.2) ця дія показана пунктиром);

Етап програмування складається з наступних операцій:

- а) перетворення математичної моделі у форму, зручну для моделювання за допомогою обчислювального пристрою на базі конкретного мікропроцесора;
- б) розробка програми - структурної схеми моделювання;
- в) розробка засобів сполучення для зв'язку МПЗА з ТО і програмування портів для активації периферійних пристроїв конкретної САР.

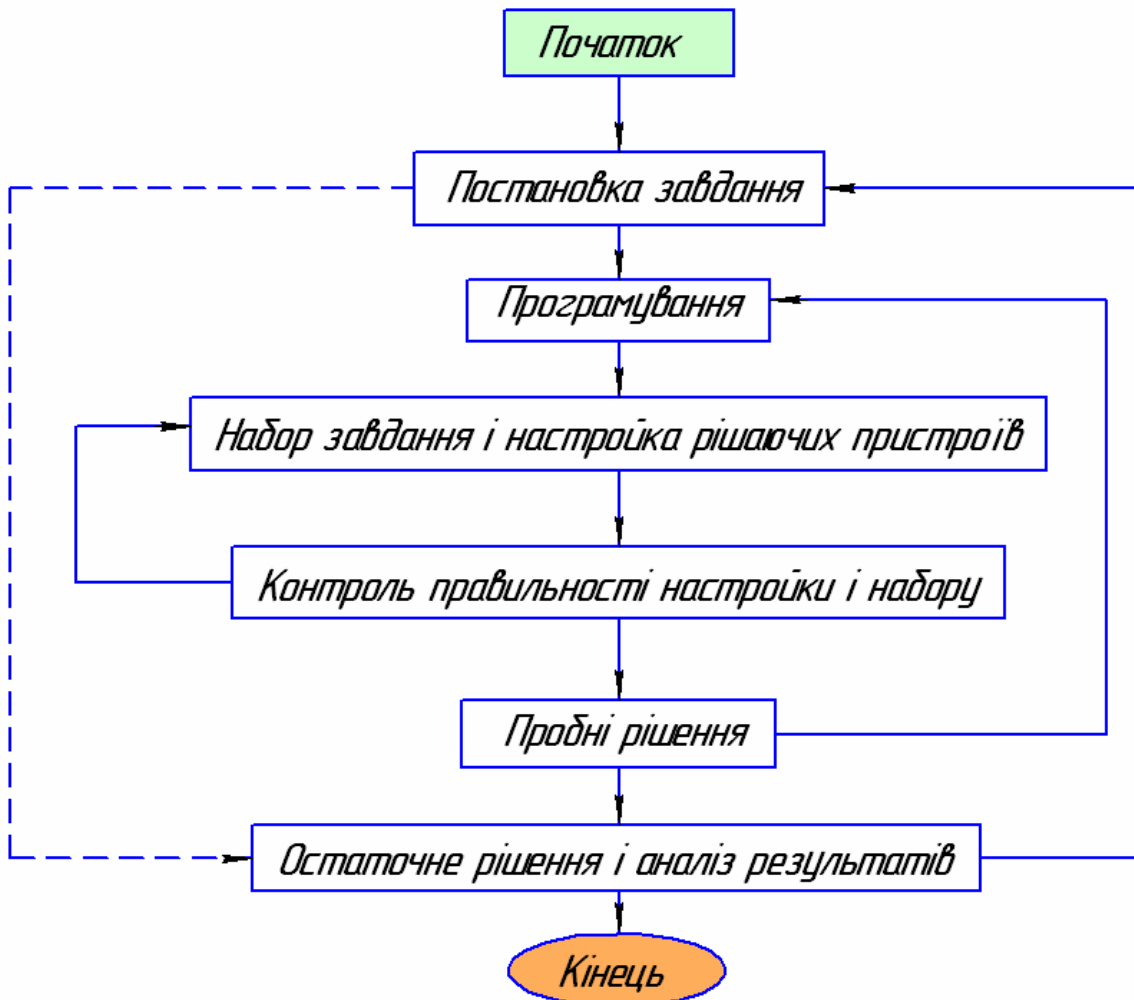


Рисунок 9.2 – Блок-схема програмування МПЗА

Настройка пристроїв МПЗА полягає в з'єднанні між собою всіх компонентів системи автоматики, установці коефіцієнтів передачі (початкових умов) відповідно до початкових даних, налаштування компонентів програмного засобу.

На етапі контролю правильності настройки і набору проводять перевірку відповідності з'єднань компонентів схеми, значень коефіцієнтів передачі математичній моделі.

Етап пробних рішень передбачає уточнення програми для внесення необхідних змін до структурних і комутаційних схем. Після коректування виконується остаточне рішення, результати реєструються і ретельно аналізуються.

Підготовлений програмний продукт після передачі користувачеві постійно залишається в роботі, оскільки часто виникають нештатні ситуації на ТО, які при програмуванні не були враховані або не передбачалися взагалі. В зв'язку з цим програмний продукт додатково удосконалюється і з'являється як оновлена версія у користувача МПЗА.

Основними складовими МПЗА складних ТО є головна (оперативна) пам'ять і центральний процесор. Причому складні системи можуть включати різні моделі процесорів, що володіють необхідними характеристиками.

Приклад системи керування устаткуванням ліфтів в крупному мегаполісі зображена на рисунку 9.3.

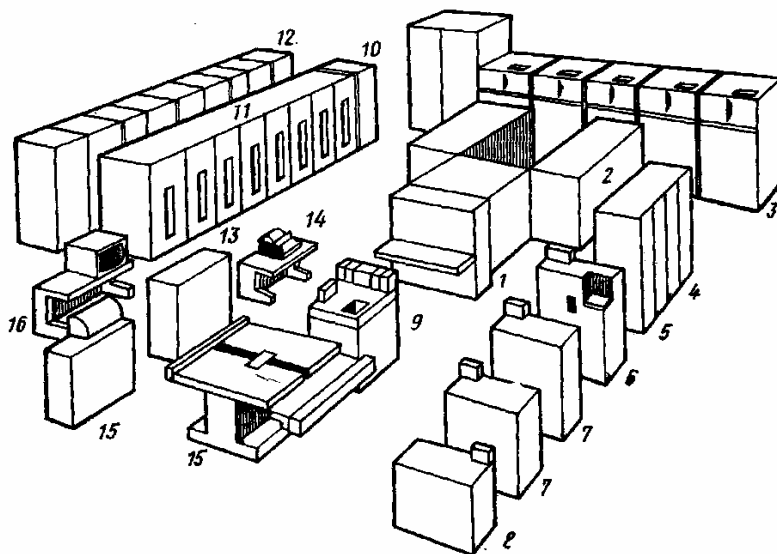


Рисунок 9.3 – Варіант компоновання МПЗА:

*1 – процесор; 2 – основна оперативна пам'ять; 3 – сервер; 4 – мультиплексний канал; 5 – селекторний канал; 6, 7 – пристрої виводу; 8, 9 – пристрої вводу; 10 – пристрій керування; 11 – формувачі сигналів керування; 12 – стійка живлення; 13 – 15 – друкуючі пристрої; 16 – дисплей*

У практиці технічних розрахунків існує великий клас завдань, які з ряду причин недоцільно вирішувати за допомогою локальних мікропроцесорних пристроїв. До їх числа відносяться завдання середньої складності, для вирішення яких потрібно виконати декілька десятків або сотень арифметичних і логічних операцій. Подібні завдання часто доводиться вирішувати студентам ВНЗ при виконанні різних домашніх завдань, курсових і дипломних проектів.

### ***Інтелектуальна комплексна система «ГРАНІТ»***

Модернізуючі КП «ГРАНІТ», розроблено на основі контролера МікроРС. Існуючі КП, підключаються до 4-х каналних адаптерів ADP. Адаптери виготовлені на основі однокристальних ЕОМ AT89C2051 (по одній на кожен канал) і встановлюються безпосередньо в каркас МікроРС. Виходи адаптерів мають опторозв'язку і такі ж електричні параметри як лінійні вузли «ГРАНІТ», що дозволяє безпосередньо підключатися до ліній зв'язку КП «ГРАНІТ».

У використовуваних варіантах МІкроРС встановлюються фірмові плати СОМ-портів 5558. Ці блоки розраховані на підключення до 8 пристроїв, кожен, з яких працює за послідовним інтерфейсом RS232 для зв'язку з КП.

З боку КП встановлюються аналогічні модеми. У каркас КП встановлюється конвертор сигналів формату RS232 у формат посилок «ГРАНІТ». Конвертор представляє нескладний пристрій на однокристальній ЕВМ Atmel і ланцюгах узгодження сигналів. Конвертор підключається з одного боку до модему, з іншого боку - до лінійного вузла. Конвертор дозволяє також трішки змінити алгоритм роботи КП, наприклад, передавати і приймати інформацію пакетами, це зручно при віялових відключеннях.

Тип модемів вибирається залежно від параметрів ліній зв'язку. Якщо використовуються фізичні лінії, встановлюються звичайні модеми, призначені для роботи за телефонними виділеними лініями. Для роботи по ущільненим ВЧ каналам, необхідно використовувати модеми, що працюють в надтональному діапазоні (наприклад модеми фірми «AnCom»). Цей варіант зручний при роботі на поганих лінях зв'язку, коли КП розкидані по всьому місту і доступні тільки виділені телефонні лінії зв'язку. Проте ВЧ-канали не завжди придатні для надійної реалізації каналів керування.

Якщо відстані до КП не перевищують декілька кілометрів, зручніше замість модемів встановити перетворювачі RS232 - RS485, для роботи по двохпроводній лінії.

Підключення ліній зв'язку до МІкроРС здійснюється за допомогою стандартних клемників і кабелів, що входять до номенклатури фірми «ОCTAGON» або «FASTWELL».

Програмне забезпечення МІкроРС складається з модуля GRAN.EXE і виконує наступні функції: обробляє інформацію, що поступає, від КП; виводить інформацію на мнемощит; пересилає дані на сервер у вигляді таблиць; отримує з сервера файл команд для передачі на КП телекерування; проводить опит КП зі встановленою періодичністю; діагностує в КП працездатність кожного блоку ТС і ТІТ; веде протокол на серверу про всі події і команди телекерування і діагностики.

Розроблені додаткові блоки для діагностичного комп'ютера-телемеханіка для відображення інформації, що приходить і йде, по кожному КП і формування команд ТУ і т.п. В окремих випадках потрібна заміна устаткування на КП.

При встановці системи виконується заміна пульта управління (ПУ) і поставляється АРМ з програмним забезпеченням під Windows 98, що виконує основні функції диспетчерського керування з виведенням графічної інформації за технологічними об'єктами.

Аналогічний пристрій розроблений на кафедрі для ілюстрації роботи телекомплекса «ГРАНІТ» з автоматичним датчиком нестандартних ситуацій на технологічних об'єктах (рис. 9.4).

### *Синтез типових алгоритмів функціонування цифрових регуляторів*

Задавшись бажаним алгоритмом функціонування цифрової системи в режимі отримання достатньо повної інформації про зміну регульованої величини - передаточною функцією еквівалентного безперервного регулятора  $W_p^{\text{жс}}(s)$ , можна визначити передаточну функцію цифрового регулятора  $W_p^*(z)$  з наближеної рівності

$$W_p^{\text{жс}}(s) \approx W_p^H(s, z) = \frac{1}{T} W_p^*(z) W_{\text{дм}}(s, z), \quad (9.3)$$

тобто

$$W_p^*(z) \approx \frac{TW_p^{\text{жс}}(s)}{W_{\text{дм}}(s, z)}. \quad (9.4)$$



Рисунок 9.4 – Навчальний варіант системи телекерування «ГРАНІТ»

Наближений характер отриманого за цією формулою рішення визначається тим, що ліва її частина залежить тільки від  $z$ , а права - і від  $z$  і від  $s$ . Для того, щоб скористатися відомими чисельними методами, перепишемо (9.4) так, щоб в лівій частині знаходилися члени, залежні тільки від  $z$ , а в правій - залежні тільки від  $s$ :

$$W_p^*(z) \cdot W_{\text{дм}}^*(z) \approx \frac{TW_p^H(s)}{W_{\text{дм}}^H(s)}, \quad (9.5)$$

де

$$W_{\text{дм}}^*(z) \cdot W_{\text{дм}}^H(s) \approx W_{\text{дм}}(s, z). \quad (9.6)$$

Далі можна визначити передаточну функцію  $K^*(z)$ , що приблизно реалізовує передаточну функцію в правій частині цієї формули, після чого передаточну функцію цифрового регулятора можна знайти з формули

$$W_p^*(z) = \frac{K^*(z)}{W_{\partial m}^*(z)}. \quad (9.7)$$

Зокрема, якщо демодулятор виконаний у вигляді фіксатора нульового порядку, то

$$W_{\partial m}^H(z) = \frac{z-1}{z} \quad (9.8)$$

і

$$W_{\partial m}^H(s) = \frac{1}{s} \quad (9.9)$$

у цьому випадку набуває наступного вигляду:

$$W_p^*(z) = \frac{z}{z-1} K^*(z), \quad (9.10)$$

де

$$K^*(z) = Ts W_p^{жс}(s). \quad (9.11)$$

**Реалізація типових I-, II-, III- і ПІД-алгоритмів функціонування регуляторів**

*I-алгоритм функціонування* буде отриманий, якщо в (9.11) підставити передаточну функцію

$$K^*(z) = Tk_u, \quad (9.12)$$

$$W_p^*(z) = \frac{Tk_u z}{z-1}. \quad (9.13)$$

*II-алгоритм функціонування.* Якщо в (9.11) підставимо передаточну функцію II-регулятора, то отримаємо

$$K^*(z) \approx k_n Ts. \quad (9.14)$$

*III-алгоритм функціонування* може бути реалізований підсумовуванням передавальних функцій цифрових I- і II-регуляторів. Так, якщо скористатися отриманими передавальними функціями (9.12) і (9.13), можна записати:

$$W_p^*(z) = k_n \frac{\left(1 + \frac{T}{T_u}\right)z - 1}{z - 1}, \quad (9.15)$$

$$\text{де } T_u = \frac{k_n}{k_u}.$$



Передаюча функція еквівалентного безперервного регулятора в цьому випадку визначатиметься наступним виразом:

$$W_p^H(s) = \frac{k_n}{Ts} \cdot \left( 1 + \frac{T}{T_u} - e^{-Ts} \right). \quad (9.16)$$

*ПД-алгоритм функціонування.* Підставивши в (9.11) вираз передаточної функції, отримаємо:

$$K^*(z) \approx k_n \left( \frac{T}{T_u} + Ts + T_\partial Ts^2 \right). \quad (9.17)$$

Якщо використовувати цифровий інтегратор з передаточною функцією, то

$$K^*(z) \approx k_n \frac{\left( \frac{T}{T_u} + 1 + \frac{T_\partial}{T} \right) z^2 - \left( 1 + 2 \frac{T_\partial}{T} \right) z + \frac{T_\partial}{T}}{z^2}, \quad (9.18)$$

$$W_p^*(z) = k_n \frac{\left( \frac{T}{T_u} + 1 + \frac{T_\partial}{T} \right) z^2 - \left( 1 + 2 \frac{T_\partial}{T} \right) z + \frac{T_\partial}{T}}{z(z-1)}. \quad (9.19)$$

Передаюча функція еквівалентного безперервного регулятора матиме вигляд

$$W_p^H(s) = \frac{k_n}{Ts} \cdot \left[ \left( \frac{T}{T_u} + 1 + \frac{T_\partial}{T} \right) - \left( 1 + 2 \frac{T_\partial}{T} \right) e^{-Ts} + \frac{T_\partial}{T} e^{-2Ts} \right]. \quad (9.20)$$

Аналогічним шляхом, створюючи моделі регуляторів, розробники прагнуть до отримання адекватної моделі з допустимою помилкою «технологічний компонент» системи регулювання, що описує.

### **Список літератури для самостійного пророблення матеріалу за даною темою**

1. Брюханов В.Н., Схиртладзе А.Г., Вороненко В.П. Автоматизация производства: Учеб. Для сред. проф. учеб. заведений / Под. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш.шк., 2005. – 367 с.
2. Николайчук О.И. Системы малой автоматизации. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.
3. Кабанов В.А. Микропроцессорные системы автоматизации: Учеб.пособие. / Под ред. А.И. Карякина. – М.: МЭИ, 1993. – 320 с.

# ТЕМА ЛЕКЦІЇ 10 ПРИНЦИПИ СКЛАДАННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

(2 год.)

## План лекції

1. Комп'ютерне проектування автоматизованих систем контролю, регулювання, сигналізації й діагностування на ТО комунального господарства.
2. Щити й пульти, електричні схеми, текстові документи.

## Короткий зміст. Основні поняття та терміни

Комп'ютерне проектування передбачає використання персональних комп'ютерів із спеціальними програмними продуктами для проектування САР будь-якої складності.

## Щити й пульти

Основне призначення щитів і пультів – централізація засобів контролю й керування виробничим процесом (машиною, технологічною установкою, цехом або комплексом цехів), які виконують функції постів керування і є сполучною ланкою між об'єктом керування й оператором.

Щити є вертикальні металеві панелі або шафи, на яких встановлюються і кріпляться прилади контролю і регулювання, сигнальні пристрої, мнемонічні схеми, накладні написи з поясненнями призначення окремих панелей і т.д. (рис. 10.1).

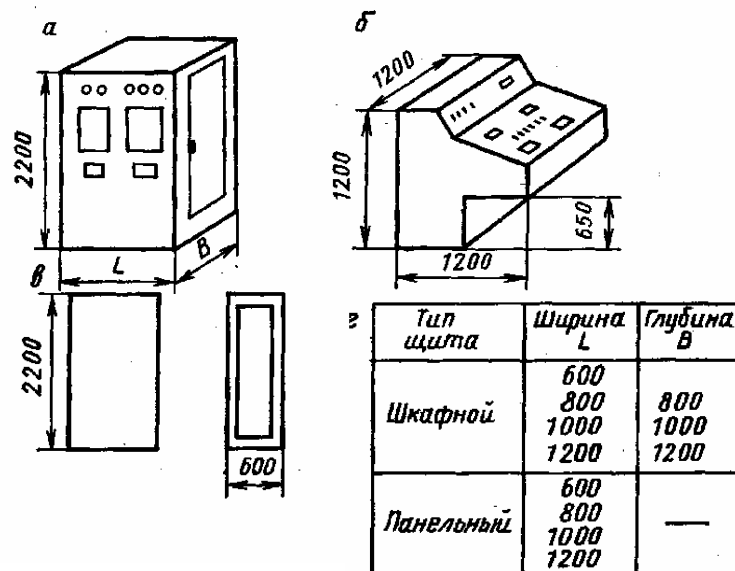


Рисунок 10.1 – Загальні вигляди шафового щита (а), пульта (б), розміри панельного щита (в) і розміри рекомендованих щитів (г)

Пульти – корпуси, що мають форму столу з похилою площиною (столешницею), які використовуються для розміщення на них апаратури керування, сигналізації і перемикачів вимірювальних ланцюгів.

За призначенням щити розділяються на місцеві, агрегатні, блокові й центральні.

*Місцевим* називають щит з приладами для керування індивідуальною установкою, який встановлюється поблизу цієї установки. Зазвичай на цих щитах встановлюються показуючі і реєструючі, рідше регулюючі прилади.

*Агрегатним* називають щит з апаратурою для керування одним агрегатом, групою однотипних агрегатів або для керування технологічними установками, розташованими в одному приміщенні.

*Блоковим* є щит, на якому розміщені прилади для керування взаємозв'язаними агрегатами, що блокуються в єдину комплексну установку (наприклад казан-турбіна).

*Центральним* називається щит, на якому встановлені прилади для керування технологічним процесом ТЕ або комплекс технологічно зв'язаних виробництв.

Окрім перерахованих, застосовуються допоміжні, релейні щити і щити живлення.

Щодо конструкції щити поділяють на шафові (повно- і малогабаритні) і панельні (повно- і малогабаритні), а пульти - на шафові, приставні і окремо стоячі.

*Шафові* застосовуються для установки в запилених приміщеннях, в умовах підвищеної вологості і при нагоді - механічних пошкоджень.

*Панельні* встановлюються в спеціальних щитових приміщеннях (диспетчерських, центральних і операторних пунктах керування).

В даний час все ширше використовуються панельні і шафові щити з каркасом, особливістю яких є металевий каркас, на якому кріпляться всі трубні й електричні проводки до приладів, панель з приладами. Це вирішення дозволяє уніфікувати елементи металоконструкцій (корпусів) щитів, полегшує виконання комутаційних операцій і т.д.

Всі основні частини конструкцій щитів, пультів і допоміжних елементів виготовляються із сталі 10КП (для приладових панелей, корпусів, каркасів – завтовшки 3 мм; для бічних і задніх стінок, дахів і полотен дверей – завтовшки 2 мм).

У щитах і пультах робляться вирізи під прилади і встановлюються деталі кріплення приладів і допоміжних пристроїв (скоби, кронштейни і т. д.).

На рисунку 10.1 наведені загальні види шафового щита (рис. 10.1а) і пульта (рис. 10.1б), габаритні розміри панельного щита (рис. 10.1в) і таблиця розмірів шафового і панельного щитів (рис. 10.1г).

Розміри щитів і пультів вибираються залежно від наступних даних: числа і розмірів апаратури, що встановлюється як зовні, так і всередині щитів і пультів; місць розташування; вимог техніки безпеки, призначення. За наявності приставного пульта на фасадному боці щитів розміщуються показуючі, самописні та реєструючі прилади, світлосигнальна апаратура, а також мнемосхеми.

*Мнемонічні схеми* є спрощеним графічним зображенням агрегатів, технологічних установок і зв'язків між ними. За відсутності пульта на

фасадному боці панелей щита (окрім перерахованої апаратури) встановлюються перемикачі до приладів контролю і керування.

На похилій панелі пульта поміщаються перемикачі вимірювальних приладів, оперативна апаратура керування й сигналізації, деякі показуючі прилади (амперметри, вольтметри і т. п.), що допускають установку в похилому положенні.

Прилади на щиті повинні розташовуватися в послідовності, визначуваній технологічним процесом, їх свідчення повинні розглядатися зліва направо або зверху вниз.

З метою економії місця, займаного щитом керування, скорочення його протяжності, захисту обслуговуючого персоналу від можливості дотику до відкритих струмоведучих частин, використовують збірні конструкції (рис. 10.2)

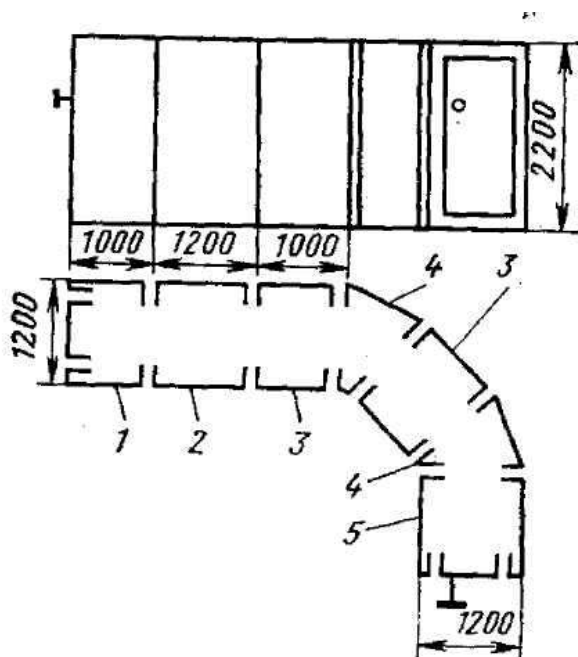


Рисунок 10.2 – Приклад поєднання щитів (фасад і план) для створення багатошафового Г-подібного щита:

*1 – шафовий щит з лівими дверима; 2, 3 – шафові щити відкриті з двох боків;  
4 – вставки кутові; 5 – шафовий щит з правими дверима*

У сучасних мікропроцесорних пристроях автоматизації більшість компонентів, пультів і щитів керування є інтерфейси керуючих програм на екранах кольорових моніторів. Приклад подібного інтерфейсу на рисунку 10.3.

#### **Текстові документи.**

Значне місце в проектній документації належить текстовим документам на виробі; вимоги до них і правила їх виконання встановлені згідно з ДСТ 2.105-68 і ДСТ 2.106-68.

Текстові документи підрозділяються на документи, що містять в основному суцільний текст (технічні описи, паспорти, розрахунки, записки пояснень, інструкції і т. п.) і документи, що містять текст, розбитий на графи (специфікації, відомості, таблиці і т. п.).

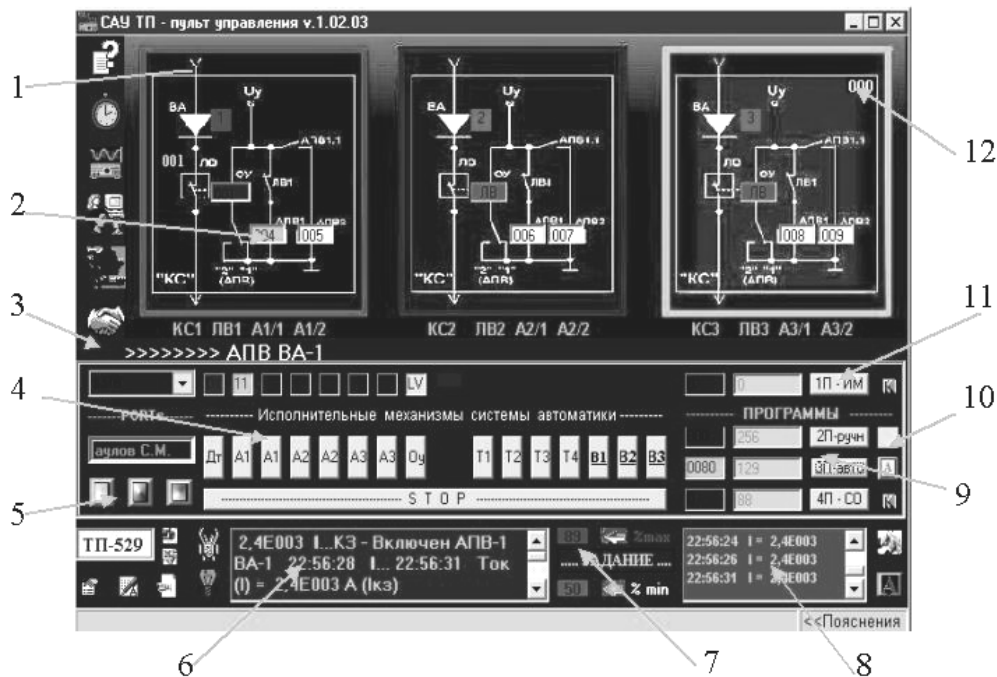


Рисунок 10.3 – Интерфейс програми керування ТО:

1 – оперативна схема ТО; 2 – параметри настройки; 3 - індикатор виконання етапів програми; 4 – кнопки керування; 5 – кнопки активації програми керування; 6 – електронний журнал; 7 – задатчик САР; 8 – вікно контролю параметра; 9 – вибір програми; 10 – кнопки пуску програм; 11 – програма тестування обладнання; 12 – лічильник аварійних ситуацій

До складу текстових документів входять:

- ✓ відомості специфікацій;
- ✓ відомості посилальних документів (перерахування документів, на які є посилання в конструкторських документах виробу, наприклад, республіканські, галузеві стандарти і стандарти підприємств, керівні технічні матеріали і т. д.);
- ✓ відомості купувальних виробів (що не виготовляють на даному підприємстві, а отримують в готовому вигляді);
- ✓ відомості технічної пропозиції;
- ✓ відомості ескізного проекту;
- ✓ відомості технічного проекту;
- ✓ записка пояснення;
- ✓ програма і методика випробувань;
- ✓ розрахунки.

*Відомість специфікації.*

До неї записують: специфікацію виробу, специфікацію складових частин виробу, специфікацію комплектів. Відомість специфікацій заповнюють за розділами в наступній послідовності: спочатку складальні одиниці, потім комплекти. До розділу «Складальні одиниці» заносять специфікації складальних одиниць, що входять до складу виробу, а до розділу «Комплекти» -

До відомостей «Технічної пропозиції», «Ескізного проекту» і «Технічного проекту» записують всі конструкторські документи, знов розроблені для даної технічної пропозиції.

[illegible]

Слід зазначити, що при практичному виконанні принципових електричних схем підключення пускової й сигнальної апаратури до телемеханічного пристрою, а також для підключення виконавчих цілей готуються додаткові схеми для кожного компоненту окремо, супроводжувані докладним описом їх роботи.

1. Антипенский Р.В., Фадин А.Г. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
2. Бабічева О.Ф., Єсаулов С.М. Комп'ютерне проектування електромеханічних пристроїв: Навчальний посібник з дисципліни «Автоматизоване проектування електромеханічних систем» (для студентів 5 – 6 курсів спец. 7.092203, 8.092203 – «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод») – Х.: ХНАМГ, 2008. – 246 с.
3. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств. / Под ред. О.В. Алексеева. Учеб.пособие для вузов. – М.: Высш.шк., 2000. – 479 с.

## ТЕМА ЛЕКЦІЇ 11 ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ САР

(2 год.)

### *План лекції*

1. Забезпечення надійності засобів автоматики.
2. Характеристики експлуатаційної надійності.
3. Методи підвищення надійності систем автоматики.

### *Короткий зміст. Основні поняття та терміни*

#### *Забезпечення надійності пристроїв автоматики*

Великі економічні втрати через відмови в системах керування, а також строгі вимоги щодо безпеки на ТО змушують приділяти особливу увагу створенню науково обґрунтованої організації експлуатації сучасних мікропроцесорних пристроїв (МПП) на підприємствах комунального господарства.

У загальному випадку можна виділити наступні види обслуговування МПП: зберігання; монтаж та налагодження на місці експлуатації; введення в експлуатацію; обслуговування під час нормальної роботи; планово-профілактичні роботи; усунення несправностей (ремонт); обслуговування програмного забезпечення та баз даних.

#### *Характеристики експлуатаційної надійності*

Висновок про реальні можливості пристрою керування на базі МП можна зробити лише з урахуванням характеристик його експлуатаційної надійності.

*Надійність* – є властивість системи (або МПП) зберігати свої параметри в часі в заданих межах в певних умовах експлуатації. Надійність насамперед є функцією часу. Через деякий інтервал часу може статися подія, після якої система не виконуватиме своїх функцій у заданому об'ємі і вийде з ладу. Відмова – це подія, що полягає в частковій або повній втраті працездатності виробу. Відмови бувають повні й переміжні.

За характером зміни вихідних параметрів систему відмови ділять на поступові й раптові. Відмови можуть бути також передбачуваними або випадковими.

Безвідмовність системи керування на базі МП та МПП характеризують середнім часом  $T_k$  напрацювання на відмову:

$$T_k = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}, \quad (11.1)$$

де  $t_1$  – час роботи до першої відмови;

$t_2$  – час роботи між першою і другою відмовами;

$t_n$  – час роботи між  $n-1$  та  $n$ -ю відмовами;  $n$  – число відмов.

Інтенсивність потоку відмов є середнім числом відмов в одиницю часу:

$$\lambda = \frac{1}{T_c}. \quad (11.2)$$

Типова крива параметра  $\lambda$  має вигляд, показаний на рисунку 11.1.

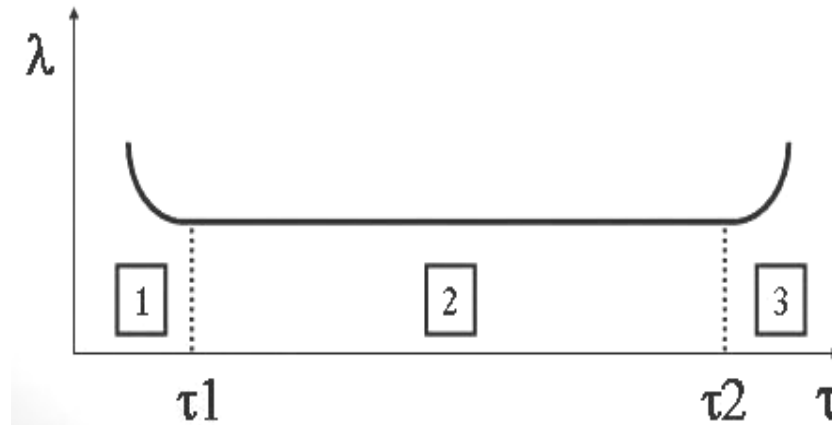


Рисунок 11.1 – Графік зміни інтенсивності потоку відмов системи

Для цієї кривої характерні три періоди: 1 – період пропрацювання; 2 – період нормальної роботи; 3 – період спрацювання та старіння.

Для періоду нормальної роботи, коли відмови мають випадковий характер і  $\lambda = \text{const}$ , ймовірність безвідмовної роботи протягом періоду часу  $t$  можна визначити за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\{t/T_c\}}. \quad (11.3)$$

Якщо тривалість інтервалів між відмовами є випадковою величиною, яка має експоненційний розподіл, то ймовірність, що за час  $t$  відбудеться рівно  $k$  подій визначається виразом

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (11.4)$$

**Збій** – це короткочасне самоусуване порушення нормального функціонування системи або пристрою внаслідок дії на деякі елементи зовнішніх перешкод. Через збої виникає перекручення інформації.

#### **Методи підвищення надійності мікропроцесорних керуючих систем автоматики**

Резервування застосовують у випадках, коли треба забезпечити високий рівень надійності (насамперед безвідмовності) системи при недостатньо



надійних її елементах. У залежності від виду використовуваної надмірності розрізняють структурне, інформаційне, часове та функціональне резервування.

*Структурне* – це резервування з використанням додаткових елементів структури системи. Резервні елементи приймають на себе функції основних елементів у разі відмови останніх.

*Інформаційне* – це резервування з використанням резервів інформації. Цей вид резервування застосовують, коли виникнення відмови або збою призводить до втрати або перекозчення деякої частини інформації, яку обробляють або переказують.

*Часове* – це резервування з використанням резервів часу. Структура системи і характер її функціонування у цьому випадку такі, що відмови та збої протягом деякого обмеженого часу не порушують роботи системи, а цей час відводять на ремонт елементів, що вийшли з ладу, або забезпечують багаторазове вирішення задачі за тією самою програмою.

*Функціональне* – це резервування з використанням функціональних резервів. Суть його полягає в тому, що при відмові одних елементів інші починають виконувати й додаткові для себе функції елементів, що відмовили.

Найбільш поширеним є структурне резервування. Розрізняють два його види: загальне й окреме (поелементне), див. рисунок 11.2.

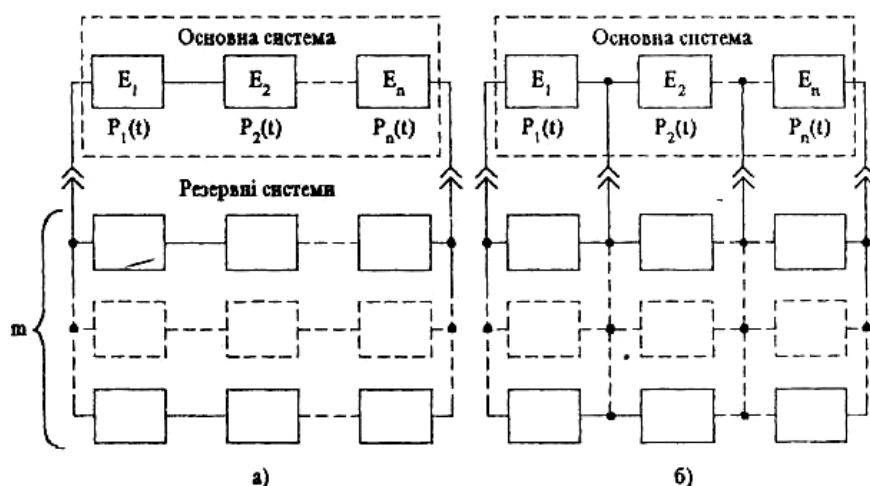


Рисунок 11.2 – Схеми структурного резервування:  
а) загальне; б) поелементне

Коли припустити, що резервні й резервовані елементи одного й того ж функціонального призначення мають однакові ймовірності безвідмовної роботи, то для всього з'єднання при загальному резервуванні

$$P_3(t) = 1 - \left[ 1 - \prod_{i=1}^n p_i(t) \right]^{m+1}, \quad (11.5)$$

а при поелементному

$$P_n(t) = \prod_{i=1}^n \{ 1 - [1 - p_i(t)]^{m+1} \}. \quad (11.6)$$

*Приклад:* мікропроцесорний вимірювальний пристрій складається з послідовно з'єднаних трьох блоків: датчика, мікропроцесорного блоку і блоку відображення інформації, ймовірність безвідмовної роботи яких дорівнює відповідно  $p_1(t) = 0,850$ ;  $p_2(t) = 0,980$ ;  $p_3(t) = 0,950$ .

Зробити розрахунок і порівняти ймовірність безвідмовної роботи всього з'єднання при загальному й поелементному резервуванні вимірювального приладу однією резервною системою.

При загальному резервуванні за формулою (11.5) маємо:

$$P_3(t) = 1 - [1 - p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot p_3(t)]^{m+1} = 1 - [1 - 0.850 \cdot 0.980 \cdot 0.950]^2 = 0.956. \quad (11.7)$$

При поелементному резервуванні за формулою (11.6) визначимо:

$$P_n(t) = \{1 - [1 - p_1(t)]^{m+1}\} \cdot \{1 - [1 - p_2(t)]^{m+1}\} \cdot \{1 - [1 - p_3(t)]^{m+1}\} = \\ = [1 - (1 - 0.850)^2] \cdot [1 - (1 - 0.980)^2] \cdot [1 - (1 - 0.950)^2] = 0.975 \quad (11.8)$$

Розрахунок показує, що надійність системи з поелементним резервуванням вища, ніж із загальним.

Поелементне резервування має перевагу з економічної точки зору, тому що будь-яка система містить в собі деяке число елементів, надійність яких значно вища надійності решти елементів. Тому резервування елементів з високою надійністю недоцільне.

Для підвищення надійності однопроцесорних керуючих систем застосовують додаткові апаратні й програмні засоби для виявлення помилок, що з'явилися внаслідок збоїв, за рахунок часової надмірності. Часткове розпізнавання і повне коригування наслідків збоїв виконується спеціальною підпрограмою контролю та діагностування. При цьому обчислювальний процес поділяють на окремі ділянки і на початку кожної з них виконують дану підпрограму, що забезпечує повторення цієї ділянки, якщо на ній було зафіксовано збій. Повторення цієї ділянки основної програми і є коригування обчислювального процесу.

Якщо керуюча система має один процесор, то його відмова призведе до відмови всієї системи. Для забезпечення надійності такої системи необхідно ввести структурну надмірність, внаслідок чого керуюча система стає багатопроцесорною.

Наприклад, у двопроцесорній керуючій системі можливі три варіанти функціонування:

1) один процесор є ведучим, а другий знаходиться у навантаженому резерві. У разі відмови ведучого процесора організується переключення на резервний процесор і обчислювальний процес затримується на період становлення факту відмови і виконання переключення;

2) обидва процесори виконують обчислювання паралельно один одному за одним алгоритмом. При виникненні відмови одного з процесорів час на переключення не витрачається і затримки обчислювального процесу не буде;

3) обчислювання виконується одночасно на двох процесорах, але за різними напрямками розпаралеленого алгоритму. Це значно підвищує швидкість обчислювання, але потребує додаткових апаратних і програмних засобів. Якщо виникає відмова одного процесора, то обчислення може продовжити другий процесор, але швидкість обчислювання стає значно меншою.

Надійність керуючої системи значною мірою обумовлена надійністю програмного забезпечення. Утрата або пропускання команд, невірне їх виконання може призвести до повної або часткової відмови керуючої системи. Основою створення надійного програмного забезпечення є введення резервування, виявлення моменту програмної відмови або збою і повернення до відповідної ділянки програми, де відмови ще не було (рисунк 11.3).



Рисунок 11.3 – Структура програмного забезпечення, стійкого до відмов

Для виключення одночасної програмної відмови основні й резервні алгоритми повинні використовувати різні схеми обчислювання.

### *Організація технічного обслуговування МПП*

У системах керування, де пристроєм обробки інформації є мікропроцесор, найбільш часто відмови виникають у периферійному обладнанні (датчиках, виконавчих пристроях, приладах масової пам'яті та відображення інформації), у блоках електроживлення, в елементах з електромеханічними контактами та в контактних з'єднаннях (конвекторах). Тому є важливим своєчасне проведення технічного обслуговування або профілактичних робіт, під час яких виявляють пристрої, блоки й елементи з параметрами, наближеними до граничних і котрі замінюють або регулюють.

*Технічне обслуговування (ТхО)* – комплекс операцій або видів робіт по підтриманню роботоздатності або справності технічних засобів при їх використанні за призначенням, зберіганні або транспортуванні.

Організація ТхО передбачає підготовку обслуговуючого персоналу, планування та проведення робіт з ТхО, забезпечення персоналу запасними частинами, інструментами, приладдям і матеріалами, систематичне ведення відповідної експлуатаційної документації.

Для технічних засобів керуючих систем періодичність ТхО заснована на календарному принципі, що передбачає проведення робіт з ТхО після проходження певного терміну (доба, тиждень, місяць, квартал, півріччя, рік), незалежно від інтенсивності використання пристроїв та їх напрацювання.

ТхО здійснюється шляхом періодичної перевірки всіх пристроїв системи з метою визначення їх роботоздатності і виявлення несправностей. При цьому, перевірки підлягають як працюючі пристрої, так і пристрої, що зберігаються на складі.

*Ремонтпридатність МП або МПП* – це ступінь пристосування пристрою до попередження, виявлення та усунення відмов, вимірюється середнім часом відновлення працездатності після відмови.

Коефіцієнт використання МПП визначають за формулою

$$k_{\epsilon} = \frac{T_c}{T_c + t_{\epsilon} + t_n}, \quad (11.9)$$

де  $t_{\epsilon}$  – середній час відновлення працездатності (ремонт);

$t_n$  – середній час профілактичних робіт на одну відмову.

*Коефіцієнт готовності* пристрою або системи показує відношення середнього часу справної роботи до середнього часу відновлення пристрою:

$$k_r = \frac{T_c}{T_c + t_{\epsilon}}. \quad (11.10)$$

Прийнято, що під час ТхО відбувається повне відновлення надійності пристрою або системи. ТхО виконується через рівні проміжки часу  $T_n$ , причому тривалість ТхО повинна бути набагато менша, ніж  $T_n$ .

*Середній час безвідмовної роботи* для систем з ТхО (профілактикою) визначається за рівнянням

$$T_{cn} = \frac{T_n}{1 - P(T_n)}, \quad (11.11)$$

де  $T_n$  – періодичність профілактичних робіт;

$P(T_n)$  – ймовірність безвідмовної роботи пристрою за період між ТхО.

З урахуванням періодичності ТхО у відповідному підрозділі підприємства, що забезпечує експлуатацію мікропроцесорних керуючих систем, складають календарний графік ТхО.

Основними видами робіт з ТхО є перевірка працездатності пристроїв, їх внутрішній та зовнішній огляд з очищенням та кріпленням усіх контактів, фарбування корпусів приладів, якщо вони знаходяться під дією агресивного середовища. При виявленні відмов у роботі пристроїв проводять поточний ремонт методом заміни несправного блока з його наступним ремонтом у спеціальній майстерні.

Для проведення ТхО МП використовують спеціальну контрольно-діагностичну апаратуру.

При проведенні ТхО ведуть відповідну документацію, до якої вносять запис щодо змісту робіт і параметри стану технічних засобів, вказують дані осіб, які виконують ТхО. Основним документом є картка обліку, яку оформляють на кожний пристрій системи. Для МПП або МП оформляють журнал обліку, в якому фіксують всі відмови та збої, що виникають під час експлуатації, дані щодо проведення профілактичних та ремонтних робіт. На основі цих даних коригують плани і уточнюють методику проведення ТхО з метою підвищення надійності окремих пристроїв і керуючої системи в цілому.

***Список літератури для самостійного пророблення матеріалу  
за даною темою***

1. Брюханов В.Н., Схиртладзе А.Г., Вороненко В.П. Автоматизация производства: Учеб. Для сред. проф. учеб. заведений / Под. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш.шк., 2005. – 367 с.
2. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1995. – 511 с.

*Навчальне видання*

**ЄСАУЛОВ Сергій Михайлович**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ТА УСТАНОВОК**

*(для студентів 5 – 6 курсів усіх форм навчання  
за спеціальностями 7.05070204, 8.05070204 – «Електромеханічні системи  
автоматизації та електропривод»)*

Відповідальний за випуск: *О. Ф. Бабічева*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2014 поз.54Л

---

Підп. до друку 23.06,2014  
Друк на ризографі.  
Зам. №

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 4,6  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК №4705 від 28. 03. 2014 р.