

**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

**Автоматизовані системи управління технологічними  
процесами в гірничо-металургійному  
виробництві**

**конспект лекцій з дисципліни  
«АСУТП в гірничо-металургійному виробництві»**

*для здобувачів вищої освіти спеціальності 151  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої  
освіти*

*Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол №1 від «20» вересня 2022 р.)  
Обов'язково до розміщення в репозиторії*

Запоріжжя 2022

**mip** metinvest  
polytechnic



Автоматизовані системи управління технологічними процесами у гірничо-металургійному виробництві: конспект лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи управління технологічними процесами у гірничо-металургійному виробництві» (для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти). / Уклад. О. І. Сімкін. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2022. 183 с.

Конспект лекцій присвячено важливим питанням побудови, проектування та експлуатації АСУТП. за рахунок чого у здобувача формується цілісне уявлення про склад та структуру усіх видів забезпечення АСУТП в гірничо-металургійному виробництві. Це дозволяє, з одного боку, підготувати майбутнього фахівця до самостійної постановки та вирішення основних задач автоматизації, а з іншого – навчити проектувати та супроводжувати автоматизовані системи управління технологічними процесами.

Рекомендовано для студентів спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти, а також студентів, що вивчають цей курс як дисципліну вільного вибору.

*Самостійне електронне текстове мережеве видання*

Затверджено на засіданні кафедри  
Організації та автоматизації виробництва  
Протокол № 1 від «13» вересня 2022 р.

Узгоджено:

Секретар Редакційної ради

Малій Х. В.

«16» вересня 2022 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2022



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>ЛЕКЦІЯ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСУТП</b> .....	10
1.1 Терміни та визначення.....	10
1.2 Узагальнена схема АСУТП .....	11
1.3 Класифікація функцій АСУТП. Інші терміни та визначення .....	12
1.4 Функції АСУТП.....	14
1.5 Режими роботи АСУТП.....	15
<b>ЛЕКЦІЯ 2. КЛАСИФІКАЦІЯ АСУТП</b> .....	18
2.1 Способи класифікації АСУТП .....	18
2.2 Класифікації за рівнем в організаційно-виробничій ієрархії, за характером протікання технологічного процесу та інформаційної потужності .....	18
2.3 Класифікації за рівнем функціональної надійності АСУТП і рівню функціонування .....	20
2.4 Класифікації за принципом розподілу функцій реалізації керуючих впливів, за критерієм складності об'єктів управління і по функціонально-алгоритмічною ознакою .....	21
<b>ЛЕКЦІЯ 3. КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ АСУТП</b> .....	25
3.1 Особливості систем цифрового управління.....	25
3.2 Концепція побудови АСУТП .....	28
3.3 Апаратна платформа контролерів .....	31
3.4 Операційна система PC-контролерів .....	32
3.5 Засоби технологічного програмування контролерів.....	33
<b>ЛЕКЦІЯ 4. СТАДІЇ СТВОРЕННЯ АСУТП І ОСНОВНІ ЕТАПИ СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО І ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b> .....	35
4.1 Стадії створення АСУТП.....	35
4.2 Основні роботи, що передують проєктування програмного забезпечення.....	36
4.3 Основні стадії розробки програм і програмної документації.....	37
4.4 Розробка математичних моделей.....	40
<b>ЛЕКЦІЯ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП</b> .....	42
5.1 Технічне завдання на розробку СПІЗ.....	42
5.2 Технічний проєкт СПІЗ .....	43
5.3 Зміст пояснювальної записки СПІЗ .....	44
<b>ЛЕКЦІЯ 6. ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП</b> .....	52
6.1 Програми і програмні документи СПІЗ.....	52
6.2 Документи на програми і комплекси програм .....	54
6.3 Керівництва програміста і чергового інженера/оператора АСУТП .....	57
6.4 Порядок і методика випробувань .....	58



6.5 Організація розробки основних документів .....	59
<b>ЛЕКЦІЯ 7. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП .....</b>	<b>61</b>
7.1 Загальні положення.....	61
7.2 Схеми зв'язку з датчиками (про параметри ТП) .....	62
7.3 Особливості використання сигналів струму та напруги .....	64
<b>ЛЕКЦІЯ 8. КОМПОНЕНТИ ІНТЕРФЕЙСУ МІЖ ПРОЦЕСОМ І КЕРУЮЧИМ КОМП'ЮТЕРОМ (КОНТРОЛЕРОМ).....</b>	<b>67</b>
8.1 Датчики .....	67
8.2 Виконавчі пристрої (механізми).....	68
8.3 Смуга пропускання та шум. Передавання вимірних сигналів .....	69
8.4 Характеристики датчиків .....	70
<b>ЛЕКЦІЯ 9. ДИНАМІЧНІ І СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКІВ .....</b>	<b>73</b>
9.1 Динамічні характеристики датчиків.....	73
9.2 Статичні характеристики датчиків .....	74
9.3 Вплив нелінійності .....	75
9.4 Характеристики імпедансів.....	76
<b>ЛЕКЦІЯ 10. БІНАРНІ І ЦИФРОВІ ДАТЧИКИ .....</b>	<b>77</b>
10.1 Використання бінарних і цифрових датчиків.....	77
10.2 Датчики положення .....	77
10.3 Порогові датчики .....	80
10.4 Цифрові та інформаційно-цифрові датчики.....	81
<b>ЛЕКЦІЯ 11. ІНШІ ВИДИ ДАТЧИКІВ .....</b>	<b>83</b>
11.1 Аналогові датчики .....	83
11.2 Датчики руху.....	84
11.3 Датчики сили, моменту та тиску .....	85
11.4 Датчики наближення .....	86
<b>ЛЕКЦІЯ 12. УЗГОДЖЕННЯ І ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛІВ .....</b>	<b>88</b>
12.1 Загальні зауваження .....	88
12.2 Електричні перешкоди.....	88
12.3 Сигнальне заземлення .....	91
12.4 Вибір носія сигналу: напруга або струм .....	93
<b>ЛЕКЦІЯ 13. БІНАРНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ, КЕРОВАНІ ВИМИКАЧІ І ОБЛАШТУВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ З ОБ'ЄКТОМ .....</b>	<b>96</b>
13.1 Бінарні (двопозиційні) виконавчі механізми.....	96
13.2 Керовані вимикачі.....	96
13.3 Пристрої зв'язку (сполучення) з об'єктом.....	99
<b>ЛЕКЦІЯ 14. АЛГОРИТМІЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ І ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ .....</b>	<b>104</b>



14.1	Призначення алгоритмів контролю .....	104
14.2	Аналітична градування (масштабування) і корекція показників датчиків ...	105
14.3	Фільтрація і згладжування .....	107
<b>ЛЕКЦІЯ 15. ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ. ІНШІ ВИДИ ОБРОБКИ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ .....</b>		
15.1	Цифрові фільтри низької частоти .....	109
15.2	Цифрові фільтри низької частоти високих порядків .....	111
15.3	Достовірність вихідних даних і аварійна сигналізація .....	113
15.4	Інтерполяція і екстраполяція .....	114
15.5	Статистична обробка експериментальних даних .....	115
<b>ЛЕКЦІЯ 16. ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП .....</b>		
16.1	Особливості об'єктів автоматизації чорної металургії .....	117
16.2	АСУТП як система функціональних задач .....	118
16.3	Фактори, що визначають якість спеціального програмного забезпечення .....	118
16.4	Основні вимоги та структура СПЗ АСУТП .....	120
16.5	Основні підсистеми СПЗ АСУТП .....	121
<b>ЛЕКЦІЯ 17. ПРИНЦИПИ ПРОЄКТУВАННЯ КОРИСТУВАЛЬНИЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ .....</b>		
17.1	Основні вимоги .....	127
17.2	Дизайн операторського інтерфейсу .....	129
17.3	Види відеокадрів АСУТП .....	130
<b>ЛЕКЦІЯ 18. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАДІЙНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ .....</b>		
18.1	Загальні відомості про надійність автоматизованих систем .....	133
18.2	Кількісні значення надійності .....	134
18.3	Відновлюваність систем автоматизації .....	135
18.4	Готовність систем .....	137
<b>ЛЕКЦІЯ 19. ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....</b>		
19.1	Загальні зауваження .....	138
19.2	Показники надійності .....	139
19.3	Показники надійності відновлюваних систем .....	144
<b>ЛЕКЦІЯ 20. ПРИНЦИПИ ОПИСУ НАДІЙНОСТІ АСУТП. ВІДМОВИ АС .....</b>		
20.1	Складові частини надійності АСУТП. Відмови .....	148
20.2	Імовірнісна оцінка. Вплив відмов .....	149
20.3	Надійність АСУТП в цілому .....	151
<b>ЛЕКЦІЯ 21. НАДІЙНІСТЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП .....</b>		
21.1	Загальні відомості про надійність програмного забезпечення .....	153
21.2	Випадкові і невідповідні відмови. Збої програмного забезпечення .....	154



21.3 Надійність програмного забезпечення .....	155
<b>ЛЕКЦІЯ 22. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АСУТП .....</b>	<b>158</b>
22.1 Загальна характеристика умов роботи автоматичних систем .....	158
22.2 Підвищення надійності АСУТП при проєктуванні .....	161
22.3 Підвищення надійності при експлуатації .....	163
<b>ЛЕКЦІЯ 23. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП .....</b>	<b>168</b>
23.1 АСУТП як об'єкт метрологічного забезпечення .....	168
23.2 Загальні принципи організації робіт з метрологічного забезпечення АСУТП .....	170
23.3 Метрологічна атестація АСУТП .....	171
<b>ЛЕКЦІЯ 24. ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА АСУТП .....</b>	<b>174</b>
24.1 Загальні зауваження. Мета і засоби інформаційної безпеки АСУТП .....	174
24.2 Безпека периметра мережі .....	175
24.3 Захист робочих станцій и управління обліковими записами .....	176
24.4 Служба захисту та поновлення безпеки .....	177
24.5 Створення резервних копій та відновлення. Моніторинг безпеки та оцінка ризиків .....	178
24.6 Стандарти інформаційної безпеки АСУТП .....	179
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>181</b>
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>182</b>



## ВСТУП

Дисципліна «АСУТП в гірничо-металургійному виробництві» є нормативною для студентів, що навчаються за освітніми програмами магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології». Цей курс – заключний в комплексі спеціальних дисциплін вищеназваних спеціальностей. Він закладає основні питання функціонування АСУТП і повинен підготувати студентів до самостійної постановки та вирішення основних завдань автоматизації на ЕОМ, глибшого розуміння завдань проектування та супроводу автоматизованих систем управління технологічними процесами

Мета викладання дисципліни – дати майбутньому фахівцю базові знання про структуру, технічні засоби і програмного забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами. Глибоке знання предмета є необхідною умовою практичної діяльності магістра з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Матеріал дисципліни базується на знаннях, одержаних студентом при вивченні багатьох природних та спеціальних дисциплін бакалаврської підготовки та використовується при виконанні курсового проекту, магістерської роботи, практичної діяльності.

В якості основних результатів навчання очікуються:

- Загальні поняття про методи вимірювання та вимірювальні прилади, а також про професійні методи дослідження, контролю та управління за процесами у гірничо-металургійній галузі;
- Знання класифікації систем управління, послідовність проектування комплексу технічних засобів (КТЗ) та комплексу програмного забезпечення (КПЗ) АСУТП;
- Знання типових структур побудови КТЗ та КПЗ АСУТП;
- Знання основ інформаційного забезпечення АСУТП;
- Знання структуру спеціального програмного забезпечення, основні підсистеми, їх взаємодію;
- Орієнтування в основних питаннях метрологічного забезпечення АСУТП;
- Оволодіння основами експлуатації технічного та програмного забезпечення систем автоматизації;
- Знання обов'язків основних категорій обслуговуючого персоналу (черговий інженер АСУТП, інженер-програміст, інженер-електронік, слюсар КВПіА та ін.);
- Знання основ методології статистичної обробки результатів та планування експерименту.
- Оволодіння основами ефективності, безпеки, діагностики, відновлення, моніторингу та оптимізації роботи АСУТП;
- Орієнтування у системі наукових знань та оволодіння методологічними основами проведення наукових досліджень на



- підприємстві;
- Вміння супроводжувати технічне та програмне забезпечення АСУТП;
  - Вміння складати технологічне та технічне завдання на розробку АСУТП;
  - Вміння складати блок-схеми і програми, що використовуються в системах автоматизації (верхній рівень АСУТП);
  - Вміння за допомогою спеціальних програмних засобів виконати пошук помилок щодо функціонування технічних засобів та програмного забезпечення АСУТП;
  - Надбання уявлень та базових навиків написання наукових та освітньо-наукових кваліфікаційних праць: статей, монографій, наукових доповідей і повідомлень, рефератів, курсових робіт, магістерської роботи.

Таблиця відповідності програмних результатів вивчення дисципліни компетентностям та програмним результатам, визначеним освітніми програмами, для яких ця дисципліна є обов'язковою

ОПП	Компетентності	ПРН
Інтелектуальн і системи управління в гірничо-металургійно му виробництві	<p>K1. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>K3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p>K4. Здатність працювати в міжнародному контексті.</p> <p>K5. Здатність здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням баз даних, баз знань, методів штучного інтелекту, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв;</p> <p>K6. Здатність проектувати та впроваджувати високонадійні системи автоматизації та їх прикладне програмне забезпечення, для реалізації функцій</p>	<p>РН01. Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв.</p> <p>РН02. Створювати високонадійні системи автоматизації з високим рівнем функціональної та інформаційної безпеки програмних та технічних засобів.</p> <p>РН03. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій для розв'язування складних задач професійної діяльності.</p> <p>РН05. Розробляти комп'ютерно-інтегровані системи управління складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, застосовуючи системний</p>



ОПП	Компетентності	ПРН
	<p>управління та опрацювання інформації, здійснювати захист прав інтелектуальної власності на нові проектні та інженерні рішення</p> <p>K8. Здатність аналізувати виробничо-технологічні системи і комплекси як об'єкти автоматизації, визначати способи та стратегії їх автоматизації та цифрової трансформації.</p> <p>K10. Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами.</p> <p>K12. Здатність розробляти функціональну, технічну та інформаційну структуру комп'ютерно-інтегрованих систем управління організаційно-технологічними комплексами із застосуванням мережевих та інформаційних технологій, програмно-технічних керуючих комплексів, промислових контролерів, мехатронних компонентів, робототехнічних пристроїв та засобів людино-машинного інтерфейсу.</p> <p>K14. Здатність забезпечувати розробку, застосування та експлуатацію цифрових систем, що функціонують на виробництві та в науковій сфері.</p>	<p>підхід із врахуванням нетехнічних складових оцінки об'єктів автоматизації.</p> <p>РН06. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів.</p> <p>РН07. Аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації.</p> <p>РН08. Застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв.</p> <p>РН09. Розробляти функціональну, організаційну, технічну та інформаційну структури систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.</p> <p>РН10. Розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами.</p> <p>РН14. З використанням середовищ програмування та спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизації розробляти алгоритмічне та програмне забезпечення підсистем верхнього рівня АСУТП.</p>



## ЛЕКЦІЯ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСУТП

### План

- 1.1 Терміни та визначення
- 1.2 Узагальнена схема АСУТП
- 1.3 Класифікація функцій АСУТП. Інші терміни та визначення
- 1.4 Функції АСУТП
- 1.5 Режими роботи АСУТП

### 1.1 Терміни та визначення

*Автоматизована система управління (АСУ) – людино-машинна система, що забезпечує автоматизований збір і обробку інформації, необхідної для оптимізації управління в різних сферах людської діяльності.*

*Автоматизовані системи управління технологічними процесами (далі – АСУТП) призначені для вироблення і реалізації керуючих впливів на технологічний об'єкт управління (далі – ТОУ) відповідно до прийнятого критерію управління і являють собою людино-машинні системи, що забезпечують автоматизований збір і обробку інформації, необхідної для оптимізації роботи цього об'єкта.*

Технологічний об'єкт управління (ТОУ) – це сукупність технологічного обладнання та реалізованого на ньому за відповідними інструкціями чи регламентами технологічного процесу виробництва. Залежно від рівня АСУТП як ТОУ можна розглядати: технологічні агрегати і установки, групи верстатів, окремі виробництва (цехи, дільниці), що реалізують самостійний технологічний процес; виробничий процес за все промислового підприємства, якщо керування ним полягає в раціональному виборі та погодження режимів роботи агрегатів, ділянок і виробництв.

Спільно функціонуючі ТОУ і керуюча ним АСУТП утворюють автоматизований технологічний комплекс (АТК).

АСУТП є приватним видом систем управління, які представляють, в свою чергу, особливий клас систем, що характеризуються наявністю самостійних функцій і цілей управління і необхідної для реалізації цього спеціальної системної організацією. Ступінь досягнення поставлених цілей прийнято характеризувати за допомогою критерію управління. Критерієм може бути техніко-економічний показник, наприклад, собівартість вихідного продукту при заданій якості, продуктивність ТОУ при заданій якості вихідного продукту, технологічні показники-параметри процесу, характеристики вихідного продукту і т. п.



## 1.2 Узагальнена схема АСУТП

Визначення АСУТП як системи відрізняється від класичного визначення системи управління з теорії автоматичного управління, згідно з яким система автоматичного управління - це сукупність об'єкта управління та регулятора. У цьому сенсі поняття АТК підпадає під класичне визначення системи управління, де в ролі об'єкта виступає ТОО, а в ролі регулятора-АСУТП. Узагальнена блок-схема АСУТП зображена на рис. 1.1.

Сформульоване вище визначення підкреслює:

по-перше, наявність у складі АСУТП сучасних автоматичних засобів збору і переробки інформації, в першу чергу засобів обчислювальної техніки;

по-друге, роль людини в системі як суб'єкта праці, що приймає змістовну участь у виробленні рішень з управління;

по-третє, що АСУТП – це система, що здійснює переробку технологічної та техніко-економічної інформації.

Ще одна важлива ознака АСУТП – це здійснення управління в темпі протікання технологічного процесу, тобто в реальному масштабі часу.

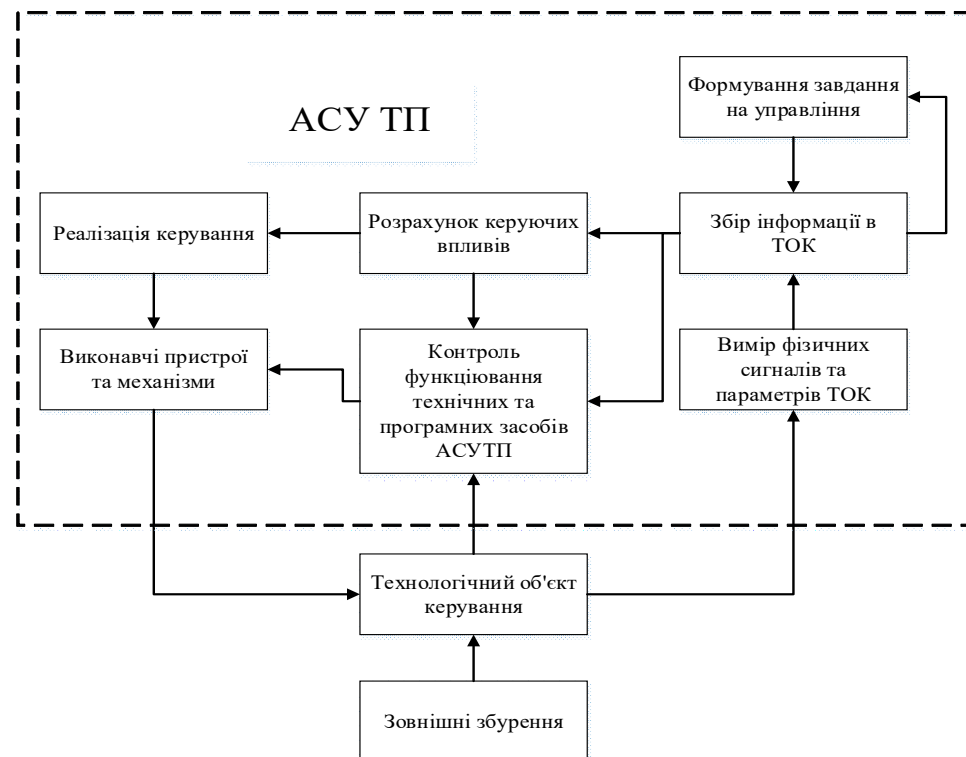


Рисунок 1.1 – Узагальнена блок-схема АСУТП

АСУТП як компонент загальної системи управління промисловим підприємством (АСУП) призначена для цілеспрямованого ведення



технологічних процесів і забезпечення суміжних і вищих систем управління оперативної та достовірної техніко-економічною інформацією. АСУТП, створені для об'єктів основного і допоміжного виробництва, представляють низовий рівень автоматизованих систем управління виробництвом.

При наявності на підприємстві автоматизованих систем технічної і технологічної підготовки виробництва (АСТПП) має бути забезпечено взаємодію АСУТП з цими системами. АСУТП отримують від них необхідну технологічну та іншу інформацію для забезпечення заданого процесу і направляють до АСТПП фактичну оперативну інформацію, необхідну для їх функціонування, в тому числі для коригування технологічних процесів.

Перелік, форма подання і режим обміну інформацією між АСУТП і іншими взаємопов'язаними з нею системами управління визначається в кожному конкретному випадку в залежності від специфіки виробництва, його організації і структури управління ім.

### **1.3 Класифікація функцій АСУТП. Інші терміни та визначення**

Реалізація мети функціонування в конкретних АСУТП досягається виконанням в них певної послідовності операцій і обчислювальних процедур, в значній мірі типових за своїм складом і тому об'єднуються в комплекс типових функцій АСУТП. Функції АСУТП підрозділяються на керуючі, інформаційні та допоміжні.

*Керуючі функції АСУТП* – це функції, результатами яких є вироблення і реалізація керуючих впливів на об'єкт управління. Інформаційні функції АСУТП – це функції системи, змістом яких є збір, обробка і подання інформації про стан АТК оперативному персоналу або передавання цієї інформації для подальшої обробки.

Відмітна особливість керуючих та інформаційних функцій АСУТП – їх спрямованість на конкретного споживача (об'єкт управління, оперативний персонал, суміжні системи управління).

*Допоміжні функції АСУТП* забезпечують рішення внутрішньо системних завдань і зазвичай складаються в забезпеченні контролю функціонування технічних і програмних засобів системи.

Інші терміни та визначення, що застосовуються в автоматизованих системах управління технологічними процесами, наведені нижче.

*Критерій управління* – співвідношення, що характеризує якість роботи ТОО і приймає числові значення в залежності від використовуваних керуючих впливів.

*Підсистема* – частина АСУТП, виділена по функціональному або структурною ознакою, що відповідає конкретним цілям і задачам.

*Комплекс технічних засобів (КТЗ)* – сукупність обчислювальних і керуючих пристроїв, засобів перетворення, відображення та реєстрації



сигналів, пристроїв передачі та обробки сигналів і даних виконавчих пристроїв, достатня для виконання всіх функцій АСУТП.

*Функціональна структура* – структура, елементами якої є функції АСУТП, а зв'язки між елементами відбивають порядок реалізації функцій.

*Технічна структура* – структура, елементами якої є частини КТЗ, а зв'язки між ними є лінії зв'язку в АСУТП.

*Організаційна структура* – структура взаємодії оперативного персоналу АСУТП.

*Технологічний персонал* – оператори - технологи, майстри, старші майстри, старші робітники (бригадири), робочі, які здійснюють управління ТОУ і експлуатацію АСУТП.

*Обслуговуючий персонал* АСУТП забезпечує правильність функціонування КТЗ (тобто підтримує обладнання в працездатному стані) і здійснює супровід математичного та програмного забезпечення системи (наприклад, інженери супроводу, змінні інженери, слюсарі, оператори).

*Технічне забезпечення* – комплекс технічних засобів, призначених для забезпечення роботи АСУТП, в тому числі: отримання інформації про стан ТОУ, формування та передачі інформації, локального регулювання і управління, обчислювальної техніки, подання інформації оперативному персоналу передачі інформації в суміжні та вищі АСУ, виконавчі пристрої.

*Інформаційне забезпечення* – єдина система класифікації та кодування технологічної та техніко-економічної інформації, довідкова та оперативна інформація, що характеризує стан АТК, масивів даних і документів, необхідних для виконання всіх функцій АСУТП.

*Організаційне забезпечення* – сукупність описів функціональної, технічної та організаційної структур, інструкцій і регламентів для оперативного персоналу АСУТП забезпечує заданий функціонування АТК.

*Математичне забезпечення (МО)* – сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів для вирішення задач управління та обробки інформації із застосуванням комп'ютерної техніки в АСУТП.

*Програмне забезпечення (ПЗ)* – сукупність програм, що забезпечує реалізацію функцій АСУТП, заданий функціонування КТЗ і передбачуваний розвиток системи. Загальне програмне забезпечення – частина програмного забезпечення АСУТП, що представляє собою сукупність програм, що поставляється в комплекті із засобами обчислювальної техніки (операційна система, компілятори / транслятори, бібліотеки стандартних програм, які обслуговують програми, архітвори та ін.).

*Спеціальне програмне забезпечення (СПЗ)* – частина програмного забезпечення, що представляє собою сукупність програм, що



розробляється при створенні системи і включає програми реалізації її функцій (програми збору та обробки інформації, розрахункові програми, програми контролю і управління та ін.).

*Функція* – коло дій АСУТП, спрямованих на досягнення приватної мети управління.

## **1.4 Функції АСУТП**

Функції АСУТП поділяються на інформаційні, керуючі і допоміжні. Перелік типових функцій наведено нижче.

### **I. Інформаційні**

К інформаційним функціям АСУТП відносять:

#### **Централізованого контролю**

- централізований контроль, вимірювання, оперативне відображення (формування і видача даних оперативному персоналу АСУТП або АТК) і реєстрація значень технологічних параметрів і показників стану обладнання;
- виявлення, оперативне відображення, реєстрація та сигналізація відхилень значень технологічних параметрів і показників стану обладнання від встановлених меж;
- контроль, оперативне відображення, реєстрація та сигналізація спрацьовування блокувань і захистів;
- оперативне відображення і реєстрація результатів математичних та логічних операцій, що виконуються системою.

#### **Обчислювальних і логічних операцій:**

- непрямі вимірювання технологічних параметрів і показників стану обладнання;
- обчислення і аналіз узагальнених показників оцінки поточного стану ТОО і його складових;
- аналіз спрацьовувань блокувань і захистів;
- діагностика протікання технологічного процесу і стану обладнання;
- прогнозування ходу технологічного процесу;
- узагальнена оцінка і перевірка стану АТК і його обладнання;
- розрахунок техніко-економічних і експлуатаційних показників функціонування ТОО;
- підготовка інформації та виконання процедур обміну інформацією з суміжними і вище стоячими системами управління.

### **II. Керуючі:**

- формування і передавання на входи виконавчих пристроїв, що управляють, (в рамках функціонування локальних систем регулювання (у т. ч. стабілізації) окремих технологічних параметрів);



- розрахунок і видача заданих значень в локальні системи регулювання;
- розрахунок (на підставі перехідних процесів) і коригування параметрів об'єкта, а потім коригування параметрів регулятора САР;
- визначення та реалізація раціонального режиму ведення ТП (для АСУТП, що працюють в режимі порадики, - розрахунок і видача рекомендацій з управління ТП);
- оптимальне (субоптимальне) управління усталеними, перехідними режимами або окремими стадіями процесу;
- адаптивне управління об'єктом в цілому;
- програмне або одноконтурне логічне управління групою механізмів (агрегатом, обладнанням) – для систем, в які входять підсистеми управління обладнанням;

### **III. допоміжні:**

- забезпечення алгоритму функціонування системи;
- формування інформаційних масивів;
- ведення інформаційної бази;
- діагностика стану КТЗ.

Перелік функцій конкретної АСУТП встановлюється технічним завданням на створення АСУТП.

## **1.5 Режими роботи АСУТП**

Функції АСУТП можна реалізувати в наступних режимах:

інформаційному. При реалізації цього режиму здійснюється збір і обробка технологічної та ін. Інформації про об'єкт управління. Ця інформація може видаватися на екран, принтер, табло та інші пристрої у вигляді таблиць, схем, малюнків, окремих значень. При цьому на об'єкті можуть діяти автономно і без прямого втручання оператора локальні системи автоматичного регулювання, часто звані локальними системами автоматичного управління. Такі системи можуть складатися з простих контурів управління (одного для кожної пари вхідних і вихідних змінних процесу) або з більш складних регуляторів з багатьма входами і виходами. Фактично цей режим відповідає режиму роботи систем диспетчерського управління та збору даних;

інформаційно-радіачий. Він включає, крім функцій інформаційного режиму, розрахунок за певними алгоритмами значень основних управляючих впливів і видають оперативному персоналу рекомендації з управління процесом;

супервізорного, або комбінованому (Setpoint control). Він включає, крім функцій інформаційно-який дає поради режиму, реалізацію уставок у вигляді автоматичної зміни завдань регуляторам і параметрів настройки локальних систем регулювання;



прямого цифрового управління (ПЦУ, Direct Digital Control – DDC), при якому забезпечується безпосереднє управління виконавчими пристроями від центрального комп'ютера;

розподіленого прямого цифрового управління (РПЦУ, Distributed Direct Digital Control – DDDC).

В даний час існують два основних підходи до реалізації зворотного зв'язку в обчислювальних системах.

При традиційному прямому цифровому управлінні центральна ЕОМ розраховує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв. Всі дані спостереження передаються в повному обсязі від датчиків до центру управління, а керуючі сигнали – назад до виконавчих пристроїв.

У системах розподіленого прямого цифрового управління обчислювальна система має розподілену архітектуру, а цифрові регулятори реалізовані на основі локальних процесорів, т. е. Розташовані поблизу технічного процесу. ЕОМ верхніх рівнів управління розраховують опорні значення, а локальні процесори відповідальні головним чином за безпосереднє управління технічним процесом, тобто вироблення керуючих сигналів для виконавчих механізмів на основі даних локального моніторингу.

Ці локальні ЕОМ містять у собі цифрові контури управління.

З точки зору структурування рівнів управління і обробки, відмінність між прямим цифровим керуванням і розподіленим прямим цифровим керуванням полягає в тому, що в першому випадку, навіть при наявності декількох ЕОМ, вони займаються тільки передачею інформації і не приймають рішень (крім центрального) про керуючих діях .

Навпаки, в розподіленій структурі ЕОМ на рівнях процесу, ділянки і загального управління можуть діяти більш-менш автономно і не залежать від центральної ЕОМ. Як уже зазначалося, ця різниця впливає і на надійність складної системи. При відмові центральної ЕОМ керуюча система типу ПЦУ зупиняється, а розподілена система, навіть при відмові одного або декількох елементів, хоча і втратить частину функцій, але буде продовжувати роботу.

Більш проста і застаріла форма автоматизованого управління – це так зване управління опорними значеннями. ЕОМ розраховує опорні значення, які потім передаються звичайним аналоговим регуляторам. В цьому випадку ЕОМ застосовується тільки для обчислень, а не для безпосереднього управління виконавчими механізмами.



## Контрольні питання

1. Охарактеризуйте такі терміни: АСУ, АСУТП, ТОУ, АТК.
2. Поясніть функціонування АСУТП з використанням узагальненої блок-схеми.
3. Технологічний і обслуговуючі персонал АСУТП.
4. Інформаційне, організаційне, математичне і програмне забезпечення АСУТП.
5. Загальна і спеціальне програмне забезпечення АСУТП.
6. Перелічіть і охарактеризуйте інформаційні функції АСУТП.
7. Перерахуйте і охарактеризуйте керуючі функції АСУТП.
8. Що таке: критерій управління? Підсистема? комплекс технічних засобів?
9. У яких режимах може функціонувати АСУТП? Охарактеризуйте режим розподіленого прямого цифрового управління.



## ЛЕКЦІЯ 2. КЛАСИФІКАЦІЯ АСУТП

### План

- 2.1 Способи класифікації АСУТП
- 2.2 Класифікації за рівнем в організаційно-виробничій ієрархії, за характером протікання технологічного процесу та інформаційної потужності
- 2.3 Класифікації за рівнем функціональної надійності АСУТП і рівню функціонування
- 2.4 Класифікації за принципом розподілу функцій реалізації керуючих впливів, за критерієм складності об'єктів управління і по функціонально-алгоритмічною ознакою

### 2.1 Способи класифікації АСУТП

У відповідності з різними керівними матеріалами, галузевими та іншими стандартами виділяють наступні способи класифікації АСУТП:

1. За рівнем, займаному системою організаційно-виробничій ієрархії.
2. За характером протікання керованого технологічного процесу в часі.
3. За інформаційної потужності.
4. За рівнем функціональної надійності.
5. За рівнем функціонування.
6. За критерієм складності об'єкта управління.
7. За функціонально-алгоритмічною ознакою.

### 2.2 Класифікації за рівнем в організаційно-виробничій ієрархії, за характером протікання технологічного процесу та інформаційної потужності

За рівнем, що займається системою в організаційно-виробничій ієрархії (табл. 2.1), АСУТП поділяють на системи: *нижнього рівня* – АСУТП технологічних агрегатів, установок, ділянок; *верхнього рівня* – АСУ групою установок, цехом, не включаючи АСУТП нижнього рівня; *багаторівневі* – то ж, включаючи АСУТП нижнього рівня.

Таблиця 2.1 – Класифікація АСУТП за рівнем системи в організаційно-виробничій ієрархії

клас АСУТП	кодовий індекс	ТОУ
АСУТП нижнього рівня	1	Технологічні агрегати, установки, ділянки
АСУТП верхнього рівня	2	Групи установок, цеху, виробництва; не включають АСУТП нижнього рівня
АСУТП багаторівневі	3	Групи установок, цеху, виробництва і включають АСУТП нижнього рівня



За характером протікання керованого технологічного процесу в часі, що визначається безперервністю або дискретністю надходження вихідних матеріалів, сировини і реагентів, наявністю або відсутністю тривалих сталих і перехідних режимів функціонування ТОО, наявністю і тривалістю дискретних операцій з переробки вхідних потоків, АСУТП підрозділяються у відповідність табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Класифікація АСУТП за характером технологічного процесу

клас АСУТП	кодний індекс	Характер технологічного процесу
АСУ безперервних ТП	Н	Безперервний з тривалим підтриманням режимів, близьких до усталених, і практично безупинної подачею сировини і реагентів
АСУ безперервно-дискретним ТП	П	Поєднання безперервних і переривчастих режимів функціонування різних технологічних агрегатів або на різних стадіях процесу (в тому числі періодичні процеси)
АСУ дискретним ТП	Д	Переривчастий, з несуттєвою для управління тривалістю технологічних операцій

За інформаційної потужності, яка характеризується числом технологічних змінних, вимірюваних або контрольованих в даній АСУТП, системи поділяють у відповідність з табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Класифікація АСУТП по інформаційної потужності

Умовна інформаційна потужність	кодний індекс	Число контрольованих технологічних змінних	
		мінімум	максимум
найменша	1	10	40
Мала	2	41	160
Середня	3	161	650
підвищена	4	651	2500
Велика	5	2501	НЕ обмежено



### 2.3 Класифікації за рівнем функціональної надійності АСУТП і рівню функціонування

За рівнем функціональної надійності АСУТП поділяються на три рівні, що впливають на показники їх ефективності (табл. 2.4):

Таблиця 2.4 – Класифікація АСУТП за рівнем функціональної надійності

Рівень функціональної надійності	код	коротка характеристика рівня надійності
мінімальний	1	Чи не регламентується, не потрібно спеціальних заходів
середній	2	Регламентуються, але відмови в АСУТП не призводять до зупинити ТОУ
високий	3	Жорстко регламентується, так як відмови в АСУТП можуть привести до зупинки ТОУ або аварії

За рівнем функціонування АСУТП поділяються за сукупністю інформаційних і керуючих функцій системи (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Класифікація АСУТП за рівнем функціонування

Умовне найменування типу функціонування АСУТП	код	Коротка характеристика особливостей функціонування системи
Інформацій-ний	І	Автоматично виконуються тільки інформаційні функції, рішення по управлінню приймає і реалізує оператор
Локально-автоматичний	Л	Автоматично виконуються інформаційні функції і функції локального управління. Рішення по управлінню процесом в цілому приймає і реалізує оператор
яка радить	З	Автоматично виконуються функції інформаційні, локального управління і за допомогою моделі процесу формуються поради щодо вибору керуючих впливів з урахуванням критерію
автоматичний	А	Всі функції АСУТП, включаючи управління процесом за критерієм, виконується автоматично



## 2.4 Класифікації за принципом розподілу функцій реалізації керуючих впливів, за критерієм складності об'єктів управління і по функціонально-алгоритмічною ознакою

За принципом розподілу функцій реалізації керуючих впливів між комп'ютерними пристроями, що входять до складу комплексу технічних засобів, АСУТП діляться на розподілені і нерозподілені.

*Розподілені АСУТП* включають в свій склад кілька пристроїв обробки інформації (комп'ютерів або спеціалізованих пристроїв типу регулюють мікроконтролерів, встановлених на різних ділянках агрегату або уздовж технологічної лінії), причому функції управління реалізують одночасно кілька з них. При цьому всі комп'ютери системи можуть бути об'єднані в мережу, і спеціальні мережеві ОС підтримують розподіл основних задач (процесів) програмного забезпечення АСУТП по комп'ютерам.

У нерозподілених системах функції реалізації керуючих впливів виконуються однією ЕОМ, зазвичай центральної в АСУТП.

За критерієм складності об'єктів управління стосовно підприємств з безперервним і безперервно-дискретним характером виробництва, за критерієм якої взято число контрольованих параметрів і керуючих впливів відповідно до зростання складності об'єкта управління АСУТП діляться у відповідність з табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Класифікація АСУТП за критерієм складності об'єктів управління

Основна характеристика класу АСУТП	Основні функціональні ознака	Типові приклади об'єктів управління
1-0. Автоматизована система програмного керування	Управління з жорсткою програмою з попередньо запрограмованими впливами	Верстати, поліграфічні машини
1-1. АСУ технологічними установками з малим числом контрольованих і урегульованих параметрів (до 20)	Вимірювання, індикація, реєстрація і одно контурні регулювання параметрів	Топки парових котлів, вагові дозатори, установки автоматичного пожежогасіння
1-2. АСУ технологічними установками або агрегатами з малим числом контрольованих і регульованих параметрів (близько 40)	Те ж, що для класу 1-1, і логічні операції	Технологічні котельні, печі, нагрівальні колодязі і фурми доменних печей, ректифікаційні колонки
1-3. АСУ технологічними установками, агрегатами або процесами із середнім числом	Те ж, що для класу 1-2, і поява примарного	Конвертори, секційні печі, хімічні реактори, установки пер-винної



Основна характеристика класу АСУТП	Основні функціональні ознака	Типові приклади об'єктів управління
контрольованих, регульованих і оптимізуються параметрів (близько 100)	регулювання	переробки нафти, комплекси шихтопідготовки збагачувальних і металургійних заводів
1-4. АСУ технологічними агрегатами або процесами з великим числом регульованих і оптимізуються параметрів (близько 800)	Те ж, що для класу 1-3, і обчислення техніко - економічних показників	Енергоблоки, прокатні стани, доменні печі, атомні реактори, виробництво пічної сажі
1-5. АСУ технологічними переділами і виробництвами з агрегатами й установками, для місцевого управління якими кошти обчислювальної техніки не використовують	Те ж, що для класу 1-4, і диспетчеризація при одноступеневому управлінні	Електролізні цеху виробництва сірчаної кислоти, штучного волокна, агломераційні фабрики, збагачувальні фабрики
1-6. АСУ технологічними переділами та виробництво з агрегатами й установками, оснащеними засоби обчислювальної техніки	Те ж, що для класу 1-5, але при двохступеневому управлінні	Конверторні цеху, доменні печі, цементні заводи, збагачувальні комбінати

Поділяють за функціонально-алгоритмічною ознакою системи управління технологічними процесами на три класи (табл. 2.7). Така класифікація певною мірою умовна, оскільки функції, що їх системами зазначених класів, можуть в ряді випадків перекриватися.

Таблиця 2.7 – Три класи систем за функціонально-алгоритмічною ознакою

Основна характеристика класу АСУТП	Основні функціональні ознаки	Типові приклади об'єктів управління
1. Системи логіко-програмного управління (групою однотипних технологічних установок)	Пряме цифрове управління з жорсткою програмою в режимі поділу часу між керованими установками	Групи автоматизованих постів контролю або випробувань виробів електронної техніки, прецизійних механообробних верстатів, термічного обладнання
2. Системи оптимального управління (технологічним процесом або режимами)	Вирішення задач оптимізації на підставі одержуваної від керованого об'єкта інформації і прийнятих математичних моделей, вироблення	Хімічні реактори, трубопрокатні стани, група дифузійних печей, установки первинної переробки нафти



технологічної установки)	регулюючих впливів або рад оператору в реальному часі	
3. Системи комплексного управління (технологічною лінією, ділянкою, цехом) - АСУОТП	Автоматичний або напівавтоматичний збір, обробка, наочне відображення технологічної та організаційно-виробничої інформації, управління через оперативний персонал ходом технологічних процесів	Технологічні лінії виробництва інтегральних схем, енергоблок атомної електростанції, доменна піч, теплова електростанція

Здійснюючи управління технологічним процесом, система отримує інформацію про хід процесу і видає регулюючі дії (в окремому випадку – поради оператору) відповідно до алгоритму управління, закладеним у вигляді програм в пристрої, що запам'ятовують.

До 1-го класу АСУТП відносяться системи з найбільш простою формою алгоритму управління – повністю запрограмованим ходом процесу (раніше його вів оператор). Основна функція центрального процесу АСУТП – логічні операції з виконання декількох програм (в окремому випадку – однієї) з автоматичним розподілом часу. Типовим алгоритмом управління служить заздалегідь встановлена послідовність логічних операцій з умовним або безумовним переходом від однієї позиції до іншої.

До систем 1-го класу відносяться, зокрема, системи прямого багатоканального цифрового регулювання (стабілізація параметрів) або системи прямого цифрового управління металорізальними верстатами.

У загальному випадку при управлінні за допомогою комп'ютерної техніки рядом технологічних установок в пристрої зберігається число програм, що реалізують типовий алгоритм, відповідне числу об'єктів управління. При цьому за допомогою спеціальної програми – диспетчера організовується мультипрограмний режим роботи машини.

АСУТП 2-го класу досить широко застосовуються в безперервних і безперервно-дискретних виробничих процесах. Головною функцією центрального процесора в таких системах є виконання на підставі вхідних даних, одержуваних від об'єкта управління, математичних операцій і вироблення за результатами обчислень регулюючих впливів.

Алгоритм управління процесом (об'єктом), як правило, розробляється на основі його детермінованою або статистичної моделі, що дозволяє оптимізувати, тобто керувати процесом з метою задовольнити деякий критерій.

До систем 2-го класу відносяться, зокрема, системи прямого багато зв'язного цифрового управління з оптимізацією, системи управління послідовними технологічними операціями, пов'язаними з якістю,



системи адаптивного управління технологічними комплексами.

АСУТП 3-го класу в основному охоплюють середню ступінь ієрархічних систем управління виробництвом. Це клас організаційно-технологічних АСУ-АСУОТП.

Головною функцією технологічного характеру є управління через оперативний персонал (операторів, технологів і т. д.) ходом технологічних процесів на підставі статистичної обробки технологічної інформації та поточного планового завдання.

Оскільки 3-й клас систем охоплює групу технологічних процесів, а, отже, і ряд різних технологічних установок, і цілі виробничі підрозділи, то в функції цих систем включають також обробку планово-виробничої інформації і управління (за результатами цієї обробки) оперативним персоналом, роботою ділянки, цеху. З вищесказаного випливає, що алгоритми окремих задач, що вирішуються АСУТП 3-го класу, дуже різноманітні, носять в першу чергу інформаційно-обчислювальний характер і кожен алгоритм окремо простий для програмування. Однак в цілому завдання аналізу і прогнозу ходу виробничого процесу (наприклад, реалізація алгоритму управління технологічним процесом з метою оптимального номенклатурного розподілу виробів в залежності від планового завдання) може бути досить складним.

Слід зазначити, що системи 3-го класу можуть вирости з систем 1-го і 2-го класів, коли АСУТП здійснює централізоване управління (логіко-програмне або оптимальне) групою технологічних установок на рівні виробничої ділянки, лінії, цехи і на неї покладаються додаткові функції оперативно-диспетчерського управління з аналізом роботи виробничого підрозділу і прогнозом його подальшого ходу.

### **Контрольні питання**

1. Способи класифікації АСУТП.
2. Які способи класифікації найбільше придатні для оцінки вартості проектування системи?
3. Які способи класифікації найбільше придатні для оцінки складності експлуатації системи?
4. Класифікація АСУТП за рівнем функціонування.
5. Розподілені і нерозподілені системи.
6. Який основний параметр використовується для класифікації АСУТП за критерієм складності об'єктів управління?
7. Які АСУТП відносяться системам 1-го класу? 2-го класу? 3-го класу?



## ЛЕКЦІЯ 3. КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ АСУТП

### План

- 3.1 Особливості систем цифрового управління
- 3.2 Концепція побудови АСУТП
- 3.3 Апаратна платформа контролерів
- 3.4 Операційна система РС-контролерів
- 3.5 Засоби технологічного програмування контролерів

### 3.1 Особливості систем цифрового управління

Управління технологічним процесом представляє лише тільки частина проблем, що вирішуються АСУТП: інша частина – це комп'ютерні засоби. Система управління використовується не тільки для регулювання і визначення послідовності операцій (бінарне управління), а й повинна виконувати ряд додаткових функцій: збір та обробка технологічної інформації, розпізнання позаштатних ситуацій і реагування на них, відображення інформації технологічному персоналу та оператору, виконання команд операторів та ін. При розробці проекту, включаючи необхідність обчислювальних ресурсів, необхідно виходити з вимог, що пред'являються до всієї технічної системи. Основна вимога - ресурси системи повинні відповідати цілям управління і параметрам керованої системи (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристики технологічного процесу, які впливають на дії по системі керування

Характеристика	Відповідні характеристики компоненти проекту системи управління
Масштаб часу	Динаміка системи, моделі системи Частота опитування датчиків Частота керуючих впливів Вимоги до апаратних засобів Вимоги до програмного забезпечення
Тип змінних процесу	Вимірювальна апаратура, датчики частота вимірів
Обурення в вимірах	фільтрація вид обробки
керованість системи	Апаратні засоби управління, виконавчі механізми
Рівень складності системи	Стратегія управління, взаємозв'язок вхідних і вихідних сигналів алгоритми регулювання Вимога до апаратних засобів



Характеристика	Відповідні характеристики компоненти проекту системи управління
	Вимоги до програмного забезпечення Операційна система, мови програмування Вимоги до комунікацій
Призначення (мета) системи	стратегія управління
Топологія інформаційних потоків	Збір даних, комунікації, мережі, протоколи міжпрограмний обмін, розподілене управління
інтерфейс оператора	психологічні чинники інтерфейс користувача
Централізоване або розподілене управління	архітектура системи Розподіл ресурсів надійність

*Відображення розвитку процесу в часі.* Дані, отримані в результаті вимірів, повинні з необхідною точністю відображати динаміку процесу. Особливу важливість при цьому має частота вибірки, тобто періодичність вимірювання нових даних. Її визначення зазвичай є нетривіальним завданням.

Висока частота вибірки тягне за собою велике завантаження комп'ютера, тому що він повинен обробляти більше даних. Це означає, що число вимірювань необхідно мінімізувати, проте їх частота повинна бути досить високою для виявлення важливих змін контрольованих параметрів процесу. Т. ч., повинен бути знайдений компроміс між витратами на вимір і ціною наслідків, до яких може привести втрата частини інформації про зміни процесу.

На завантаження комп'ютера впливає не тільки частота вимірювань, але і складність розрахунків в проміжках між вимірами.

**Збір даних вимірювань і обробка сигналів.** Всі сигнали вимірювань містять як корисну інформацію, так і перешкоди. Вимірювання завжди приблизні через помилки калібрування, неточності датчиків або наявності шуму. Для виділення корисної інформації (відповідно до заданого критерію) з сигналу використовуються спеціальні пристрої – фільтри. Фільтри можуть бути виконані як з аналогової, так і по цифрової технології.

Але навіть якщо ми використовуємо високоточний датчик і передаємо сигнал без перешкод, отримані дані можуть не завжди адекватно представляти цікавлять параметри процесу. Наприклад, вимірювання рівня рідини може бути некоректним через ряби, концентрації – через наявність неоднорідностей, температури – через неправильне місця установки датчика і ін.



*Рівень складності системи.* Рівень складності ТП відбивається в першу чергу на конфігурацію комп'ютера. Кількість датчиків і виконавчих механізмів визначає необхідну кількість портів введення / виводу і в цілому вимагає більш потужного процесора, більшого обсягу оперативної і зовнішньої пам'яті.

Зв'язок між внутрішніми змінними процесу і його вхідними або вихідними даними визначає складність програмного забезпечення регулюючих пристроїв. Програми реального часу набагато важче налагоджувати і тестувати, тому їх код повинен бути добре структурований, щоб помилки могли бути виявлені якомога раніше.

*Топологія інформаційних потоків.* Складні системи управління і моніторингу зазвичай являють собою ієрархічну структуру на базі з'єднаних між собою цифрових пристроїв різного класу. Такий підхід називається розподіленим прямим цифровим керуванням.

Організація взаємодії між цими пристроями є центральним завданням сучасних АСУТП. Для раціонального використання наявних ресурсів необхідно визначити вид і кількість інформації, якою обмінюються комп'ютерні пристрої, - інформаційні потоки. Але не всі комп'ютери повинні отримувати детальну інформацію про процес. Особливу роль відіграє надійність передачі інформації, тобто необхідно, щоб дані досягали свого призначення без спотворень і втрат.

Передавання інформації невіддільна від її стандартизації. Очевидно, що кабелі і роз'єми повинні відповідати один одному, рівні сигналів – спів мірні, а програмне забезпечення має однаково інтерпретувати передані повідомлення і сигнали.

*Інтерфейс оператора.* Хоча завжди прагнуть до того, щоб система функціонувала без втручання людини, але завжди необхідно мати можливість взаємодії з оператором, який повинен отримувати інформацію і мати можливість вводити команди.

Графічні інтерфейси комп'ютерних терміналів стають все більш витонченими. Сучасні дисплеї володіють можливостями відображення різних даних, включаючи колірні палітри з мільйонами відтінків, складних графічних об'єктів, мультиплікацію і відео. Однак все це вимагає великих обчислювальних ресурсів, за які програми інтерфейсу будуть конкурувати з модулем обробки даних і між собою, і тому оператор може отримувати інформацію з затримкою.

З іншого боку, не вся інформація може чекати. Наприклад, сигнали збоїв, тривоги і інші важливі повідомлення повинні відобразитися негайно. Тому при проєктуванні інтерфейсу необхідно ретельно відбирати інформацію і зіставляти спосіб відображення зі ступенем її важливості в поточний момент, людськими можливостями сприймати і адекватно реагувати на неї і наявними ресурсами.

*Системна інтеграція та надійність управління.* Ключовим питанням будь-якої системи управління є надійність, що складається з



надійності апаратних засобів і надійності програмного забезпечення.

Один з основних недоліків принципу ПЦУ – низька надійність. Очевидне рішення цієї проблеми – децентралізація обчислювальних ресурсів, при якій невеликі локальні обчислювальні пристрої управляють окремими частинами складного процесу.

Практичний підхід до підвищення надійності систем передбачає, з одного боку, застосування відмово стійких конфігурацій апаратних засобів, с іншого – спеціальні методи проектування структури програмного забезпечення, засобів програмування і налагодження, що дозволяють виключити з самого початку найбільш ймовірні помилки.

### 3.2 Концепція побудови АСУТП

Типові архітектури АСУТП, як правило, включають в себе чотири рівні:

**рівень 0** – датчики (рис. 3.1, 3.2) і виконавчі механізми (рис. 3.3);



Рисунок 3.1 – Датчики температури, температури розплаву, перепаду тисків



Рисунок 3.2 – Датчики перепаду тисків, витрати і тиску

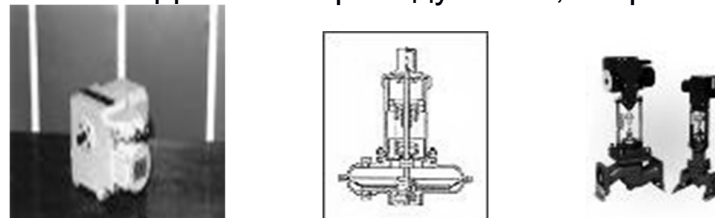


Рисунок 3.3 – Виконавчі механізми (електричний однообертові (МЕО), мембранний і регулюючий клапан)



**Рівень 1** – пристрої зв'язку з об'єктом (рис. 3.4);

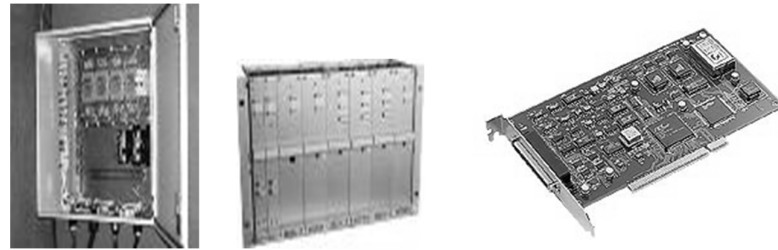


Рисунок 3.4 – Варіанти ПЗО (шафи ПЗО, плата ПЗО для ПК)

Рівень 2 – контролери (рис. 3.5, 3.6). Зазвичай контролери не мають засобів візуалізації (крім локальних засобів індикації малої інформаційної ємності) і засобів взаємодії з оператором, але включають модулі ПЗО (рис. 3.4). Основу програмного забезпечення контролерів складають додатки на технологічних мовах з використанням стандартних мов IEC 61131-3 типу мови релейно-контактних схем, інтуїтивно зрозумілим фахівця з автоматизації;



Рисунок 3.5 – Контролери серії I8000 і Siemens Simatic S7-1500



Рисунок 3.6 – Контролер Ломіконт

Рівень 3, або верхній рівень (комп'ютерний). На цьому рівні розміщуються потужні комп'ютери (рис. 3.7), що виконують функції автоматизованих робочих місць операторів-технологів, серверів баз даних і робочих станцій і забезпечують зберігання і аналіз всієї інформації, що надійшла за будь-який заданий інтервал часу, а також візуалізацію інформації та взаємодія з оператором. Основою



програмного забезпечення верхнього рівня є пакети SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).



Рисунок 3.7 – Приклади робочого місця оператора АСУТП

У традиційній схемі, прийнятій в 70-х ... 80-х р. р. минулого століття, інформація від датчиків надходила в пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО) центрального комп'ютера, зазвичай працює під управлінням операційної системи реального часу і стоїть на верхньому рівні. На цьому рівні вирішувалися основні задачі, пов'язані моделюванням, розрахунком техніко-економічних показників і ін. Тут же реалізувалася стратегія управління об'єктом. Керуючі сигнали надходили до об'єкта управління у вигляді вихідних електричних сигналів на виконавчі механізми і ін. Регулюючі органи, або у вигляді завдання в локальній системі регулювання, побудовані на аналогових технічних засобах. З активним впровадженням контролерів традиційна схема змінилася: інформація від об'єкта управління за допомогою датчиків надходить до контролерів, контури управління реалізуються через канали модулів введення-виведення PLC безпосередньо на виконавчі механізми. До недоліків схеми слід віднести великі витрати на монтаж, конфігурація, діагностику, обслуговування і, власне, на саму кабельну систему. У зв'язку з цим в даний час пропонується опустити деякий інтелект на рівень 0, замінивши передачу аналогових і дискретних сигналів (4 ... 20 мА і 0..24В) на промислову мережу. В результаті замість великої кількості 2-х, 3-х і 4-провідних ліній зв'язку, що йдуть від безлічі датчиків і виконавчих механізмів до каналів вводу-виводу PLC, пропонується один «низькопровідний» кабель, що підключається до відповідного інтерфейсному модулю контролера.

Це, крім економії на кабельній продукції, дозволяє легко підключати датчики і виконавчі механізми різних виробників до даної мережі, виконувати автоматичне і ручне конфігурування, калібрування, а також забезпечує широкі можливості по діагностиці обладнання.

Численні датчики з дискретними виходами (датчики стану і датчики з лічильно-частотним інтерфейсом), а також комутаційні апарати,



включаючи виконавчі механізми з багатопозиційним регулюванням, пропонується підключати до промислової мережі через системи розподіленого введення-виведення.

### 3.3 Апаратна платформа контролерів

До останнього часу роль контролерів в АСУТП в основному виконували PLC (Programmable Logic Controller – програмовані логічні контролери) зарубіжного і вітчизняного виробництва. Найбільш популярні в нашій країні PLC таких зарубіжних виробників, як Allen-Braidly, Siemens, ABB, Modicon, і також застарілі вітчизняні моделі, як «Ломіконт», «Реміконт», Ш-711, «Мікродата», «Емікон».

На даний час набула поширення так звана відкрита модульна архітектура контролерів – ОМАС (Open Modular Architecture Controls). Концепція відкритої модульної архітектури контролерів була висунута фірмою General Motors в 1994 р. Ті ж або близькі до них концептуальні вимоги розробляються європейськими та японськими організаціями. Цілий ряд перспективних програм на базі концепції ОМАС підтримуються урядом США.

У зв'язку з бурхливим зростанням виробництва мініатюрних РС-сумісних комп'ютерів останні все частіше стали використовувати в якості контролерів, причому ця тенденція безпосередньо пов'язана з концепцією ОМАС. Сенс ОМАС-вимог до контролерів коротко можна сформулювати в термінах, основні з яких представлені в назві архітектури:

**Open** (Відкрита) архітектура, що забезпечує інтеграцію широко поширеного на ринку апаратного та програмного забезпечення;

**Modular** (Модульна) архітектура, що дозволяє використовувати компоненти в режимі Plug & Play;

**Scaleable** (Масштабована) архітектура, що дозволяє легко і ефективно змінювати конфігурацію для конкретних потреб;

**Economical** (Економічна) архітектура, що забезпечує невисоку вартість життєвого циклу контролерних обладнання;

**Maintainable** (Легко обслуговується) архітектура, що витримує напружені умови роботи в цехах і проста в ремонті і обслуговуванні (мінімальний час простою).

*Перша і головна перевага РС-контролерів пов'язано з їх відкритістю, т. е. з можливістю застосовувати в АСУТП найсучасніше обладнання, тільки-тільки з'явилося на світовому ринку, причому обладнання для РС-контролерів зараз випускають вже не десятки, а сотні виробників, що робить вибір унікально широким. Це дуже важливо, якщо врахувати, що модернізація АСУТП йде поетапно і займає тривалий час, іноді кілька років. Користувач АСУТП вже не знаходиться у владі одного виробника (як у випадку з PLC), який нав'язує йому свою*



волю і змушує застосовувати тільки його технічні рішення, а сам (або через свого системного інтегратора) може зробити вибір, застосовуючи ті підходи, які в даний момент його найбільше влаштовують. Він може тепер застосовувати в своїх системах продукцію різних фірм, стежачи тільки, щоб вона відповідала певним міжнародним чи регіональним стандартам.

*Друга важлива перевага PC-контролерів* полягає в тому, що в силу їх «спорідненості» з комп'ютерами верхнього рівня не потрібні додаткові витрати на підготовку професіоналів, які забезпечують їх експлуатацію. Цю роботу можуть з успіхом виконувати (і це підтверджується на практиці) фахівці, що забезпечують експлуатацію комп'ютерів верхнього рівня. Це дозволяє скоротити терміни впровадження систем управління і спрощує процедури їх експлуатації, що в кінцевому рахунку призводить до загального зниження витрат на створення або модернізацію АСУТП. Відзначимо також, що дуже часто при розгляді варіантів побудови АСУТП витрати на експлуатацію не враховуються, що, на наш погляд, є серйозною помилкою.

*Надійність – третя перевага PC-контролерів.* Зазвичай розглядають фізичну і програмну надійність контролерів. При цьому під фізичної надійністю розуміється здатність апаратури стабільно функціонувати в умовах навколишнього середовища промислового цеху і протистояти її шкідливого впливу, а під програмної надійністю розуміється здатність ПЗ стабільно функціонувати при виникненні ситуацій, що вимагають реакції в заданий час. Фізичну надійність PLC і PC-контролерів деякі фахівці вважають однаковою. Більшість PC-контролерів орієнтовані на роботу в важких умовах, наприклад, в розширеному діапазоні температур, а також захищені від пилу, вологи, ударів, вібрації і електромагнітних випромінювань.

Програмна надійність визначається, перш за все, ступенем налагодженості ПО.

### **3.4 Операційна система PC-контролерів**

Операційна система контролерів повинна задовольняти вимогам відкритості. Але не тільки їм. Специфіка умов роботи контролерів вимагає, щоб ОС підтримувала роботу в режимі реального часу, була компактна і мала можливість запуску з ПЗУ або флеш-пам'яті.

Для PC-контролерів найкраще підходить операційна система QNX (фірма QSSL, Канада). Перш за все, це пов'язано з тим, що архітектура QNX є відкритою, модульної та легко модифікується. QNX може завантажуватися як з ПЗУ, флеш-пам'яті, так і за допомогою віддаленого завантаження по мережі. QNX розроблена відповідно до стандартів POSIX, є комерційною операційною системою, широко поширена на світовому ринку (сотні тисяч продажів), підтримує всі шини,



використовувані в PC-контролерах, включаючи ISA, PCI, CompactPCI, PC / 104, VME, STD32 і ін.

QNX була спеціально розроблена для комп'ютерів PC, тому досягається ефективність і швидкість обробки даних, характерна для потужних універсальних і міні-комп'ютерів. QNX є операційною системою, яка дає повну гарантію в тому, що процес з найвищим пріоритетом почне виконуватися практично негайно і що критичне подія (наприклад, сигнал тривоги) завжди буде оброблено. Вона відома як операційна система, яка функціонує в «захищеному режимі». Це означає, що всі програми в системі захищені один від одного і будь-яка «фатальна» помилка в одній з програм не призводить до «краху» всієї системи. Файлова система QNX була розроблена з урахуванням забезпечення цілісності даних при відключеннях харчування.

Завдяки тому, що QNX підтримує кошти роботи з флеш-пам'яттю (як на стадії завантаження ОС, так і в режимі роботи з файловою системою), вона забезпечує дуже важливу можливість для функціонування контролерів – роботу в так званому режимі «сліпого вузла». Це означає, що система може виконуватися на процесорному модулі без жорсткого чи флеш-диска, без монітора і клавіатури, іншими словами, в умовах відсутності рухомих механічних частин. Це створює можливість довготривалої роботи обладнання в режимі без обслуговування.

### **3.5 Засоби технологічного програмування контролерів**

Специфіка роботи з контролерами в порівнянні зі звичайними офісними комп'ютерами полягає не тільки в орієнтації на роботу з платами вводу-виводу, а й в переважному використанні мов технологічного програмування. На промислових підприємствах з контролерами можуть працювати технологи, електрики, які добре знають специфіку об'єктів управління і технологічного процесу. Для опису процесів зазвичай використовуються такі мови, як мова релейно-контактних схем, функціональних блоків і так далі, теоретичні основи яких взяті з методів автоматичного управління. Накопичений багатьма фірмами досвід був узагальнений у вигляді стандарту IEC 1131-3, де визначено п'ять мов програмування контролерів: SFC – послідовних функціональних схем, LD – релейних діаграм, FBD – функціональних блокових діаграм, ST – структурованого тексту, IL – інструкцій. Важливо відзначити, що використання даного стандарту повністю відповідає концепції відкритих систем, а саме, робить програму для контролера незалежною від конкретного обладнання – ні від типу процесора, ні від операційної системи, ні від плат вводу-виводу. В даний час програми багатьох фірм підтримують цей стандарт.

Технічні переваги PC-контролерів:



**швидкодія** (сучасний процесор перевершує за швидкістю процесори, встановлені в PLC);

**дешевизна:** при рівних характеристиках (функціональних і конструктивних) PC-контролери на 20 – 30 % дешевше PLC;

**обсяг ОЗУ:** PC надають більше пам'яті, ніж PLC: як оперативної, так і незалежній.

### Контрольні питання

1. Особливості сучасних систем управління.
2. Контролери в-основному яких фірм використовуються на металургійних комбінатах? Як Ви думаєте, чому?
3. Що таке «розподілене пряме цифрове управління»?
4. 4 рівня типовий архітектури АСУТП.
5. Недоліки традиційних (централізованих) схем побудови АСУТП.
6. Назвіть сучасні архітектури контролерів.
7. Основні переваги PC-контролерів по відношенню до PLC.-
8. Операційні системи PC-контролерів.
9. Засоби технічного програмування контролерів.
10. Технічні переваги PC-контролерів.



## ЛЕКЦІЯ 4. СТАДІЇ СТВОРЕННЯ АСУТП І ОСНОВНІ ЕТАПИ СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО І ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### План

- 4.1 Стадії створення АСУТП
- 4.2 Основні роботи, що передують проектуванню програмного забезпечення
- 4.3 Основні стадії розробки програм і програмної документації
- 4.4 Розробка математичних моделей

### 4.1 Стадії створення АСУТП

Стадії створення АСУТП наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Стадії створення АСУТП

Стадія	Етап	Зміст робіт
Технічне завдання	Збір даних	Дослідження ТОУ
	Передпроектні НДР Ескізна розробка АСУТП	Аналіз ТОУ, розробка математичних моделей. Розробка структури, аналіз конкурентів.
	Технічне завдання на створення АСУТП	Розробка функціональних задач; ТЭО; план-графіку виконання робіт
Технічно-робочий проєкт	Системно - технічний синтез АСУТП	Розробка загально системної документації; документації організаційного забезпечення; документація інформаційного забезпечення
	Апаратурно-технічний синтез АСУТП	Розробка документації технічного забезпечення

Продовження таблиці 4.1

	Технічні завдання на розробку в суміжних частинах проєкту	Розробка відповідних технічних завдань
	Кошторис на освоєння АСУТП	Розробка кошторису



	заявочні відомості	Складання заявочних відомостей
	Технічне завдання на ОМО	Розробка ТЗ
	Технічний проєкт ОМО	Розробка документації на ОМО
Робочий проєкт	Технічне забезпечення	Розробка документів
	загальносистемна документація	
	Інформаційне забезпечення	
	організаційне забезпечення	
	Програмне забезпечення	
впровадження	Підготовка об'єкта до впровадження	Будівельно-монтажні роботи. Комплектація. Організаційно-технічні заходи. Навчання ремонтно-експлуатаційного персоналу
	налагодження АСУТП	Налагодження КТЗ. Налагодження програм окремих функцій. Комплексна наладка і попередні випробування коригування документації
	Приймально-здавальні випробування	Розробка програми випробування промислові випробування
	здача АСУТП	-
аналіз функціонування	-	Дослідження техніко-економічної ефективності. Розробка рекомендацій щодо розвитку системи. Вироблення вимог до модернізації технологічного процесу

#### 4.2 Основні роботи, що передують проєктування програмного забезпечення

Проєктуванню програмного забезпечення АСУТП передуює алгоритмізація виробничого процесу (АПП) – складання його математичного опису (математичної моделі). Джерелом вихідної інформації для АПП служать теоретичні та експериментальні дані, а також евристичні неформальні відомості про досліджуваному процесі.



Цю інформацію можна отримати заздалегідь (апріорні дані) і безпосередньо в процесі дослідження (апостеріорні дані).

Істотну роль у вивченні складних процесів відіграє людина – фахівець в даній області, що накладає відбиток індивідуальності на схему АПП, роблячи її найбільш раціональною для даного ТОУ і конкретних умов дослідження. Проте, існує загально визнана схема АПП, яка містить наступні етапи:

попередній аналіз завдання алгоритмізації і об'єкта дослідження (з'ясовуються цілі і основні етапи дослідження, оцінюється очікувана економічна ефективність і доцільність прийнятої схеми вивчення об'єкта і результатів його алгоритмічного аналізу);

структурної опис досліджуваного виробничого процесу (на цьому етапі застосовуються методи мережевих уявлень – схеми, графи для відображення зв'язків між параметрами і елементами виробничого процесу);

теоретичний аналіз рівнянь зв'язку між параметрами процесу і експериментальне визначення статичних та динамічних характеристик процесу (на цьому етапі використовуються методи ідентифікації);

моделювання процесу і перевірка адекватності (відповідності) математичного опису реального виробництва;

аналіз отриманої математичної моделі і вироблення рекомендацій щодо поліпшення виробничого процесу;

формулювання оптимальних алгоритмів на підставі рекомендацій попереднього етапу;

перевірку і коригування отриманих результатів в умовах експлуатації системи.

### **4.3 Основні стадії розробки програм і програмної документації**

Розробка СПІЗ, як складової частини АСУТП, регламентується документами визначальними розробку АСУТП (в тому числі Державними стандартами на автоматизовані системи управління технологічними процесами). У той же час і на нього поширюється дія документів Єдиної системи програмної документації, які обумовлюють стадія розробки, етапи та зміст робіт, а також види програм і програмних документів. Практично стадії створення СПІЗ по найменуванню ті ж, що і стадії створення АСУТП в цілому (табл. 4.2). При цьому допускається об'єднувати, виключати етапи робіт і (або) їх зміст, а також вводити інші етапи робіт за погодженням із замовником.

Випуск технічного завдання на СПІЗ здійснюється на стадії розробки технічного проекту АСУТП і, таким чином, зрушать щодо закінчення розробки технічного завдання на систему в цілому. Роботи, що проводяться на стадії технічного завдання для АСУТП в цілому, включають наступні етапи:



попереднє обстеження автоматизуємого технологічного процесу;  
 перед проектні науково-дослідні роботи;  
 ескізна розробка АСУТП;  
 розробка технічного завдання на створення АСУТП.

На цій стадії перед проектних робіт виробляються теоретичні дослідження найбільш складних завдань управління для попереднього вибору відповідних методів їх вирішення. Результатом досліджень повинно бути опис об'єкта управління і розробка завдання на проведення експериментальних досліджень, в якому містяться:

методика проведення експерименту;  
 методика обробки експериментальних даних;  
 форма представлення результатів експериментальних досліджень.

Перед проведенням експериментальних досліджень уточнюються параметри основного експерименту: необхідні величини збурень, частота і похибка вимірювань тривалість і кількість дослідів і тип.

Таблиця 4.2 – Основні стадії розробки програм і програмної документації

стадія	етап	зміст робіт
Технічне завдання (ТЗ)	Обґрунтування необхідності розробки програми	Постановка задачі. Збір вихідних матеріалів. Вибір і обґрунтування критеріїв ефективності та якості розроблюваної програми. Обґрунтування необхідності проведення науково - дослідних робіт. Визначення структури вхідних та вихідних даних. Попередній вибір методів рішення. Обґрунтування доцільності застосування раніше розроблених програм. Визначення вимог до технічних засобам.
	Науково - дослідні роботи (НДР) Розробка та затвердження ТЗ	Визначення вимог до програми. Розробка техніко-економічних обґрунтувань до розробки програми. Визначення стадій, етапів і термінів розробки програми і документації на неї. Вибір мов програмування. Визначення необхідності проведення НДР на наступних стадіях. Узгодження і затвердження технічного завдання.
Ескізний проект (можна виключити).	Розробка ескізного проекту	Попередня розробка структури вхідних та вихідних даних. Уточнення методів рішення задачі. Розробка загального алгоритму рішення задачі.
	Затвердження ескізного проекту	Розробка техніко-економічного обґрунтування. Розробка пояснювальної записки. Погодження та затвердження ескізного проекту.



Продовження таблиці 4.2

технічний проект (При достатньому обґрунтуванні стадію)	Розробка технічного проєкту  Затверджен ня технічного проєкту	Уточнення структури вхідних та вихідних даних. Розробка алгоритму розв'язання задачі. Визначення форми вхідних і вихідних даних. Визначення семантики і синтезу мови. Остаточне визначення конфігурації технічних засобів. Розробка плану заходів щодо розробки та впровадження програми. Розробка пояснювальної записки. Узгодження і затвердження технічного проєкту
Робочий проєкт	Розробка програм. Розробка програмно ї документа ції. випробува ння програми	Програмування та налагодження програми. Виготовлення програми оригіналу. Розробка програмних документів.  Розроблення, погодження та затвердження порядку і методики випробувань. Коригування програми і програмної документації за результатами випробувань.
впровадження	Підготовка і передаван ня програми	Підготовка і передавання програми і програмної документації для супроводу і (або) виготовлення. Оформлення та затвердження акту про видачу програми і супроводу і (або) виготовлення. Передавання програми в фонд алгоритмів і програм.

Дається попередня оцінка виконання умов, що визначають достовірність інформації (оцінюється стаціонарність випадкових процесів, відтворюваність станів об'єкта, необхідних для основного експерименту). Потім виходить і обробляється вся інформація, визначена завданням на експериментальні дослідження.

Після обробки даних проводяться контрольні дослідження. Етап експериментальних досліджень передбачає отримання залежностей (параметрів), складання або уточнення схеми експерименту і її опис, уточнення методики обробки отриманих експериментальних даних, отримання первинних експериментальних даних.

На основі аналізу технологічного процесу як об'єкта управління та аналізу інформаційних потоків формулюється критерій управління та обмеження, розробляються попередні математичні моделі,



формулюється завдання синтезу алгоритмів контролю і управління, здійснюється попередній вибір методів їх вирішення

#### **4.4 Розробка математичних моделей**

Розробка математичних моделей для АСУТП включає:

технологічну схему процесу, в якій окремо зображуються всі основні параметри або агрегати, щодо яких реалізуються функції АСУТП, і показуються матеріальні та енергетичні потоки з позначенням на них всіх величин, необхідних для характеристики відповідних потоків;

опис перетворень речовин і енергії, що здійснюються в технологічному процесі;

системи рівнянь в аналітичній формі для кожного з пристроїв, апаратів і агрегатів технологічного обладнання;

таблицю величин із зазначенням найменування позначається величини, її розмірності, діапазону зміни для змінних величин, значення і точності визначення цього значення для постійних величин, способу визначення величини;

способи визначення невідомих функцій, що входять в системи рівнянь, якщо ці функції можливо або доцільно визначати лише в ході функціонування АСУТП.

Для синтезу алгоритмів керування необхідно встановити розрахунковий інтервал управління (повне розрахункове час підсумовування показників ефективності для обчислення критерію управління) і здійснити декомпозицію (розкладання) загальної задачі управління на еквівалентну безліч більш простих завдань. На етапі ескізної розробки здійснюється розробка функціонально-алгоритмічної структури, попередній синтез основних алгоритмів контролю і управління. На цьому етапі дуже корисна експериментальна перевірка алгоритмів управління на діючих установках. Таким чином, на етапі технічного завдання на систему в цілому розробляється повний перелік функціональних завдань, для вирішення яких призначена система. На етапі технічного проєкту при системотехнічному синтезі АСУТП розробляються постановки для всіх завдань, що вирішуються системою. Після визначення переліку ініціативних вимірюваних сигналів, схем інформаційних потоків і складу інформаційно керуючого - комплексу переходять до завершення фази Технічне завдання на спеціальне математичне (програмне) і інформаційне забезпечення. Завершення інших стадій СПІЗ збігається із завершенням основних стадій розробки АСУТП в цілому. Сенс виконуваних робіт на цих стадіях зрозуміле з аналізу складу документів наведених нижче.



## Контрольні питання

1. Перерахуйте стадії створення АСУТП.
2. Які основні роботи передують проектування програмного забезпечення?
3. Основні стадії розробки програм і програмної документації.
4. Основні стадії розробки програмного забезпечення АСУТП.
5. Коли здійснюється затвердження (випуск) технічного завдання на розробку СПІЗ?
6. Порядок розробки інформаційних математичних моделей.
7. Яким чином виконується експериментальна перевірка алгоритмів управління.



## ЛЕКЦІЯ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП

### План

- 5.1 Технічне завдання на розробку СПІЗ
- 5.2 Технічний проєкт СПІЗ
- 5.3 Зміст пояснювальної записки СПІЗ

### 5.1 Технічне завдання на розробку СПІЗ

Технічне завдання є обов'язковим вихідним документом для проведення робіт по розробці СПІЗ АСУТП. Допускається розробка технічних завдань для окремих підсистем як складових частин технічного завдання на СПІЗ системи. Основне призначення цього документа дати повне і однозначне уявлення про мету роботи, зміст, порядок її проведення та прийому-здачі після закінчення розробки, СПІЗ АСУТП або її окремих підсистем. Технічне завдання на розробку СПІЗ АСУТП розробляють на основі результатів виконаних науково-дослідних робіт, наукового прогнозування, аналізу передових досягнень і технічного рівня вітчизняних і зарубіжних розробок в області АСУТП, а також на основі вихідних вимог замовника. Технічне завдання в загальному випадку має складатися з таких розділів:

- найменування і область застосування;
- підставу для проведення роботи;
- мета і призначення роботи;
- вихідні дані для проведення роботи;
- технічні вимоги;
- програма проведення роботи;
- порядок приймання роботи;
- додаток.

Залежно від виду і призначення АСУТП і обсягу робіт, що підлягають виконанню відповідно до запропонованим технічним завданням, допускається уточнювати зміст розділів, вводити нові розділи і об'єднувати окремі з них.

Найменування і область застосування – вказується найменування системи технологічного об'єкта управління, стосовно якого має розроблятися СПІЗ, наводиться коротка характеристика передбачуваної області застосування.

Підстава для проведення роботи – вказуються:

повне найменування документа, на підставі якого розробляється АСУТП організація, що затвердила цей документ, дата його затвердження; найменування і умовне позначення (код) теми роботи. Мета і призначення роботи – вказується: функціональне призначення підлягає розробці СПІЗ системи. Вихідні дані для проведення роботи –



наводяться наступні дані:

- коротка характеристика об'єкта;
- короткий аналіз стану автоматизації об'єкта, для якого розробляється система;

- короткий огляд систем-аналогів;

- перелік функціональних завдань проєктованої системи;

- перелік матеріалів (звітів закінчених науково-дослідних робіт, документів технічних і робочих проєктів на спеціальне математичне, програмне та інформаційне забезпечення систем-аналогів і ін.), які рекомендуються для використання в процесі проведення, роботи;

- інші відомості за рішенням організації-розробника системи.

Технічні вимоги – вказуються такі вимоги:

- до назви, складу та змісту підлягають розробці документів на спеціальне математичне та інформаційне забезпечення АСУТП;

- на вибір методів і алгоритмів вирішення функціональних завдань;

- до організації інформаційного забезпечення системи;

- на вибір операційної системи для керуючого обчислювального комплексу системи;

- на вибір режимів функціонування системи;

- інші за рішенням організації-розробника системи.

Програма виконання робіт – наводиться перелік етапів робіт, назва організацій виконавців, форм звітності і термінів виконання робіт по кожному етапу. Терміни, затверджені в технічному завданні, орієнтовні. Основними вважаються терміни, встановлені в договорі і етапною програмою по темі роботи. У цьому ж розділі вказується перелік документів, що підлягають розробці за вимогами технічного завдання.

Порядок приймання роботи. Повинен бути обговорений порядок контролю виконання робіт по закінчених етапів і умови приймання роботи після її завершення, перелік організацій, з якими слід узгодити документацію.

В додаток до технічного завдання включаються: матеріали обстеження технологічного об'єкта управління, звіти по закінчених науково-дослідних робіт, документи технічного проєкту інших частин системи (наприклад, документи, що містять схеми функціональної, організаційної та технічної структури проєктованої системи і ін.), документи технічних робітників проєктів на спеціальне математичне, програмне та інформаційне забезпечення систем-аналогів, схема технічних засобів керуючого обчислювального комплексу системи або документ, в якому вона приведена, довідкові та інші матеріали.

## **5.2 Технічний проєкт СПІЗ**

Документи СПІЗ АСУТП розробляються на підставі технічного завдання, повинні містити всі дані, необхідні для розробки робочої



документації та впровадження СПІЗ АСУТП і підрозділяються на наступні групи:

- пояснювальна записка;
- таблиці;
- розрахунки;
- інші документи.

Документами присвоюються позначення, що складаються за чинною на підприємстві системі з індексу підприємства, десятковим характеристиками, порядкового реєстраційного номера і шифру документа. Наприклад, ДВА.3.035.001.ПЗ, де ДВА – індекс підприємства, 3.035 – десяткова характеристика; 001 – порядковий реєстраційний номер; ПЗ – шифр документа (пояснювальна записка). Таблицями, розрахунками та іншим документам присвоюються шифри згідно ГОСТ. Види і комплектність конструкторських документів (наприклад, документом «Таблиці» - шифр ТБ, документа «Розрахунки» - шифр РР і т. д.). При випуску декількох документів одного виду під однією назвою до шифру документа, починаючи з другого, додають порядковий номер (наприклад, для документів типу «Таблиці» - шифри ТБ1, ТБ2, ТБ-3 і т. д.).

Відомість документів повинна містити перелік всіх документів СПІЗ АСУТП, розроблених для технічного проєкту даної системи і прийнятих з технічних проєктів та робочої документації інших систем.

При цьому записують тільки ті документи, які необхідні і достатні для розгляду і затвердження технічного проєкту даної АСУТП.

Документи по відомості комплектують в папки, книги або альбоми, до яких становлять опису відповідно до вимог ЕСКД, записують їх у кінці відомості і вказують, що документи скомплектовані в папки, книги або альбоми згідно з цими описами. Відомість поміщають першим документом першої папки, книги або альбому. Графи відомості заповнюють відповідно до вимог ЕСКД.

### **5.3 Зміст пояснювальної записки СПІЗ**

Пояснювальна записка СПІЗ АСУТП повинна містити наступні розділи:

- вступ;
- опис технологічного об'єкта управління;
- загальні постановки завдань управління технологічним процесом;
- опис структури спеціального програмного та інформаційного забезпечення АСУТП;
- постановки функціональних завдань і опис структури інформаційного забезпечення АСУТП;
- методи і алгоритми вирішення функціональних завдань АСУТП;
- технічні вимоги до СПІЗ АСУТП.



Вступ – містить основні відомості про розроблюваної системі і технологічному об'єкті управління, перелік документів, на підставі яких розробляються документи СПІЗ АСУТП і технічний проєкт системи в цілому з зазначенням дати їх затвердження. Тут же має бути вказано призначення і область застосування проєктованого СПІЗ АСУТП, відомості про використання в документах результатів робіт.

Опис технологічного об'єкта управління містить принципову схему реалізації технологічного процесу на технологічному обладнанні та короткий змістовний опис технологічного процесу як об'єкта управління або посилання на документ технічного проєкту АСУТП, в якому наведено докладний його опис.

Загальні постановки задач управління технологічним процесом – розділ, в якому розкривається сутність завдань управління технологічним процесом автоматизованого технологічного комплексу в змістовному і формалізованому вигляді, включаючи формулювання критеріїв управління і характеристику керуючих впливів на технологічний об'єкт з урахуванням обмежень на зміну вхідних і вихідних параметрів технологічного процесу.

У цьому розділі повинні бути описані принципи декомпозиції задач управління на функціональні завдання і дано обґрунтовано можливість і доцільність їх застосування до тієї чи іншої задачі управління АСУТП. При цьому в якості функціональної завдання повинна розглядатися задача реалізації тих чи інших інформаційних і керуючих функцій системи управління (збір, перетворити зберігання інформації про стан технологічного об'єкта, уявлення інформації оперативному персоналу, вироблення рішень і здійснення управляючих впливів на технологічний об'єкт управління).

Опис структури СПІЗ АСУТП – дані перелік функціональних завдань систем і короткий опис їх логічної та інформаційної взаємозв'язку.

Постановки функціональних завдань і опис структури інформаційного забезпечення АСУТП – розділ, в якому описана техніко-економічна сутність кожної функціональної завдання, вхідні і вихідна інформація і структури інформаційних масивів, система кодування технологічний і техніко-економічної інформації, довідкова та оперативна інформація для вирішення функціональних завдань АСУТП.

Постановки функціональних завдань повинні бути приведені в змістовному і формалізованому вигляді. Змістовне опис функціональної завдання повинно включати відомості про сутність процесу обробки інформації, фізичну природу явищ технологічного процесу, що реалізується на технологічному обладнанні, про місце і значення кожного явища в загальному процесі функціонування описуваної реальної системи, про зв'язок і характер взаємодії між окремими явищами.

Формалізоване опис функціональної завдання повинно включати



перелік і позначення вхідних, вихідних проміжних параметрів і використовуваних констант, розмірності і діапазони зміни (рекомендується застосовувати табличний спосіб опису параметрів), повну систему відносин між змінними (формули, рівняння, логічні умови і т. п.), математичне формулювання розв'язуваної задачі. Не рекомендується викладати висновки використовуваних формул, рівнянь і т. п. (Ці матеріали можуть бути приведені в додатку до пояснювальної записки).

Для кожної функціональної завдання повинно бути зазначено її місце в комплексі завдання і зв'язок з іншими завданнями системи, описані специфічні особливості, якщо такі є, визначені методи організації вхідних, проміжних і вихідних інформаційних масивів, вказаний максимально допустимий час затримки рішень, черговість виконання, спосіб запуску кожного завдання в системі на виконання, подано перелік інформаційних масивів, загальних для двох або більше інформаційних завдання системи і описана їх структура.

Методи і алгоритми вирішення функціональних завдань АСУТП – розділ, в якому для кожної функціональної завдання описуються метод і алгоритм її вирішення, порівняльна оцінка застосованого методу з іншими можливими методами рішення і наведено обґрунтування його вибору, дана інформаційна модель, що містить чітке виклад ідей прийнятого методу розв'язання задачі. Для кожного алгоритму повинні бути приведені схема і її докладний опис, а також змістовне і формалізований опис вхідних проміжних і вихідних параметрів.

Опис кожного параметра має містити:

- назва параметра і його умовне позначення на схемі алгоритму;
- тип величин (двійкова, символний);
- формат величини (ціла, формат з плаваючою комою і ін.) для параметрів;
- періодичність оновлення інформації по кожному параметру;
- спосіб організації контролю обчислень, мінімальне і максимальне значення параметра;
- назва алгоритмів або програм, які готують інформацію і (або) які її використовують.

Для вхідних параметрів алгоритму, інформація за якими вводиться обчислювальний комплекс через пристрої введення-виведення (введення з клавіатури і подібних пристроїв), опис має містити:

- назви документів, в яких вони представлені;
- вимоги до підготовки вихідних даних (інформації) для введення в обчислювальний комплекс.

Повинні бути наведені схеми й описи алгоритмів внесення змін при необхідності коригування інформації, введеної в пам'ять обчислювального комплексу, перелік можливих помилок у вихідних даних і причин їх виникнення, способи автоматичного виявлення і



виправлення помилок, схеми й описи алгоритмів виправлення помилок в автоматичному режимі (при неможливості виправлення помилки в автоматичному режимі, але за умови її виявлення повинні бути вказані дії і вид інформації, котра видається обчислювальним комплексом оперативному персоналу при виникненні зазначеної вище ситуації).

Для вхідних параметрів алгоритму, інформація за якими вводиться в пам'ять обчислювального комплексу через спеціальні пристрої зв'язку з об'єктом; повинні бути приведені:

- технічні характеристики сигналів від джерела інформації (фізичне уявлення сигналу, його розмірність, межі зміни, час знаходження сигналу на виході джерела інформації);

- вимоги до організації введення інформації (періодичність, порядок опитування однотипних джерел інформації);

- опис схем підключення джерел інформації до обчислювального комплексу і назви алгоритмів, що використовують інформацію по контрольованому параметру;

- потрібний об'єкт або рекомендований обсяг пам'яті для зберігання інформації по контрольованому параметру;

- допустимий час затримки введення інформації по відношенню до моменту виникнення запиту на обслуговування від ініціативного джерела інформації.

Для вихідних параметрів алгоритму, інформація з яких виводиться на об'єкт від ЕОМ через спеціальні пристрої зв'язку з об'єктом, повинні бути приведені:

- схеми виведення сигналів на об'єкт;

- вимоги до фізичного поданням сигналів (аналогові такі, напруги частотні сигнали, дискретні сигнали);

- вимоги до тривалості часу знаходження сигналів на вході приймачів інформації (регулятора, виконавчого механізму, аналогового або цифрового приладу і ін.);

- потрібний об'єкт або рекомендований обсяг пам'яті для зберігання інформації по вихідній параметру.

Загальні постановки задач управління технологічним процесом – розділ, в якому розкривається сутність завдань управління технологічним процесом автоматизованого технологічного комплексу в змістовному і формалізованому вигляді, включаючи формулювання критеріїв управління і характеристику керуючих впливів на технологічний об'єкт з урахуванням обмежень на зміну вхідних і вихідних параметрів технологічного процесу, описані принципи декомпозиції задач управління на функціональні завдання і дано обґрунтовано можливість і доцільність їх застосування до тієї чи іншої задачі управління АСУТП.

При цьому в якості функціональної завдання повинна розглядатися задача реалізації тих чи інших інформаційних і керуючих функцій



системи управління (збір, перетворити зберігання інформації про стан технологічного об'єкта, уявлення інформації оперативному персоналу,

Опис структури СПІЗ АСУТП – дані перелік функціональних завдань систем і короткий опис їх логічної та інформаційної взаємозв'язку.

Постановки функціональних завдань і опис структури інформаційного забезпечення АСУТП – розділ, в якому описана техніко-економічна сутність кожної функціональної завдання, в загальному вигляді описані вхідна та вихідна інформація і структури інформаційних масивів, включаючи єдину систему кодування технологічний і техніко-економічної інформації, довідкова та оперативна інформація для вирішення функціональних завдань АСУТП.

Постановки функціональних завдань повинні бути приведені в змістовному і формалізованому вигляді. Змістовне опис функціональної завдання повинно включати відомості про сутність процесу обробки інформації, фізичну природу явищ технологічного процесу, що реалізується на технологічному обладнанні, про місце і значення кожного явища в процесі функціонування описуваної реальної системи, про зв'язок і характер взаємодії між окремими явищами.

Формалізоване опис функціональної завдання повинно включати перелік і позначення вхідних, вихідних проміжних параметрів і використовуваних констант, розмірності і діапазони зміни (рекомендується застосовувати табличний спосіб опису параметрів), повну систему відносин між змінними (формули, рівняння, логічні умови і т. п.), математичне формулювання завдання розв'язуваної на заданій системі відносин. Не рекомендується викладати висновки використовуваних формул, рівнянь і т. п. (Ці матеріали можуть бути приведені в додатку до пояснювальної записки).

Для кожної функціональної завдання повинно бути зазначено її місце в комплексі завдань і зв'язок з іншими завданнями системи, описані специфічні особливості, якщо такі є, визначені методи організації вхідних, проміжних і вихідних інформаційних масивів, вказаний максимально допустимий час затримки рішень, черговість виконання, спосіб запуску кожного завдання в системі на виконання, подано перелік інформаційних масивів, загальних для двох або більше інформаційних завдання системи, і описана їх структура.

Методи та алгоритми вирішення функціональних задач АСУТП – розділ, в якому для кожного функціонального завдання описуються метод і алгоритм його вирішення, порівняльна оцінка застосованого методу з іншими можливими методами рішення і наведено обґрунтування його вибору, дана інформаційна модель, що містить чітке виклад ідей прийнятого методу розв'язання задачі. Для кожного алгоритму повинні бути приведені схема і її докладний опис, а також змістовне і формалізований опис вхідних проміжних і вихідних параметрів. Опис кожного параметра має містити:



- назва параметра і його умовне позначення на схемі алгоритму;
- тип величин (двійковий, символний);
- формат величини (ціла, формат з плаваючою комою і ін.) для тих параметрів, на вибір формату яких існує ембарго;
- періодичність оновлення інформації по кожному параметру;
- спосіб організації контролю обчислень, мінімальне і максимальне значення параметра;

- назва алгоритмів, які готують інформацію і які її використовують.

Для вхідних параметрів алгоритму, інформація за якими вводиться обчислювальний комплекс через пристрої введення-виведення (напр., З клавіатури, файлу та ін.), Опис має містити назви документів, в яких вони представлені і вимоги до підготовки вихідних даних (інформації) для введення в програму.

Повинні бути наведені схеми й описи алгоритмів внесення змін (коригування інформації), введеної в АСУТП, перелік можливих помилок у вихідних даних і причин їх виникнення, способи автоматичного виявлення і виправлення помилок, схеми й описи алгоритмів виправлення помилок в автоматичному режимі. При неможливості виправлення помилки в автоматичному режимі, але за умови її виявлення повинні бути вказані дії і вид інформації, котра видається обчислювальним комплексом оперативному персоналу при виникненні зазначеної вище ситуації).

Для вхідних параметрів алгоритму, інформація за якими вводиться в пам'ять обчислювального комплексу через спеціальні пристрої зв'язку з об'єктом, повинні бути приведені:

- технічні характеристики сигналів від джерела інформації (фізичне уявлення сигналу, його розмірність, межі зміни, час знаходження сигналу на виході джерела інформації);

- вимоги до організації введення інформації (періодичність, порядок опитування однотипних джерел інформації);

- опис схем підключення джерел інформації до обчислювального комплексу, назви алгоритмів, що використовують інформацію по контрольованому параметру;

- необхідний або рекомендований обсяг пам'яті для зберігання інформації по контрольованому параметру;

- допустимий час затримки введення інформації;

для вихідних параметрів алгоритму, інформація з яких виводиться на об'єкт обчислювального комплексу через спеціальні пристрої зв'язку з об'єктом, повинні бути приведені:

- схеми виведення сигналів на об'єкт;

- вимоги до фізичного поданням сигналів (аналогові такі, напруги частотні сигнали, дискретні сигнали);

- вимоги до тривалості часу знаходження сигналів на вході приймачів інформації (регулятора, виконавчого механізму, аналогового або



цифрового приладу і ін.);

потрібний об'єкт або рекомендований обсяг пам'яті для зберігання інформації по вихідній параметру;

вимоги до організації виведення сигналу по кожному вихідному параметру (наприклад, періодичність виведення, порядок виведення інформації для однотипних приймачів інформації).

Для алгоритмів, що забезпечують виведення інформації оперативному персоналу на пристрої друку або індикації даних, має бути дано опис:

форм вихідних документів (форми документів повинні бути накреслені або віддруковані з точною фіксацією кожного показника в документі);

показників в документі (граничні значення, кількість знаків до і після коми, розмірність, точність заокруглень тощо.);

способів членування інформації на сторінках (інтервали між рядками, оформлення заголовків, назв таблиць, нумерація сторінок та ін.);

способів контролю вихідних документів.

Для перевірки правильності функціонування програм, що реалізують на обчислювальному комплексі алгоритм вирішення конкретної функціональної задачі, в цьому розділі пояснювальної записки повинні бути приведені схеми алгоритмів контрольних прикладів і їх докладні описи, а також контрольні розрахунки до них, які можна оформляти у вигляді окремих документів, що містять схему розрахунку параметрів, вихідні дані та умови, розрахунок і висновок.

Порядок викладу визначається характером розраховуються параметрів. Для контрольних розрахунків повинні бути підібрані вихідні дані, що забезпечують охоплення всіх або основних варіантів вирішення, передбачених по конкретному алгоритму рішення функціональної задачі.

Технічні вимоги до спеціального програмного та інформаційного забезпечення АСУТП – розділ, що містить основні вимоги, які необхідно враховувати при розробці СПЗ АСУТП (вимоги до мови програмування і типу обчислювального комплексу, до типу операційної системи, на обсяг займаній оперативної і зовнішньої пам'яті обчислювального комплексу, обмеження на час затримки при виконанні програм, на утримання і склад робочої документації і ін.).

Таблиці, розрахунки і інші документи розробляються у вигляді окремих документів тільки з метою забезпечення зручності їх використання в процесі розробки програмного та інформаційного забезпечення АСУТП. Як правило, вони розробляються в якості додатків до пояснювальної записки.

Алгоритми рішення функціональних задач повинні бути оформлені у вигляді формул або у вигляді схем відповідно до правил виконання,



встановленими ДСТУ з використанням умовних графічних позначень по ДСТУ і супроводжуватися описами.

### **Контрольні питання**

1. З яких розділів складається технічне завдання на розробку СПІЗ?
2. Склад технічного проекту СПІЗ.
3. Яку інформацію містить розділ «Загальні постановки задач управління технологічним процесом»?
4. Яку інформацію містить розділ «Постановки функціональних задач і опис структури інформаційного забезпечення АСУТП».
5. Що має містити опис вхідного параметра?
6. Технічні вимоги до спеціального програмного та інформаційного забезпечення АСУТП.



## ЛЕКЦІЯ 6. ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП

### План

- 6.1 Програми і програмні документи СПІЗ
- 6.2 Документи на програми і комплекси програм
- 6.3 Керівництва програміста і оператора АСУТП
- 6.4 Порядок і методика випробувань
- 6.5 Організація розробки основних документів

### 6.1 Програми і програмні документи СПІЗ

Розробка спеціального програмного та інформаційного забезпечення проводиться на підставі технічного завдання по вихідним даним, що містяться в документах СПІЗ. Завдання на програмування повинно містити опис алгоритмів, вказівку про конфігурацію технічних засобів, мовою програмування, операційній системі і відповідати вимогам державних стандартів. Залежно від вимог технічного завдання, до складу розроблюваного спеціального програмного забезпечення АСУТП програмні документи розробляються:

- на окремі програми;
- на комплекс програм підсистеми і системи.

Види програмних документів в залежності від складу спеціального програмного забезпечення АСУТП, що розробляються на стадії робочого проєкту, наведені в таблиці 6.1.

Специфікація – документ, що складається з розділів: Документація та Програма. Найменування кожного розділу вказується у вигляді заголовка в графі Найменування і підкреслюється.

Документація – в залежності від складу програмного забезпечення АСУТП, на яке розробляється специфікація, записуються всі програмні документи, розроблені для окремих програм, комплексів програм окремих підсистем і системи в цілому, починаючи з програмних документів на комплекс програм системи і завершуючи програмними документами на окремі програми. Програмні документи на кожен комплекс або програму повинні записуватися в послідовності, в якій вони перераховані. Програмні документи записуються із зазначенням їх позначень найменувань, кількості тестів.

Програма – записуються всі програми в порядку зростання їх реєстраційних номерів і номерів частин програм, зазначених в позначеннях програм. Програми записуються із зазначенням їх позначень і найменувань. При цьому в специфікацію не включаються програми, які відносяться до загальному програмному забезпеченню проєктованої АСУТП. У цьому ж розділі записуються програми до складу комплексів програм окремих підсистем, а також окремі програми, які не ввійшли ні в один з перерахованих комплексів.



Таблиця 6.1 – Види програмних документів

Код виду документу	Вид документа	окремих програм	комплекс програм	
			Підсистеми	Системи
-	Специфікація	0	0	0
05	Відомість держателя оригіналів	-	-	-
12	текст програми	0	0	0
13	опис програми	0	0	0
20	Відомість експлуатаційних документів	+	+	+
30	формуляр	-	+	+
31	Загальний опис	-	+	+
32	Керівництво системного програміста			
33	Керівництво програміста			
34	Керівництво програміста	-	+	+
51	Керівництво оператора			
	Порядок і методика випробування	+	+	+
90	Документи інші	+	0	0
		+	0	0
		+	+	+

Відомість держателя оригіналів (застарілий) – документ спеціального програмного забезпечення складається на комплекс програм і програмних документів АСУТП в цілому на підставі всіх специфікацій на окремі програми і комплекси програм системи і її окремих підсистем і програмних документів на них.

На початку відомості записують програмні документи, оригінали яких зберігаються в організації-тримачі оригіналу специфікації на комплекс програм системи. Далі записують програмні документи, оригінали яких зберігаються в інших організаціях.

Запис проводиться за тематичним принципом наступній послідовності:

- програмні документи на складові частини;
- документи посилальні.

Найменування розділів записують у вигляді заголовків в графі Найменування і підкреслюють.

Програмні документи ні складові частини – вказуються специфікації складових частин спеціального програмного забезпечення (окремих програм, комплексів програм, окремих підсистем) без перерахування входять до них програмних і довідкових документів.



Комплекс оригіналів програмних і довідкових документів, що зберігаються в організації – утримувачі оригіналу специфікації на комплекс програм системи, записують за позначенням специфікації на комплекс програм системи. Запис повинен бути першою в цьому розділі документа.

Потім записують документи на окремі підсистеми і окремі програми системи в порядку зростання позначень.

Документи посилальні – записуються в порядку зростання позначень, застосовані з інших систем з інших систем.

Графи відомості власників оригіналів заповнюють наступним чином:

- а) в графі Позначення вказують позначення документа;
- б) в графі Найменування:

для комплексу оригіналів програмних і довідкових документів комплексу програм системи, на який складається відомість власників оригіналів, роблять запис, наприклад, по типу «Комплекс програм АСУТП прокатки товстолистового цеху. Комплект документів за винятком записаних нижче»;

для документів на складові частини спеціального програмного забезпечення системи приводять найменування складової частини відповідно до найменування, вказане в основному написі специфікації на складову частину системи (на програму, комплекс програм підсистеми);

для посилальних документів призводять повне найменування посилального документа. У графі «Кількість аркушів» вказують кількість аркушів в комплекті документа на день складання відомості власників оригіналів.

Дату складання документа вказують в заголовку графи. Графу заповнюють тільки для документів, оригінали яких зберігаються на підприємстві-тримачі оригіналу специфікації на комплекс програм системи. Наступні зміни кількості аркушів в відомість не вносять;

с) в графі Тримач оригіналу вказують відомчу приналежність (міністерство) і в установленому порядку найменування організації держателя оригіналу. При записи організацій-власників оригіналів, які стосуються одного відомству (міністерству), в двох і більше наступних рядках одного листа відомості найменування відомства (міністерства) вказують тільки при першій згадці і надалі не повторюють;

- д) в графі Примітка вказують, при необхідності, додаткові відомості.

## **6.2 Документи на програми і комплекси програм**

Текст програми (Тексти програм) – документ, що розробляється на окрему програму або комплекси програм АСУТП в цілому або її окремих підсистем і містить машинні роздруківки програм (лістинги) на машинно-



орієнтованій, алгоритмічній або іншій мові, які використовувалися при розробці програм системи. При цьому до них не включають лістинги програм, що входять до складу загального програмного забезпечення обчислювальних комплексів АСУТП, що не використовуються в системі. У разі застосування програм, розроблених для інших систем, в документ повинні включатися їх машинні роздруківки (лістинги) і повинні міститися посилання на документи, що містять їх описи.

Опис програми (Опис програм) – документ, що розробляється на окремі програми або комплекси програм АСУТП в цілому або її окремих підсистем і містить схему кожної програми, опис програми по схемі і її машинної роздруківці (лістингу), опис вхідних, проміжних і вихідних інформаційні масивів, загальних для декількох програм, із зазначенням елементів використовуваних масивів. Опис кожної програми рекомендується оформляти у вигляді розділу програмного документа, який повинен містити такі відомості:

- найменування програми (повне та скорочене);
- призначення, область застосування і обмеження на застосування програми;
- посилання на Рисунок, де показана блок-схема програми;
- мова програмування (його опис при використанні спеціальної мови);
- опис конфігурації обчислювального комплексу із зазначенням використовуваних програмою пристроїв (модулів) обчислювального комплексу;
- тип операційної системи, на роботу з якої спрямована програма;
- спосіб включення перепони (звернення до програми);
- умови настройки і запуску програми на виконання;
- особливі ситуації програми;
- час виконання програми;
- обсяг пам'яті обчислювального комплексу, яку він обіймав програмою;
- опис структури масивів, використовуваних програмою;
- опис вхідних, проміжних і вихідних параметрів програми;
- опис форм вихідних документів або повідомлень, якщо вони формуються програмою;
- додаткові відомості про програму на розсуд розробника.

При цьому ступінь деталізації схем програм повинна бути такою, щоб однозначно і повно відображати всі функції (операції) програми і послідовність їх виконання бути достатньою для розуміння способу реалізації алгоритму програмним шляхом.

Вимоги до опису програм контрольних прикладів, використовуваних для перевірки правильності функціонування програм, ідентичні вимогам до опису програм системи.

Відомість експлуатаційних документів розробляється на окремі



програми або комплекси програм АСУТП в цілому або її окремих підсистем. Експлуатаційні документи, розроблені для програм, записуються в наступному порядку:

- на комплекс програм системи;
- на комплекси програм її окремих підсистем;
- на окремі програми.

У відомості по кожному експлуатаційному документу зазначаються найменування документа, його позначення та кількість аркушів в документі. Формуляр – розробляється на комплекси програм АСУТП або окремих її підсистем, які передбачається використовувати в інших АСУТП в якості типових і складається з наступних розділів: загальні вказівки, загальні відомості, основні характеристики, комплектність поставки, свідоцтво про приймання, гарантійні зобов'язання, відомості про рекламачії, відомості про зберігання, відомості про закріплення при експлуатації, відомості про зміни, особливі відмітки.

Загальні вказівки – наводяться загальні рекомендації щодо застосування програм на технологічних об'єктах управління.

Загальні відомості – наводяться:

найменування комплексу програм системи або її окремих підсистем і позначення програмної документації по специфікації;

призначення і коротка характеристика області застосування програм з урахуванням як безпосереднього призначення для конкретного об'єкта управління, так і можливого застосування на інших об'єктах;

найменування об'єкта, на якому впроваджені програми в експлуатацію;

найменування та поштову адресу організації-розробника спеціального програмного забезпечення системи або її окремих підсистем;

інші дані.

Основні характеристики – наводяться дані, необхідні при експлуатації комплексу програм системи або її окремих підсистем (наприклад, тип операційної системи, опис конфігурації засобів обчислювального комплексу).

Комплектність поставки – наводиться перелік усіх проданих розробником програм системи або її окремих підсистем на машинних носіях інформації і програмних документів на них із зазначенням найменувань і позначень.

Свідоцтво про приймання – наводиться свідоцтво, підписане особами, відповідальними за відповідність програм на машинних носіях інформації програмним документам на них.

Гарантійне зобов'язання – наводиться гарантійне зобов'язання організації розробника спеціального програмного забезпечення АСУТП.

Відомості про рекламачії – наводиться короткий виклад порядку



пред'явлення рекламачії (залишається місце для реєстрації всіх пропонуванних рекламачій їх змісту та прийнятим з ним заходам).

Відомості про зберігання – наводяться дані про умови зберігання програм на машинних носіях інформації.

Відомості про закріплення при експлуатації – залишається місце для запису осіб, за якими закріплені програми системи або окремих підсистем носіях інформації на час їх експлуатації.

Відомості про зміни – залишається місце для вказівки документів, на підставі яких вносяться зміни в програми і програмні документи на них, короткий зміст внесених змін.

Загальний опис – документ, що розробляється на комплекси програм АСУТП в цілому або окремих її підсистем і містить:

опис структури, спеціального інформаційного забезпечення системи і (або) окремих підсистем;

структуру спеціального програмного забезпечення системи і (або) окремих підсистем;

загальний алгоритм функціонування системи і (або) її окремих підсистем:

– можливі варіанти використання спеціального програмного та інформаційного забезпечення системи і (або) її окремих підсистем на тій чи іншій конфігурації керуючого обчислювального комплексу (машини) під керуванням визначається операційної системи реального часу.

### **6.3 Керівництва програміста і чергового інженера/оператора АСУТП**

Керівництво системного програміста – документ, що розробляється на комплекс програм АСУТП в цілому або на її окремі підсистеми, призначений для використання при роботі щодо внесення змін до інформаційного та програмне забезпечення процесі експлуатації системи або підсистеми на об'єкті.

Він містить:

рекомендації по способу і порядку внесення змін до інформаційного та програмне забезпечення системи і (або) її окремих підсистем;

рекомендації щодо включення до підсистеми нових програм;

рекомендації по включенню, в систему нових підсистем;

опис засобів і способів переконфігурація програм системи або підсистеми при зміні конфігурації технічних засобів обчислювального комплексу та ін.

Керівництво програміста – документ, що розробляється на комплекси програм АСУТП в цілому або її окремих підсистем і містить такі відомості:

перелік програм, включених до складу програмного забезпечення АСУТП або її окремих підсистем із зазначенням позначень програм і їх



найменувань;

формати звернень до програм на алгоритмічних мовах та (або) асемблері;

короткий опис можливих варіантів застосування програм із зазначенням обмежень на їх застосування;

відомості про самоконфігурації програм;

відомості про використовувані засоби діагностики в програмах і ін.

Керівництво оператора – документ, що розробляється на Комплекси програм АСУТП в цілому або її окремих підсистем і містить опису:

конфігурації технічних засобів обчислювального комплексу;

дій оператора по завантаженню програм системи або окремої її підсистеми в пам'ять обчислювального комплексу;

дій оператора по початковому налаштуванні програм на виконання;

дій оператора за первісним запуску програм на виконання;

дій оператора по роботі за пультом обчислювального комплексу при нормальній роботі системи, при збоях і відмовах окремих пристроїв обчислювального комплексу;

дій оператора по перезапуску програм на виконання при усуненні причин відмов пристроїв;

дій оператора системи при запуску і зупинці ТОУ і (або) технологічного процесу, аваріях обладнання, при переході з нормального в аварійний режим роботи і навпаки та ін.

#### **6.4 Порядок і методика випробувань**

Порядок і методика випробувань – документ, призначений для використання при проведенні контрольних випробувань на об'єкті при їх здачі в дослідну або промислову експлуатацію. Розробляється для комплексу програм АСУТП в цілому або її окремих підсистем. Допускається розробка для контрольних випробувань при здачі програм організації-замовнику на контрольних прикладах, контрольних вхідних масивах, на даних від імітаторів датчиків технологічних параметрів та ін.

Документ розробляється на підставі технічного завдання на розробку спеціального програмного та інформаційного забезпечення АСУТП і включає перелік питань, що підлягають перевірці безпосередньо на об'єкті при проведенні випробувань.

Зазначений документ не повинен дублювати відомостей, що містяться в документі «Керівництво оператора».

У документ повинні бути включені наступні матеріали:

мета випробувань;

перелік програм, представлених на випробування;

короткий опис конфігурації обчислювального комплексу для проведення випробувань;

короткий опис результатів виконання програм:



опис дій оператора по випробуванню окремих програм і комплексів програм окремих підсистем і системи в цілому в нормальних і ненормальних умовах експлуатації;

опис, реакції програм на ненормальні ситуації;  
тривалість і режим випробування програм.

Цей документ є основним для проведення контрольних випробувань, розробляється організацією-розробником, узгоджується з підприємством, де повинні проводитися контрольні випробування, затверджується керівником організації-замовника спеціального програмного забезпечення АСУТП.

Документи інші – всі ті програмні документи, які розробляються для окремих програм і комплексів програм за рішенням організації-розробника спеціального програмного забезпечення АСУТП:

Інструкція з підготовки вхідних масивів даних, що вводяться в пам'ять обчислювального комплексу в процесі функціонування системи; інструкція із зберігання, відтворення, маркування машинних носіїв інформації і ін.

## **6.5 Організація розробки основних документів**

Залежно від участі в розробці та впровадженні АСУТП організації та підприємства можуть виконувати функції:

1. Замовника – юридичної особи, що фінансує роботи по створенню АСУТП і бере участь в зазначених роботах.

2. Виконавця – юридичної особи, що виконує роботи по створенню АСУТП відповідно до договору, укладеного з організацією-замовником або іншими чинними формами, які передбачають оплату робіт.

3. Співвиконавцями – юридичної особи, що виконує частину робіт зі створення АСУ ТП за договором з організацією-виконавцем або організацією-замовником. Замовником системи є організація або підприємство, для якого відповідно до договору здійснюється розробка і впровадження АСУТП.

Організація-виконавець АСУТП координує роботу організацій співвиконавців, виконує функції замовника по відношенню до виконавця, а також відповідає перед замовником за технічний рівень і якість розроблюваної АСУТП.

Організація-виконавець відповідно до вимог замовника або за погодженням з ним розробляє технічне завдання на систему, а також технічні завдання на виконання окремих видів робіт з розробки та впровадження системи (в тому числі по розробці спеціального математичного та інформаційного забезпечення), погоджує технічні завдання з зацікавленими організаціями та затверджує їх.

Документи спеціального програмного забезпечення АСУТП, розроблені три програмами, що задовольняє вимогам технічного



завдання, узгодження і затвердження в організації-замовника не підлягають. Факт відповідності програм вимогам технічного завдання встановлюється в результаті випробувань програм, передбачених технічним завданням, і підтверджується двостороннім актом, затвердженим керівниками організації-замовника і організації-розробника спеціального програмного забезпечення АСУТП.

Програми-оригінали на машинних носіях інформації та оригінали програмних документів повинні зберігатися, в архіві організації розробника. Допускається передавання дублікатів програм і програмних документів в архів організації-замовника. У разі якщо дублікати програм і програмних документів не передаються в архів, то організації замовнику повинні бути передані копії всіх розроблених програм та програмних документів в двох примірниках.

### **Контрольні питання**

1. Види програмних документів АСУТП?
2. Які документи з пакета програмних документів АСУТП є застарілими?
3. Який з документів містить структуру спеціального програмного забезпечення системи і загальний алгоритм функціонування системи і (або) її окремих підсистем?
4. Які відомості включаються в документи «Керівництво системного програміста» та «Керівництво програміста»?
5. В якому документі міститься інструкція по початкового запуску і перезапуску програмного забезпечення АСУТП?
6. Що включається в документ «Порядок і методика випробувань».
7. Поясніть, хто такий замовник, виконавець, співвиконавець.



## ЛЕКЦІЯ 7. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП

### План

7.1 Загальні положення

7.2 Схеми зв'язку з датчиками (про параметри ТП)

7.3 Особливості використання сигналів струму і напруги

### 7.1 Загальні положення

При проектуванні АСУТП до розробки інформаційного забезпечення висувають такі вимоги: отримання інформації про ТП в формі уніфікованого сигналу (УС); перетворення УС в цифровий код за допомогою АЦП; зменшення відстані від джерела отримання технологічної інформації про ТОУ і пристроїв перетворення цієї інформації.

Інформаційне забезпечення АСУ визначає способи і конкретні форми інформаційного відображення стану ТОУ як у вигляді даних ЕОМ, так і у вигляді документів, графіків, сигналів для їх подання персоналу, який бере участь в управлінні технологічним процесом. При розробці інформаційного забезпечення вирішують два класи завдань:

вибір і розробка структури комплексу технічних засобів (КТЗ) обробки і перетворення технологічної інформації (ТІ);

розробка алгоритмічного та програмного забезпечення процесів обробки ТІ.

Основні алгоритми обробки технологічної інформації наведені в лекції 5.

Вимоги до вибору ТЗ при розробці АСУТП полягають у використанні сучасних технічних засобів, переважно серійно випускаються. Крім того, технічні засоби повинні допускати можливість модернізації і поліпшення метрологічних характеристик.

Пристрої отримання інформації призначені для збору і перетворення інформації без зміни її змісту про контрольованих і керованих параметрах ТП. До них відносять: чутливі елементи, датчики, вимірювальні і нормуючі перетворювачі.

Ланцюжок проходження інформаційного сигналу про хід ТП:

1) Сигнал спрямований від ТОУ: ТП – Датчик – нормуючий перетворювач – Лінії зв'язку (канали передачі технологічної інформації) – гальванічна розв'язка – перетворення сигналів (I-U, U-I) – мультиплексор сигналів – АЦП – ЕОМ (мікроконтролер).

2) Сигнал спрямований від контролера до ТОУ: НВК (ЕОМ, мікроконтролер) – ЦАП – аналоговий демультимплексор – пускатель беск. реві. БР – Виконавчий механізм – Регулюючий орган – Техн. процес, де:

нормуючий перетворювач – пристрій, зазвичай виконується на базі



операційних підсилювачів для отримання стандартного сигналу;

модуль гальванічної розв'язки – використовуються в схемах для електричного поділу ліній датчиків і вхідних схем приймача сигналу для захисту вхідних ланцюгів електронних пристроїв.

аналоговий комутатор (мультиплексор) – використовується для підключення декількох вхідних аналогових сигналів до входу АЦП;

демультиплексор здійснює комутацію інформації з одного входу на один з декількох виходів.

## 7.2 Схеми зв'язку з датчиками (про параметри ТП)

4-х провідна схема – вимагає великих витрат сполучних проводів (рис. 7.1)

Технологічний параметр  $\triangleright$

Датчик

Приймач

Рисунок 7.1 – Чотирьохпровідна схема з'єднання

3-х провідна схема – є загальний провід (як для перетворення, так і для джерела живлення) (рис. 7.2).

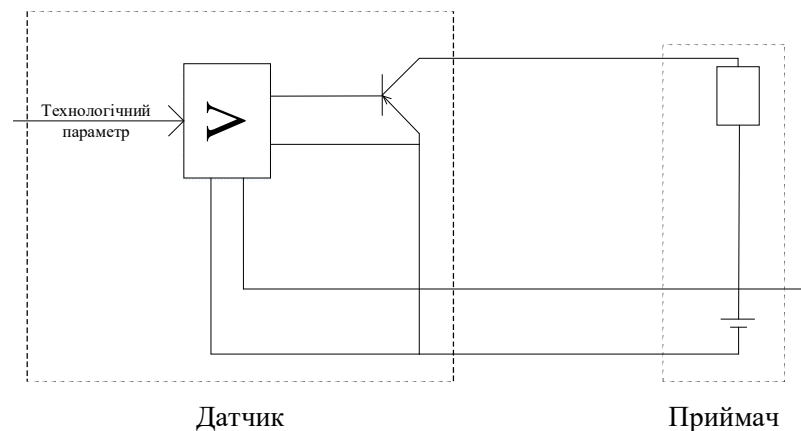


Рисунок 7.2 – Трьохпровідна схема з'єднання



Переваги – економія дроти, недоліки – різне навантаження (різне перетин), вносить додаткову похибка при передачі інформації.

2-х дротова схема- джерело живлення знаходиться в ланцюзі вимірювання (рис. 7.3). В таких схемах рекомендується використовувати сигнал з межами 4 – 20 мА, щоб контролювати наявність «0» ланцюга.

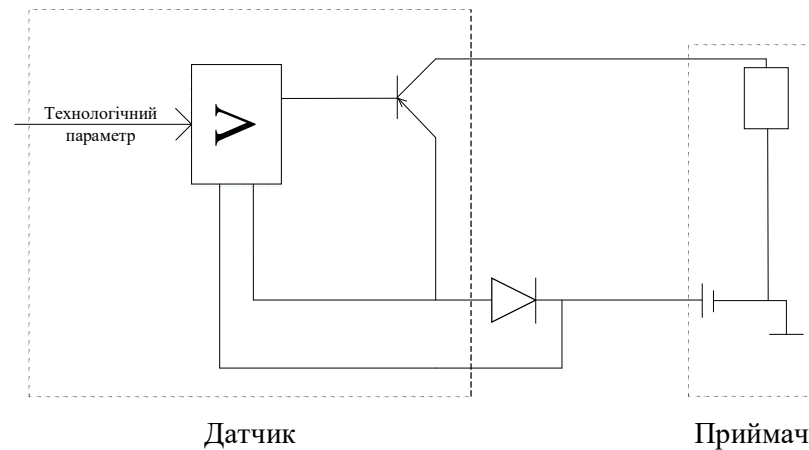


Рисунок 7.3 – Двопровідна схема з'єднання

Ця схема має модифікацію – 1 джерело енергії плюс груповий нормуючий перетворювач (ГНП) (рис.7.4). МН – модуль нормалізації (0 – 5 мА або 0 – 10 В).

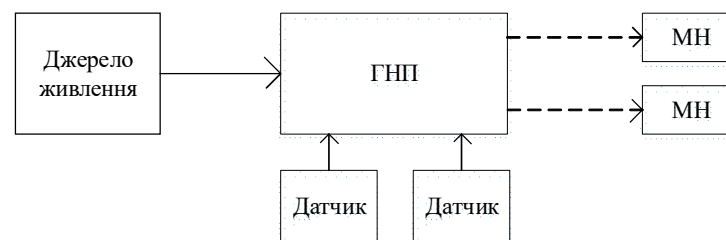


Рисунок 7.4 – Модифікація двопровідної схеми з'єднання

Однопровідна схема – спеціальні датчики, які дозволяють по одному дроту передавати і напругу живлення, і корисний сигнал про хід ТП (рис. 7.5).

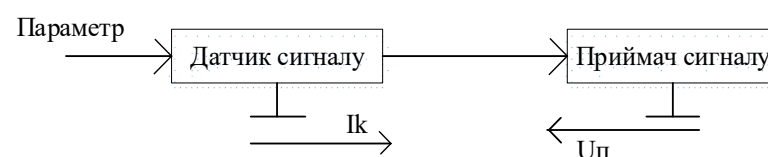


Рисунок 7.5 – Однопровідна схема з'єднання



### 7.3 Особливості використання сигналів струму та напруги

Вибір носія сигналу: напруга або струм. Вибір носія сигналу для передачі вимірювальних даних від датчика до комп'ютера залежить від різних факторів. декількох факторів. Основна вимога – сигнал повинен бути по можливості малочутливим до електричних збурень.

Головна причина популярності напруги для передачі сигналів - це, з одного боку, притаманна цьому методу простота, а з іншого - широка доступність пристроїв для посилення, фільтрації та інших видів обробки. Наприклад, якщо необхідно, щоб один і той же сигнал надійшов на вхід декількох схем, досить з'єднати ці схеми паралельно (з урахуванням вхідного імпедансу, див. рис.).

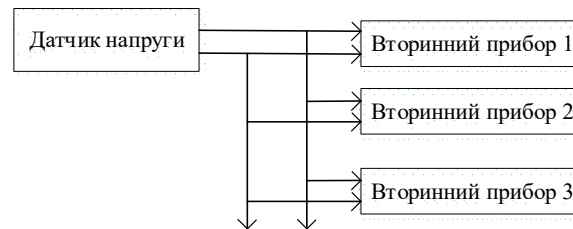


Рисунок 7.6 – З'єднання споживачів сигналів напруги (паралельне підключення)

Незважаючи на це, напругу не дуже часто використовується в промислових системах, оскільки сигнали в них повинні передаватися на великі відстані і вплив джерел перешкод може стати значним.

Передавання сигналу Струм. Для передачі сигналу на значну відстань краще використовувати не напруга, а струм, тому що він залишається постійним по довжині кабелю, а напруга падає через опір кабелю. На кінці кабелю струмовий сигнал можна перетворити в напругу за допомогою високоточної шунтуючого резистору.

При передачі струмових сигналів вихідна напруга датчика перетворюється операційним підсилювачем в струм. Приймач – операційний підсилювач на кінці ланцюга – в ідеалі повинен мати нульовий вхідний імпеданс. Насправді, імпеданс визначається шунтом і зазвичай має порядок декількох сотень Ом. Для струму 20 мА при опорі шунта 250 Ом падіння напруги становитиме 5 В. Якщо джерело сигналу, тобто перетворювач напруги в струм, має високий вихідний імпеданс, тоді будь-яка перешкода при передачі призведе до невеликого, зазвичай допустимому падінню напруги на шунт.

Струмові сигнали, як правило, використовуються на низьких частотах до 10 Гц. При постійному струмі і ідеальній ізоляції опір кабелю не впливає на сигнал, т. е. величина струму на вході приймача – обробної схеми – така ж, як на виході джерела сигналу. При змінному



струмі вплив ємнісного ефекту стає помітним і частина струму буде губитися по довжині кабелю, догляд або в зворотний провід, або в заземлений екран. Міжнародний стандарт IEC 381 рекомендує для передачі сигналів діапазон струмів 4 – 20 мА. Мінімальний рівень сигналу визначено як 4 мА, щоб можна було виявити розрив ланцюга (0 мА).

Перетворювач напруги в струм - стандартний елемент ланцюга. Сигнал передається по кручений парі, довжина якої може досягати кількох сотень метрів. Шунтувальний резистор для перетворення струму в напругу в діапазоні від 0 – 2 до 10 В повинен мати величину порядку 500 Ом.

Харчування датчика і перетворювача, а також передавання вихідного сигналу можуть здійснюватися по одній і тій же парі проводів. Це можна зробити за умови, що струм, споживаний датчиком і перетворювачем, не змінюється, тоді будь-яка зміна струму в ланцюзі, очевидно, відображає роботу датчика. Навпаки, передавання сигналу напругою вимагає трьох кабелів.

Підводячи підсумки, можна сказати, що вимірювальна система, яка використовує струм для передачі сигналу і датчик, гальванічно ізольований від вихідного сигналу, має кілька переваг:

- задовільно працює на протяжних комунікаціях;
  - допускає просту процедуру перевірки, оскільки величина струму 0 мА означає, що датчик відключений або лінія розімкнути;
  - забезпечує хороший захист від перешкод;
  - для системи досить тільки два дроти, що дозволяє знизити витрати.
- З'єднання споживачів сигналів струму наведено на рис.

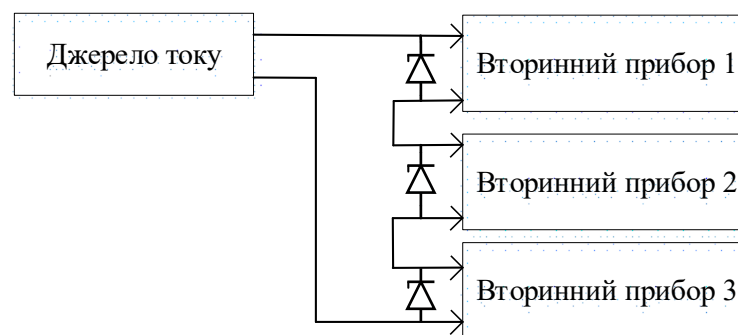


Рисунок 7.7 – З'єднання споживачів сигналів струму

Примітка. Використовують стабілітрон або модулі нормалізації для можливості відключення ВП для заміни (ремонту).

Для підвищення надійності використовують модулі розмноження сигналів.



## Контрольні питання

1. Ланцюжок проходження інформаційного сигналу від об'єкта в контролер (комп'ютер)?
2. Ланцюжок проходження інформаційного сигналу від контролера (комп'ютера) до виконавчого механізму.
3. Призначення нормує перетворювача, модуля гальванічної розв'язки, мультиплексора, демультимплексор, АЦП, ЦАП.
4. Поясніть роботу 4-х-, 3-х-, 2-х- і одно провідною схем підключення датчиків.?
5. Недоліки та переваги передачі сигналу напругою.
6. Переваги передачі сигналу струмом.
7. Схема з'єднання споживачів струму.



## ЛЕКЦІЯ 8. КОМПОНЕНТИ ІНТЕРФЕЙСУ МІЖ ПРОЦЕСОМ І КЕРУЮЧИМ КОМП'ЮТЕРОМ (КОНТРОЛЕРОМ)

### План

- 8.1 Датчики
- 8.2 Виконавчі пристрої (механізми)
- 8.3 Смуга пропускання і шум. Передавання вимірювальних сигналів
- 8.4 Характеристики датчиків

Важливими для управління є вимірювання і технологія датчиків. Датчики повинні точно відображати фізичні змінні технічного процесу як в стаціонарних, так і в перехідних режимах роботи.

### 8.1 Датчики

У більшості фізичних величин існує безліч різних вимірювальних технологій, що характеризуються залежністю між вироблюваним сигналом і вимірюваної величиною. Вимірювальний пристрій або датчик (sensor) складається з двох частин - вимірювальної головки (sensor head) і перетворювача (transducer), як показано на рис. 8.1.

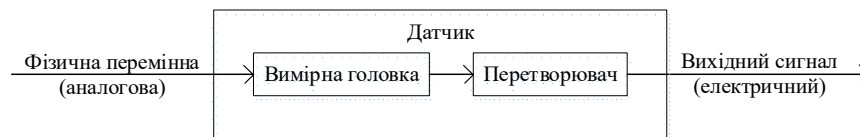


Рисунок 8.1 – Складові елементи датчика

Термін «датчик» іноді помилково вживається замість «вимірювальної головки».

Результат вимірювання – це «реакція вимірювальної головки датчика», яка на виході перетворювача являє собою електричну величину, що поширюється далі по провіднику. Відповідно до ГОСТ 16263-70 цей пристрій називається первинним вимірювальним перетворювачем (primary measuring transducer), його частина, на яку безпосередньо впливає вимірювана величина, - чутливим елементом (detector), а всі наступні складові вимірювального ланцюга – вимірювальним перетворювачем.

У більшості керуючих систем вихідний сигнал зазвичай (і переважно!) електричний, проте досить часто зустрічаються і пневматичні датчики. Головне достоїнство електричних датчиків - це гнучкість і різноманітність способів обробки сигналу. Слід зазначити, що електричний сигнал можна передавати на великі відстані з дуже малими витратами енергії. Пневматичні датчики, в порівнянні з електричними,



зазвичай дешевше, менше за розмірами, простіше і нечутливі до збурень. Більш того, в умовах вибухо– і пожежонебезпечної середовища пневматичні датчики більш безпечні, ніж електричні.

Розрізняють три класи датчиків:

аналогові датчики, т. е. датчики, що виробляють аналоговий сигнал;

цифрові датчики, які генерують послідовність імпульсів або двійкове слово;

бінарні (двійкові) датчики, які виробляють сигнал тільки двох рівнів: «включено / вимкнено» (інакше кажучи, 0 або 1).

## 8.2 Виконавчі пристрої (механізми)

Виконавчий пристрій або механізм (Actuator) перетворює електричну енергію в механічну або в фізичну величину для впливу на керований процес. Електродвигуни, що керують «суглобами» промислового робота, і є виконавчі механізми. У технологічних процесах металургійної, хімічної, харчової та ін. Галузях кінцевими керуючими елементами можуть бути клапани, засувки, що задають витрати реагентів. Слід підкреслити, що виконавчі пристрої зазвичай лише опосередковано впливають на змінні фізичних процесів, вимірювані датчиками. Наприклад, датчики вимірюють температуру, координати або хімічну концентрацію, а виконавчі пристрої управляють підведенням тепла, рухом або потоками вихідних реагентів. І вже від динаміки фізичної системи залежить, як вимірювані величини зміняться через управляючих впливів виконавчих пристроїв.

У складі виконавчого пристрою можна виділити дві частини (рис. 8.2): по-перше, перетворювач (transducer) і / або підсилювач (amplifier), по-друге, силовий перетворювач (converter) і / або виконавчий механізм (actuator).



Рисунок 8.2 – Складові елементи виконавчого механізму

Виконавчий механізм перетворює вхідний сигнал в механічну або фізичну величину. Наприклад, електричний двигун перетворює електричну енергію в обертальний рух. Підсилювач змінює малопотужний керуючий сигнал, одержуваний від вихідного інтерфейсу комп'ютера, до значення, здатного привести в дію перетворювач. У деяких випадках підсилювач і перетворювач конструктивно складають одне ціле. Таким чином, деякі кінцеві керуючі елементи можуть являти



собою самостійну систему управління – вихідний сигнал комп'ютера є опорним значенням для кінцевого керуючого елемента.

Вимоги до виконавчих пристроїв - споживана потужність, роздільна здатність, повторюваність результату, робочий діапазон і т. д. – можуть суттєво відрізнитися в залежності від конкретного додатка. Для успішного управління процесом правильно вибрати виконавчі пристрої так само важливо, як і датчики.

Для переміщення клапанів часто застосовується стиснене повітря. Якщо необхідно розвивати значні зусилля, зазвичай використовують гідропривід. Електричний сигнал комп'ютера повинен бути перетворений в тиск або витрата повітря або масла.

Бінарне управління забезпечується електромеханічними реле або електронними перемикачами.

### **8.3 Смуга пропускання та шум. Передавання вимірних сигналів**

Два важливі чинники – ширина смуги пропускання і рівень шуму – визначають спосіб передачі сигналів між комп'ютером і фізичним процесом. Смуга пропускання (bandwidth) є важливим параметром для багатьох технічних додатків – передавання даних, системні шини, управління зі зворотним зв'язком, - проте в різних випадках термін має різні значення. У передачі інформації і управлінні зі зворотним зв'язком смуга пропускання позначає діапазон частот, в межах якого амплітудно-частотна характеристика залишається менше заданого значення (зазвичай 0.707 від максимального). Для системних шин смуга пропускання є синонімом терміну «пропускна здатність». При обробці сигналів управління і моніторингу смуга пропускання визначається як діапазон робочих частот датчика або виконавчого механізму – тільки ті фізичні величини, робочі частоти яких лежать в смузі пропускання, можна належним чином виміряти або змінити.

Це означає, що швидкість реакції датчика достатня для правильного відображення змін вихідної фізичної величини, при цьому сигнал не спотворюється через невідповідність динаміки датчика і процесу. Аналогічно, виконавчий механізм повинен мати відповідну смугу пропускання, щоб реалізувати потрібне керуючий вплив. Чим ширше смуга пропускання, тим швидше буде реакція датчика або виконавчого механізму. Останнє не завжди є позитивним фактором, оскільки в цьому випадку пристрій більш вразливе до небажаних високочастотним збудженням.

Будь-вимірювальний сигнал спотворюється збуреннями (disturbances) і рівнем шуму (noise) як в процесі формування, так і передачі. Одна з основних проблем передачі сигналу – зменшення впливу шуму. Джерела шуму повинні бути ізольовані, або, в крайньому



випадку, їх вплив повинен бути знижений до мінімально можливого рівня. Спотворення сигналів або повідомлень шумом проявляється при будь-яких типах передачі інформації. Регулятори зазвичай проєктуються в розрахунку на наявність збурень і шумів.

Передавання вимірювальних сигналів. Аналогові сигнали, що виробляються вимірювальними пристроями, зазвичай необхідно так чи інакше перетворити перш, ніж ввести їх в комп'ютер. Сигнал у вигляді напруги повинен бути посилений так, щоб відповідати діапазону напруг інтерфейсу комп'ютера. Більш того, іноді рівень напруги датчика повинен бути зміщений, щоб привести у відповідність мінімальний рівень виходу датчика з мінімальною напругою інтерфейсу комп'ютера. Ця процедура називається узгодженням сигналу.

При передачі аналогових сигналів існують специфічні проблеми, обумовлені електричними збуреннями. Сигнал, який передається від датчика по електричному провіднику, може піддатися зашумленню під впливом середовища через небажаних зв'язків резистивного, індуктивного або ємнісного характеру. Цей шум може спотворити вихідний сигнал. Одне з можливих рішень – перетворити аналоговий вимірювальний сигнал в послідовність імпульсів, частота або тривалість (ширина) яких відомим чином пов'язана з рівнем вихідного сигналу, а потім передавати цей перетворений вимірювальний сигнал. Такий перехід особливо корисний, коли зовнішній шум має ту ж частоту, що і вихідний сигнал. Послідовність імпульсів може передаватися або по електричному, або по волоконно-оптичному кабелю.

#### **8.4 Характеристики датчиків**

Датчик повинен відтворювати фізичну величину максимально швидко і точно. Хоча найчастіше датчик вибирають виходячи з надійності та зручності обслуговування, його точність, стабільність і повторюваність результатів залишаються найважливішими факторами. Основою роботи керуючого комп'ютера є вхідна інформація, тому точні і надійні вимірювання - це необхідна умова якості управління.

Велика частина характеристик датчика, які наводяться в технічному описі, - статичні параметри. Ці параметри не показують, наскільки швидко і точно датчик може виміряти сигнал, що змінюється з великою швидкістю. Властивості, що відображають роботу датчика в умовах, що змінюються вхідних впливів, називаються динамічними характеристиками (dynamic characteristic).

Вони суттєво впливають на роботу системи управління. Ідеальний датчик миттєво реагує на зміну вимірюваної фізичної величини. На практиці будь-якого датчика потрібен певний час на відпрацювання нового вхідного сигналу. Очевидно, що для адекватного відображення реальних змін спостерігається величини час реакції датчика має бути



якомога менше. Це той же самий принцип, який застосовується до всієї системи управління (комп'ютера) процесом реального часу в цілому: тимчасові характеристики фізичного процесу визначають швидкодію системи (продуктивність комп'ютера). Однак частіше потрібно компроміс між швидкістю реакції датчика і його чутливістю до шуму.

Точність (Accuracy) основна характеристика будь-якого датчика, що визначає похибка його вимірювань; вона може бути віднесена до датчика в цілому або до конкретного його показання. Дозвіл (resolution) – це найменше відхилення вимірюваної величини, яке може бути зафіксовано і відображено датчиком. Дозвіл набагато частіше, ніж точність, вказується в технічних описах. Точність датчика залежить не тільки від його апаратної частини, а й від інших елементів вимірювального комплексу. Похибка (помилка) вимірювання (measurement error) визначається як різниця між виміряною і дійсною величинами. Оскільки дійсна величина невідома, в якому випадку оцінку точності можна зробити на основі еталонних вимірювань або поглибленого аналізу даних.

Помилки вимірювання можна класифікувати і, відповідно, моделювати як детерміновані (або систематичні) та випадкові (або стохастичні). Детерміновані помилки пов'язані з несправністю датчика, порушенням умов його застосування або процедури вимірювань. Ці помилки повторюються при кожному вимірі. Типова систематична помилка – це зміщення показань (reading offset) або зрушення (bias). В принципі, систематичні помилки усуваються при перевірках (calibration). Випадкові помилки, навпаки, можуть мати саме різне походження. У більшості випадків – це вплив навколишнього середовища (температури, вологості, електричних наведень і т. п.).

Якщо причини випадкових помилок відомі, то ці помилки можна компенсувати. Часто вплив збурень характеризують кількісно такими параметрами, як середня помилка (mean error).

В англійській мові в слова «accuracy» і «precision», які на російську мову переводяться одним і тим же словом «точність», вкладаються дещо різні поняття. «Accuracy» відповідає загальному відсутності похибок вимірювання, в той час як «precision» визначає малий розкид результатів вимірювань щодо деякого середнього значення, яке може виявитися неточним через систематичну похибку, наприклад, зміщення. Таким чином, необхідним і достатнім є задоволення вимоги, що визначається терміном «accuracy». Датчик з хорошою повторюваністю результату (або малої випадковою помилкою) має, очевидно, хорошу випадкову похибку, але не обов'язково дає правильну вихідну величину, оскільки зсув може істотно спотворити результат.

Різниця між систематичної і випадкової помилками ілюструється рис. 8.3.

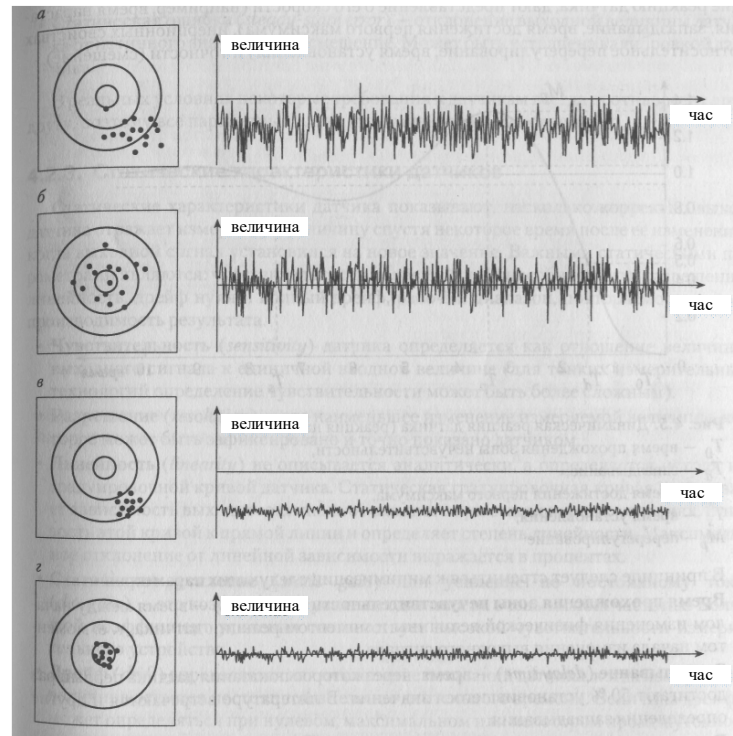


Рисунок 8.3 – Ілюстрація зміщення, похибки і точності

На рис. 8.3 (а, б і в) представлені зміщені результати. Стандартне відхилення або розкид результатів окремих вимірювань є мірою похибки.

Центр кожної мішені є істинне значення вимірюваної величини, а точки – результат вимірювань. На діаграмах справа справжня величина представлена прямою лінією, на яку накладено результати вимірювань. Точність вимірювання залежить як від зсуву, так і від розкиду:

- а ~ великий зсув + великий розкид = низька точність;
- б ~ мале зміщення + великий розкид = низька точність;
- в ~ великий зсув + малий розкид = низька точність;
- г ~ мале зміщення + малий розкид = висока точність

Результати вимірювань на рис. 8.3 б і г мають малу похибку, тільки результат, показаний на рис. 8.3 г, є точним.

### Контрольні питання

1. Складові елементи датчика.
2. Три класи датчиків.
3. Складові елементи виконавчого пристрою.
4. Вимоги до виконавчих пристроїв.
5. Смуга пропускання і шум.
6. Основні характеристики датчиків.
7. Намалюйте Рисунок, що ілюструє зсув, похибка і точність.



## ЛЕКЦІЯ 9. ДИНАМІЧНІ І СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКІВ

### План

- 9.1 Динамічні характеристики датчиків
- 9.2 Статичні характеристики датчиків
- 9.3 Вплив нелінійності
- 9.4 Характеристики імпедансів

### 9.1 Динамічні характеристики датчиків

#### Динамічні характеристики датчиків.

Динамічні властивості датчика характеризуються цілим рядом параметрів, які, проте, досить нечасто наводяться в технічних описах виробників. Динамічну характеристику датчика можна експериментально отримати як реакцію на стрибок вимірюваної вхідної величини (рис. 9.1).

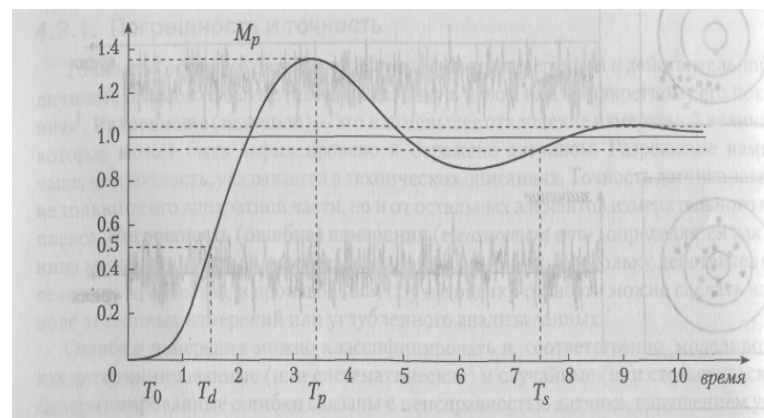


Рисунок 9.1 – Динамічна реакція датчика на стрибок:  $t_0$  – час проходження зони нечутливості,  $T_d$  – запізнювання,  $T_p$  – час досягнення першого максимуму,  $T_s$  – час встановлення,  $M_p$  – перерегулювання

Параметри, що описують реакцію датчика, дають уявлення про його швидкості (наприклад, час наростання, запізнювання, час досягнення першого максимуму), інерційних властивостях (відносно перерегулювання, час встановлення) і точності (зміщення).

В принципі слід прагнути до мінімізації таких параметрів:

час проходження зони нечутливості (dead time) – час між початком зміни фізичної величини і моментом реакції датчика, т. е. моментом початку зміни вихідного сигналу;

запізнення (Delay time) – час, через яке свідчення датчика перший раз досягають 50 % сталого значення. У літературі зустрічаються й інші визначення запізнювання;

час наростання (Rise time) – час, за яке вихідний сигнал збільшується від 10 до 90 % сталого значення. Інше визначення часу



наростання – величина, зворотна нахилу кривої реакції датчика на стрибок вимірюваної величини в момент досягнення 50 % від сталого значення, помножена на стає значення. Іноді використовуються інші визначення. Малий час наростання завжди вказує на швидку реакцію.

час, коли досягне першого максимуму (Peak time) – час досягнення першого максимуму вихідного сигналу (перерегулювання);

час перехідного процесу, час встановлення (settling time) – час, починаючи з якого відхилення виходу датчика від сталого значення стає менше заданої величини (наприклад,  $\pm 5\%$ );

відносне перерегулювання (Percentage overshoot) – різницю між максимальним і сталим значеннями, віднесена до сталого значення (у відсотках);

статична помилка (Steady-state error) – відхилення вихідної величини датчика від істинного значення або зміщення. Може бути усунена калібруванням датчика.

У реальних умовах деякі вимоги до датчиків завжди суперечать один одному, тому всі параметри можна мінімізувати одночасно.

## 9.2 Статичні характеристики датчиків

Статичні характеристики датчика показують, наскільки коректно вихід датчика відображає вимірювану величину через деякий час після її зміни, коли вихідний сигнал встановився на нове значення. Важливими статичними параметрами є: чутливість, роздільна здатність або дозвіл, лінійність, дрейф нуля і повний дрейф, робочий діапазон, повторюваність і відтворюваність результату.

**Чутливість (Sensitivity)** датчика визначається як відношення величини вихідного сигналу до одиничної вхідної величиною (для тонких вимірювальних технологій визначення чутливості може бути більш складним).

**Дозвіл (Resolution)** – це найменша зміна вимірюваної величини, яке може бути зафіксовано і точно показано датчиком.

**Лінійність (Linearity)** не описується аналітично, а визначається виходячи з градуовальної кривої датчика. Статична градуовальна крива показує залежність вихідного сигналу від вхідного при стаціонарних умовах. Близькість цієї кривої до прямої лінії і визначає ступінь лінійності. Максимальне відхилення від лінійної залежності виражається в процентах.

**Статична посилення (static gain)** або посилення по постійному струму (d.c. gain) – це коефіцієнт посилення датчика на дуже низьких частотах. Великий коефіцієнт посилення відповідає високій чутливості вимірювального пристрою.

**Дрейф (drift)** визначається як відхилення показань датчика, коли вимірювана величина залишається постійною протягом тривалого часу.



Величина дрейфу може визначатися при нульовому, максимальному або деякому проміжному значенні вхідного сигналу. При перевірці дрейфу нуля яка вимірюється величина підтримується на нульовому рівні або рівні, який відповідає нульовому вихідному сигналу, а перевірка дрейфу на максимумі виконується при значенні вимірюваної величини, що відповідає верхній межі робочого діапазону датчика. Дрейф датчика викликається нестабільністю підсилювача, зміною навколишніх умов (наприклад, температури, тиску, вологості або рівня вібрацій), параметрів електропостачання або самого датчика (старіння, вироблення ресурсу, нелінійність і т. д.).

**Робочий діапазон (operating range)** датчика визначається допустимими верхнім і нижнім межами значення вхідної величини або рівня вихідного сигналу.

**Повторюваність (repeatability)** характеризується як відхилення між декількома послідовними вимірами при заданому значенні вимірюваної величини в однакових умовах, зокрема наближення до заданого значення має відбуватися завжди і або як наростання, або як спадання. Виміри повинні бути виконані за такий проміжок часу, щоб не виявлялося вплив дрейфу. Повторюваність зазвичай виражається у відсотках від робочого діапазону.

**Відтворюваність (reproducibility)** аналогічна повторюваності, але вимагає більшого інтервалу між вимірами. Між перевірками на відтворюваність датчик повинен використовуватися за призначенням і, більш того, може бути підданий калібруванню. Відтворюваність задається у вигляді відсотків від робочого діапазону, віднесених до одиниці часу (наприклад, місяця).

### 9.3 Вплив нелінійності

Багато датчики мають властивість нелінійності. Наприклад, якщо датчик досягає верхньої межі робочого діапазону, проявляється ефект насичення, т. е. вихідний сигнал обмежений, навіть якщо вхідна величина зростає.

Приклади нелінійностей: нелінійна деформація пружин, кулоновске тертя; магнітне насичення в сердечниках трансформаторів, характеристики витратомірів (наприклад, вимірювання у відкритому каналі характеризуються нелінійним співвідношенням між вимірним рівнем  $h$  і витратою  $F$ , так як  $F = K \cdot h^a$ , де  $K$  – постійна); залежність опору термістора від температури ( $R = R_0 \cdot \exp(b(1/T - 1/T_0))$ ) де  $T$  – це температура в градусах Кельвіна, а  $R_0$ ,  $T_0$  і  $b$  – це постійні).

Особливі проблеми пов'язані з люфтом в зубчастих передаваннях і інших механізмах, що мають вільний хід, а також з магнітним насиченням. Вихідний сигнал датчиків, для яких характерні такі явища, - це багатозначна функція вхідної величини, що залежить від напрямку її зміни.



## 9.4 Характеристики імпедансів

Об'єднання одного або декількох елементів може суттєво вплинути на поведінку кожного з них в порівнянні з автономним використанням. Наприклад, важкий акселерометр може збільшити навантаження настільки, що це змінить вимірюється прискорення і дасть невірний результат. Аналогічно, підключення вольтметра змінює струми і напруги в ланцюзі, а термopара може спотворити вимірювану температуру. Все це називається ефектом навантаження (loading effect). Такі помилки можуть перевершувати всі інші типи помилок вимірювання; їх слід передбачати при з'єднанні різних датчиків і пристроїв передачі / перетворення інформації.

Поняття «імпеданс» (impedance), т. е. повний опір, має фундаментальне значення в електричних системах. Пристрій з високим вхідним опором (input impedance) споживає менший струм при заданому напрузі і, відповідно, меншу потужність. Пристрій з низьким вхідним опором споживає більший струм при даному напрузі. Оскільки воно відбирає більшу потужність у попереднього в ланцюзі пристрою, це може викликати помилки навантаження. Напруга, що генерується пристроєм з високим вихідним опором (output impedance), надзвичайно чутливе до ефекту навантаження. Навпаки, низький вихідний імпеданс дозволяє зменшити залежність вихідної напруги від струму навантаження.

Для вихідних сигналів у вигляді сили струму картина прямо протилежна: високий вихідний імпеданс робить вихідний сигнал менш схильним до впливу струмів навантаження. Тому в багатьох випадках потрібне застосування спеціальних узгоджувальних електронних пристроїв для посилення сигналів і приведення у відповідність імпедансові. У разі сигналів у вигляді напружень застосовуються підсилювачі з високим вхідним опором і низьким вихідним опором. Процедура називається узгодженням імпедансів (impedance matching) і повинна ретельно виконуватися на кожному етапі.

### Контрольні питання

1. Основні динамічні характеристики датчиків.
2. Чим можна усунути статичну помилку?
3. Чим викликається дрейф датчика?
4. Чим відрізняються такі характеристики датчиків як «повторюваність» і «відтворюваність».
5. Основні статичні характеристики датчиків.
6. Чому одне з основних достоїнств датчиків – лінійна характеристика?
7. Поняття імпедансу. Узгодження імпедансів.



## ЛЕКЦІЯ 10. БІНАРНІ І ЦИФРОВІ ДАТЧИКИ

### План

- 10.1 Використання бінарних і цифрових датчиків
- 10.2 Датчики положення
- 10.3 Граничні датчики
- 10.4 Цифрові та інформаційно-цифрові датчики

### 10.1 Використання бінарних і цифрових датчиків

У системах управління послідовністю подій в основному застосовуються сигнали типу «включено / вимкнено», що виробляються бінарними датчиками. У будь-якому виробничому процесі доводиться контролювати тисячі умов типу «включено / вимкнено».

Бінарні датчики використовуються для поняття положення при механічних переміщеннях, для підрахунку елементів в дискретних потоках (наприклад, числа пляшок на виході лінії розливу), для контролю досягнення граничних значень рівня або тиску або крайніх положень рухомих частин.

Бінарні і цифрові датчики бувають як простими, що складаються тільки з вимикача, так і дуже складними. Деякі цифрові датчики насправді представляють собою повнофункціональний мікрокомп'ютер, вбудований в автономний пристрій і виробляє або сигнали типу «включено / вимкнено», або кодовані цифрові дані. Нижче описані деякі типи датчиків з бінарним виходом – положення, порогові і датчики рівня.

### 10.2 Датчики положення

Як датчики положення (position sensor) протягом багатьох десятиліть використовуються вимикачі. Вони складаються з електричних контактів, які механічно розмикаються або замикаються, коли будь-яка змінна (положення, рівень) досягає певного значення. Кінцеві вимикачі (limit switch) різних типів є важливою частиною багатьох систем управління, надійність яких істотно залежить саме від них. Вони розташовуються там, де «відбувається дія», і часто піддаються великим механічним навантаженням і струмів.

На рис. 10.1 показані нормально розімкнутий замикає вимикач (normally open, make-contact switch), нормально замкнутий розмикаючим вимикач (normally closed, break-contact switch) і перемикач (change-over switch) в нормальному положенні і при спрацьовуванні. На схемах контакти вимикача зазвичай зображують в нормальному положенні.

Найпростішим вимикачем є механічний нормально розімкнутий однополюсний вимикач (Single-Pole Single-Throw – SPST), показаний на



малюнку 10.2 а. Просте узгодження сигналів можна забезпечити за допомогою навантажувального (pull-up) резистора. У випадку вимкнення розімкнута, з резистора знімається напруга + 5 В, сприймається ТТЛ-вентилем на вході комп'ютера як одне з логічних станів.

Якщо контакт замкнутий, вихідний сигнал дорівнює потенціалу «землі», що сприймається як інше логічне стан.

Замикання механічного вимикача зазвичай викликає проблеми, оскільки контакти вібрують («деренчать») кілька мілісекунд, перш ніж замкнутися (рис. 10.2, б). Коли важливо зафіксувати тільки перше торкання, як у випадку кінцевого вимикача, брати до уваги наступні замикання і розмикання контактів через деренчання немає необхідності.

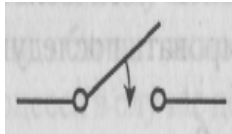
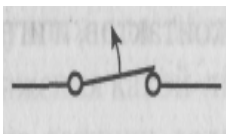
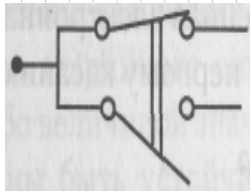
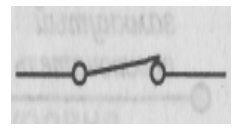
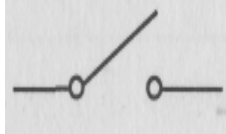
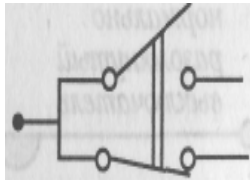
	Нормально розімкнутий замикаючий вимикач	Нормально замкнутий відмикаючий вимикач	Нормально замкнутий відмикаючий вимикач
Нормальне положення			
Положення при відпрацюванні			

Рисунок 10.1 – Різні позначення вимикачів

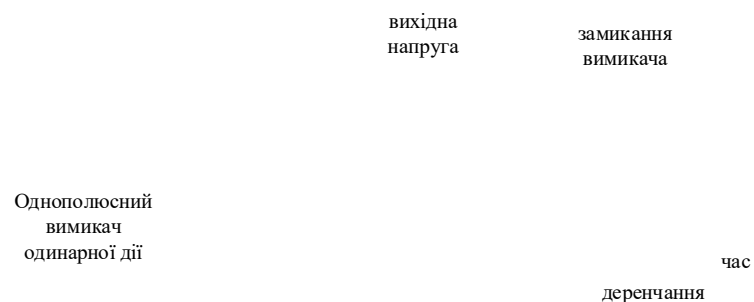


Рисунок 10.2 – Деренчання контактів при замиканні вимикача



Застосування ланцюга, що забезпечує невелике запізнення вихідного сигналу, є одним із способів подолання ефекту деренчання контактів.

Однополюсний двопозиційний вимикач (Single – Pole Double – Throw ~ SPDT) може бути типу «розривши перед замиканням» (Break – Before – Make – BVM) або «замикання перед розривом» (Make – Before – Break – MBV) (рис. 10.3).

При перемиканні в першому випадку обидва контакти розімкнені на короткий час, в другому – через обидва контакти струм короткочасно протікає. Боротися з деренчанням контактів в перемикачах SPDT можна за допомогою спеціальних схем. Рухливий контакт має бути заземлений; коли він торкається контакту, приєднаного до джерела, напруга останнього знижується. Підключена електронна схема повинна «уловити» логічний стан, що відповідає першому торканню контактів, і ігнорувати подальше деренчання.

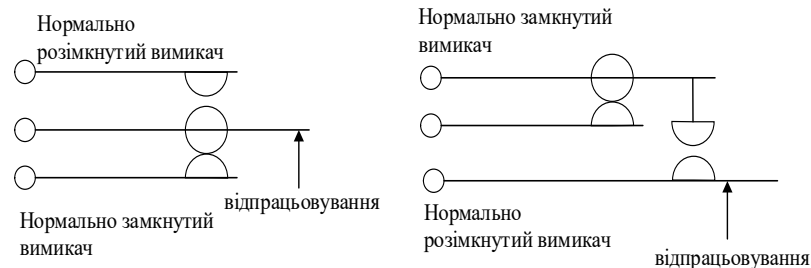


Рисунок 10.3 – Перемикачі з різними контактними системами: а – розривши перед замиканням, б – замикання перед розривом

Існують інші методи визначення положення за допомогою бінарних датчиків, деякі з яких приведені нижче.

ртутні вимикачі складаються з невеликих герметично запаяних скляних трубок з контактними виводами. Трубка містить достатню кількість ртуті, щоб замкнути контакти. Вимикач розмикає і замикає контакти при зміні положення (нахилу) трубки;

магнітокерованих герметичне язичкових реле – геркон (reed switch, reed relay) – складається з двох плоских пружин, запаяних в невелику скляну трубку.

Вільні кінці пружин знаходяться один над одним з дуже невеликим проміжком між ними. Коли до трубки наближається магніт, пружини намагнічуються в різних напрямках, притягуються один до одного і замикаються, фотоелектричні датчики виконані з матеріалів, які змінюють опір або генерують різницю потенціалів під впливом світла. У багатьох пристроях досить бінарної індикації – є світло чи ні. Фотоелектричний променевої детектор складається з джерела світлового променя і світлочутливого елемента. Існує багато конструкцій



світлодетекторів, які відрізняються в основному тим, відбивається або переривається світловий промінь фіксується об'єктом.

Переваги світлодетекторів – простота, гнучкість, низька вартість і, головне, фіксація може виконуватися без безпосереднього фізичного контакту. На базі фотоелектричних променевих детекторів легко будуються вимірювачі частоти обертання, лічильники, датчики положення і т. д.;

Ультразвукові та мікрохвильові датчики використовуються для виявлення об'єктів на відстанях від декількох сантиметрів до декількох метрів. Ці датчики працюють в режимі відображення (випромінювач і приймач укладені в одному приладі) або на принципі переривання променя (випромінювач і приймач розташовані в різних пристроях).

### **10.3 Порогові датчики**

Різні типи датчиків використовуються для визначення моменту, коли аналогова величина (наприклад, рівень, тиск, температура або витрата) досягає деякого граничного значення. Тому їх часто називають граничними датчиками (point sensors, limit sensors). Вони зазвичай використовуються для подачі аварійного сигналу, а іноді і зупинки процесу в разі досягнення будь-якої величиною значення, що вказує на небезпечну ситуацію. Такі датчики повинні бути стійкими і надійними.

Індикатор рівня (Level switch) спрацьовує, якщо резервуар заповнений до заданої висоти. Принцип роботи залежить від властивостей контрольованої речовини – рідина, цементний розчин, гранули або пил. Індикатор може або показувати поточний рівень, або видавати сигнал, коли рівень досягає заданого.

Поплавок, що знаходиться на поверхні рідини, при досягненні певного рівня діє як кінцевий вимикач. Геркони є ідеальними вимикачами для нечастого середовища, оскільки вони водонепроникні. На поплавці повинен бути встановлений магніт, щоб викликати спрацьовування контактів геркона.

Для тієї ж мети часто використовуються фотоелектричні датчики. Для твердих матеріалів застосовуються ємкісні датчики наближення (proximity sensors). У міру підвищення рівня заповнювач з простору між стінкою судини і ємнісним зондом витісняється повітря, і тому змінюється ємність утвореного ними конденсатора, яку можна виміряти стандартними методами. Рівень можна виміряти і датчиком тиску, поміщеним на дно посудини, оскільки величина тиску біля дна прямо пропорційна висоті стовпа речовини.

У цьому випадку може вироблятися як аналоговий (індикація поточного рівня), так і бінарний (досягнутий граничний рівень) сигнал.



## 10.4 Цифрові та інформаційно-цифрові датчики

Цифрові датчики генерують дискретні вихідні сигнали, наприклад, імпульсні послідовності або представлені в певному коді цифрові дані, які безпосередньо можуть бути лічені контролером або ЕОМ. Залежно від типу датчика вихідний сигнал або відразу формується в цифровому вигляді (наприклад, від датчика положення валу), або повинен оброблятися ланцюгами електронної логіки, які зазвичай складають з ним одне ціле. Вимірювальна головка цифрового датчика така ж, як і у аналогового. Існують інтегровані цифрові датчики, які включають мікропроцесори для виконання числових перетворень і узгодження сигналу і виробляють цифровий або аналоговий вихідний сигнал.

Якщо вихідний сигнал датчика є послідовність імпульсів, то вони зазвичай підсумовуються лічильником. В іншому варіанті – можна вимірювати інтервал між імпульсами. Потім результат у вигляді цифрового слова передається на подальшу обробку. При вимірюванні енергії інформація зазвичай кодується імпульсами - кожен імпульс відповідає певній кількості енергії.

Інформаційно-цифрові датчики (Field bus sensor) додатково забезпечують передачу інформації через шини локального управління (Field bus), які представляють собою спеціальний тип двосторонніх цифрових комунікацій. Датчики даного типу - це звичайні датчики температури, тиску, витрати і т. д., які додатково мають мікропроцесор для обробки даних, перетворення їх в цифровий вигляд (наприклад, в 12-розрядний код) і підтримки зовнішніх комунікацій. По шині можна передавати не тільки результати вимірювань, а й ідентифікаційну інформацію датчика. Іноді такі датчики підтримують режим віддаленого тестування і калібрування.

Приклад: датчики положення валу. Датчики положення валу або кодери повороту (shaft encoders) – це цифрові датчики для вимірювання кута повороту і кутової швидкості. Вони застосовуються у всіх системах, де потрібна точна інформація про параметри обертального руху, - наприклад, верстати, роботи, сервосистеми і електропривод. Існують датчики відносного (incremental) і абсолютного (absolute) типів.

Датчик відносного типу складається з світлодетектора або магнітного датчика, наприклад геркона, який генерує послідовність імпульсів при обертанні об'єкта; поворот на 360 ° відповідає одному або більше імпульсам. Потім послідовність імпульсів обробляється і перетворюється в кут повороту і кутову швидкість об'єкта.

Датчик абсолютного типу видає кут повороту об'єкта в двійковому коді. Оптичний датчик складається з диска з прорізами і світлонепроникними ділянками, причому кожна проріз унікальна і відповідає певному куті повороту. Джерело світла висвітлює одну сторону диска, а на іншій стороні блок датчиків фіксує світловий шаблон



(т. е. через які прорізи світло проходить, а через які - ні), якому відповідає цифрове значення кута повороту. Кодування зазвичай здійснюється на основі модифікованого довічного алгоритму, щоб мінімізувати помилки зсуву фотоелектричних датчиків щодо прорізів в диску. Ця проста технологія забезпечує високі дозвіл (яке визначається числом прорізів на градус кутового зміщення або на оборот диска) і точність, а також хорошу стійкість при передачі сигналів,

### **Контрольні питання**

1. Де використовуються бінарні і цифрові датчики?
2. Назвіть приклади бінарних датчиків.
3. Пристрій і призначення геркона.
4. Світлодетектори: переваги, недоліки.
5. Граничні датчики: призначення, приклади.
6. Цифрові та інформаційно-цифрові датчики. Приклади.
7. Датчики положення валу: призначення, принципи роботи.



## ЛЕКЦІЯ 11. ІНШІ ВИДИ ДАТЧИКІВ

### План

- 11.1 Аналогові датчики
- 11.2 Датчики руху
- 11.3 Датчики сили, моменту і тиску
- 11.4 Датчики наближення

### 11.1 Аналогові датчики

Вихідний сигнал датчика подається на вхід обробного пристрої, наприклад, на вхідний порт комп'ютера. Оскільки характеристики вихідного сигналу датчика і наступного каскаду досить часто відрізняються один від одного, то для передачі сигналу між ними повинна використовуватися деякий узгоджувач ланцюг. Термін «узгоджувач ланцюг» (conditioning circuitry) є досить загальним і може позначати будь-який набір електронних компонентів між вимірювальною головкою датчика і обробляють пристроєм, що отримує (обробляє) його сигнал. Не можна точно визначити межу між електронікою вимірювального перетворювача і подальшими погоджують ланцюгами – кожен раз вона може трактуватися по-своєму.

Більшість датчиків з перетворювачем, що застосовуються в системах управління, генерують аналоговий сигнал. Як правило, при управлінні вимірюються наступні фізичні величини:

- електричні і магнітні властивості;
- параметри руху;
- сила, момент і тиск;
- температура, тиск, витрата, рівень;
- рівень заповнення ємності;
- щільність, в'язкість і консистенція;
- концентрація (газу, рідини, розчинених і зважених речовин);
- хімічна або біохімічна активність;
- теплота згоряння та ін.

Принципи роботи аналогових датчиків і перетворювачів, зазвичай використовуваних в системах управління в металургії, були вивчені в дисциплінах «Технологічні вимірювання і прилади» і «Технічні засоби автоматизації». Вимірювання електричних величин – струму, напруги, опору, магнітного поля, випромінювання і потужності – наріжний камінь вимірювальних технологій. Для більшості типів вимірювань серійно випускаються вимірювальні головки, датчики, які включають погоджують ланцюга і навіть інтегровані пристрої з вбудованими аналого-цифровими перетворювачами і засобами передачі даних.



## 11.2 Датчики руху

Датчики руху (Motion sensors) вимірюють чотири кінематичні величини:

- переміщення (зміна положення, відстані, ступеня наближення, розміру);

- швидкість (включаючи кутову);

- прискорення;

- удар.

Кожна з цих величин є похідною за часом від попередньої. Теоретично можна виміряти тільки одну з них і потім отримати інші за допомогою диференцювання або інтегрування. На практиці, однак, такий підхід неприйнятний через природи сигналу (постійний, перехідний і т. д.).

Частотного спектра, шумів і можливостей засобів обробки даних.

Контроль параметрів руху обов'язковий для додатків, в яких використовується механічне обладнання – сервосистеми, роботи, електроприводи або інші маніпулятори. Вимірювання переміщень застосовується при управлінні становищем клапанів.

Товщина пластин в прокатному стані постійно контролюється системою управління калібруванням.

Датчики деформацій – це пристрої, які вимірюють механічне напруження, тиск і силу, але можуть застосовуватися і для вимірювання переміщень. У системах моніторингу стану і попередження відмов механічного устаткування широко використовуються акселерометри.

Для вимірювання параметрів руху застосовуються такі типи пристроїв:

- потенціометри для вимірювання переміщень (вони працюють як змінні резистори);

- датчики на основі принципу електромагнітної індукції, наприклад, диференціальні трансформатори, револьвери, синхротрансформатори (сельсини);

- ємнісні датчики для вимірювання малих переміщень, обертань і рівнів рідини;

- п'єзоелектричні датчики для вимірювання тиску, напруги, прискорення, швидкості, сили і моменту (п'єзоелектричний матеріал деформується під дією прикладеної різниці потенціалів або виробляє різниця потенціалів при механічному впливі);

- лазерні датчики для точного вимірювання малих переміщень;

- ультразвукові датчики для вимірювання відстаней в медичних приладах, системах автофокусування фото- і телекамер, вимірювання рівня і швидкості.

Вимірювання лінійних та кутових швидкостей має фундаментальне значення для приводів і робототехніки.



Цікавим додатком систем вимірювання прискорень і сил є управління активною підвіскою транспортних засобів.

Тахометр є генератор постійного струму з постійними магнітами, застосовуваний для виміру кутовий швидкості. Принцип його дії ілюструється на рис. 11.1

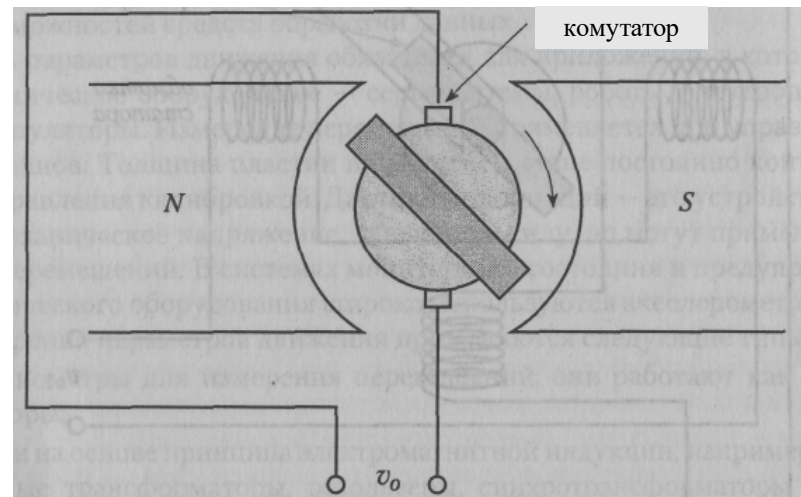


Рисунок 11.1 – Принцип роботи тахометру постійного току

Магніти створюють постійне однорідне магнітне поле. Рух провідника в поле індукє напругу, пропорційне швидкості його обертання. Ротор безпосередньо з'єднаний з об'єктом, швидкість обертання якого вимірюється. Вихідна напруга, що генерується в процесі обертання, знімається колектором, який складається з пари вугільних щіток з низьким опором. Тахометр зазвичай створює дуже маленьку додаткову механічну навантаження для великих валів, на які він встановлюється. Аналізуючи динаміку тахометра, можна стверджувати, що його частотний діапазон зазвичай значно ширше, ніж у механічного двигуна при його нормальному навантаженні. Тому індуктивність і інші електромагнітні параметри тахометра зазвичай не впливають на результати виміру.

### 11.3 Датчики сили, моменту та тиску

Багато типів датчиків сили / моменту (force/torque) засновані на вимірі деформацій. Датчики для вимірювання деформацій називаються тензодатчиками (strain gauge).

Принцип дії таких датчиків – зміна електричного опору в зразку, який піддається впливу зовнішніх сил (п'єзорезистивного ефекту). Відносна зміна опору як функція діючої на датчик сили залежить від використовуваного матеріалу: у напівпровідникового датчика воно на 1



– 2 порядки більше, ніж у металевого. Чутливий елемент у напівпровідникового датчика виконаний з монокристала п'єзорезистивного матеріалу. Додаткова перевага напівпровідникових тензодатчиків - більш високий питомий опір в порівнянні з металевими і, відповідно, менше споживання потужності і виділення тепла.

Вимірювання моментів і сил необхідно в багатьох задачах, включаючи управління точним рухом (наприклад, переміщення і захоплення в робототехніці) і передається механічною потужністю в двигунах і системах приводу.

#### **11.4 Датчики наближення**

Зміна електричних властивостей елементів коливальних контурів при наближенні до зовнішніх об'єктів можна використовувати для створення датчиків наближення (proximity sensors). Ці датчики можуть видавати аналоговий сигнал, пропорційний – принаймні в певному діапазоні – віддалі до заданого об'єкта, або цифровий сигнал при досягненні заданого порогового значення відстані. Електричні датчики наближення використовують такі принципи.

Індуктивні датчики наближення працюють на основі випромінювання високочастотного електромагнітного поля обмоткою, яка входить в коливальний контур. Електромагнітне поле індукує в провідному матеріалі об'єкта вихрові струми. Коли об'єкт, відстань до якого контролюється, наближається до датчика (зазвичай на 2 – 30 мм), коливання починають затухати. Зміна струму в коливальному контурі можна використовувати для спрацьовування напівпровідникового ключа.

Ємнісні датчики наближення містять загасаючий коливальний RC-контур. Ємність залежить від відстані між обкладинками конденсатора, їх площі і властивостей діелектрика між ними. Датчик приєднаний до однієї з обкладок або до діелектрика. Коли об'єкт наближається до датчика, результуюче зміна ємності, а, отже, і частоти коливань, можна зафіксувати електрично і використовувати для управління вимикачем. Ємнісний датчик може виявити об'єкти, які не є провідними. Діапазон спрацьовування для таких датчиків зазвичай лежить між 5 і 40 мм. Ємнісні датчики можна використовувати також для вимірювання сили і тиску.

Магнітні датчики наближення пізнають наближення об'єкта зі зміни характеристик магнітного поля і не мають рухомих частин. Принцип роботи може базуватися на індуктивності, магнітному опорі (reluctance), магніторезистивному ефекті або ефекті Холла. Магніторезистивний ефект і ефект Холла обумовлені одним і тим же фізичним явищем – опір провідного матеріалу змінюється під впливом зовнішнього магнітного поля. Якщо провідник з електричним струмом піддається впливу



магнітного поля, його опір збільшується (магніторезистивний ефект).

Крім того, на протилежних сторонах цього провідника виникає різниця потенціалів, яку можна виміряти (ефект Холла). Провідник повинен бути розташований так, щоб магнітне поле було перпендикулярно напрямку струму; різниця потенціалів виникає уздовж осі, перпендикулярної і магнітному полю, і напрямку струму. Геометрична форма провідника вибирається так, щоб максимальним був або магніторезистивний ефект, або ефект Холла. Датчики Холла часто виконуються з напівпровідникових матеріалів

### **Контрольні питання**

1. Які аналогові величини найчастіше контролюються в металургійних процесах?
2. Які параметри вимірюють датчики руху?
3. Які типи пристроїв використовуються для вимірювання параметрів руху?
4. Тензодатчики. Призначення, принцип роботи.
5. Призначення і принципи роботи датчиків наближення.
6. Датчик Холла. Призначення, області застосування.



## ЛЕКЦІЯ 12. УЗГОДЖЕННЯ І ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛІВ

### План

- 12.1 Загальні зауваження
- 12.2 Електричні перешкоди
- 12.3 Сигнальне заземлення
- 12.4 Вибір носія сигналу: напруга або струм

### 12.1 Загальні зауваження

Передавання інформації між різними частинами системи управління є одним з невід'ємних і критично важливих елементів. Сигнали, що виробляються датчиками, зазвичай мають досить низький рівень, тому для подальшої передачі їх необхідно обробити і посилити. Рівні сигналу і імпеданс виходу датчика, кабелю і входу комп'ютера повинні відповідати один одному. Обробка сигналу для досягнення вказаної відповідності називається узгодженням сигналу.

Інший дуже важливою практичною проблемою є наведення. Будь-яке електронний пристрій сприяє виникненню електричних збурень. Якщо дві електричні ланцюги з тих чи інших причин розташовані поруч один з одним, то зміна струму або напруги в одного ланцюга викликає також зміни струму і напруги в інший. Зокрема, з'єднувальні проводи та кабелі виступають в якості антени для шумів і збурень. Багато проблем, пов'язаних з електричними наведеннями, можна вирішити за допомогою екранування ланцюгів і заземлення; деякі принципи екранування розглянуті в цьому розділі. Вибір способу передачі сигналу (напруга, струм або світло) залежить від кількох факторів, головним з яких є стійкість до наведенням і шумів. У цьому розділі будуть наведені різні методи вирішення цих проблем.

### 12.2 Електричні перешкоди

Перешкоди, що виникають в електричному провіднику, можуть мати різну природу. Зазвичай перешкоди викликані одним з наступних типів зв'язку між їх джерелом і провідником:

- резистивний;
- ємнісний;
- індуктивної (магнітної).

Резистивна (або гальванічна) зв'язок між провідником і джерелом перешкод не залежить від частоти, що обурює сигналу. Навпаки, при ємнісний або індуктивного зв'язку ступінь впливу залежить від частоти перешкод – чим вище частота, тим більше енергії виходить від джерела збурень. На практиці це означає, що електричні ланцюги, в яких відбуваються швидкі зміни струму і / або напруги можуть бути більш



серйозними джерелами перешкод, ніж низькочастотні. Взагалі кажучи, взаємодія з джерелом збурень нечасто відноситься до одного типу, зазвичай – це комбінація всіх трьох перерахованих вище типів. Серйозні проблеми з перешкодами виникають, коли провідники з малопотужними сигналами розташовані поблизу силових кабелів.

Щоб створити для електронного обладнання середу, максимально вільну від наведень, постійно проводиться безліч досліджень і розробок. Метою є досягнення електромагнітної сумісності (electromagnetic compatibility, -EMC) в рамках електричних ланцюгів, а також між різними ланцюгами і системами. Електричний прилад повинен, з одного боку, бути нечутливим до зовнішніх перешкод і, з іншого боку, не повинен генерувати перешкод, які можуть вплинути на іншу апаратуру.

#### **Резистивний зв'язок.**

Коли кілька електронних пристроїв одночасно мають спільне джерело живлення і загальне заземлення, можуть виникати взаємодії резистивного характеру. Досить часто зустрічаються джерела перешкод – погано заземлення електродвигуни та перетворювачі частоти з напівпровідниковими вентилями. Один із способів уникнути такого типу взаємодії - забезпечити для чутливого електронного обладнання виділений джерело живлення. Інша можливість – це гальванічна розв'язка джерел живлення і апаратури. В цьому випадку пряма електрична зв'язок між різними джерелами живлення і електроустаткуванням відсутня.

#### **Ємнісний зв'язок.**

Між двома провідниками або між провідником і джерелом перешкод майже завжди існує ємнісний зв'язок, яка виникає через те, що змінна напруга наводить в провіднику струм, пропорційний похідною напруги за часом. Ємнісні зв'язку повинні бути зведені до мінімуму. Вони зменшуються зі збільшенням відстані між провідниками.

Найпоширеніший спосіб боротьби з цим явищем - захисний електростатичний екран. Екран повинен бути заземлений, щоб його потенціал дорівнював нулю. Такий захід забезпечує хороший захист, хоча на кінцях кабелю, де провідник приєднаний до датчика або до електронних схем, наприклад, до вхідного порту комп'ютера, можуть виникнути деякі проблеми. Причина в тому, що в цих місцях екран не повністю закриває і захищає провідник. На невеликих, незахищених кінцевих ділянках можуть виникнути слабкі ємнісні зв'язку, тому важливо робити такі ділянки як можна менше.

#### **Індуктивна (магнітна) зв'язок.**

Провідник зі струмом індукує навколо себе магнітне поле з напруженістю, пропорційній величині струму. Відповідно, магнітна взаємодія створює серйозні проблеми поблизу силових кабелів, по яких течуть значні струми. Змінний струм збуджує змінне магнітне поле, яке в свою чергу наводить Е.Д.С. індукції в іншому провіднику, що перетинає



поле. Згідно із законом індукції при заданій величині взаємної індукції  $M$  між провідниками напруга  $V$ , індукована в провіднику, є

$$V = \frac{d(M \cdot i)}{dt},$$

де  $i$  – струм іншого провідника.

Якщо провідник, в якому наводиться е. д. с., являє собою частину замкнутого контуру, то в ньому буде циркулювати струм. Цей індуктивний струм пропорційний площі, яку охоплює провідниками, через яку проходить магнітний потік.

Існує кілька способів зменшити вплив індуктивних зв'язків. Площа контуру, зчепленого з магнітним потоком, можна зменшити, використовуючи кручені проводи; зменшення цієї площі означає зниження напруги. Більш того, при скручуванні «змінюється знак» потягосцепління на кожному витку, так що результуюча потягосцепління стає незначним. Тому застосовується кабель на основі витої пари, а не просто складається з паралельних провідників.

Провідник, по якому передається вимірювальна інформація, повинен бути розташований як можна далі від джерел перешкод. Зокрема, чутливі електронні прилади не повинні розташовуватися поблизу трансформаторів і індукторів. Кабелі повинні розташовуватися таким чином, щоб можливі поля перешкод поширювалися вздовж них.

Необхідно дотримуватися двох простих правил: по-перше, низьковольтні сигнальні кабелі і високовольтні силові кабелі не повинні прокладатися поблизу один одного в одних і тих же каналах і, по-друге, сигнальні та силові кабелі повинні перетинатися, якщо це неминуче, тільки під прямим кутом.

Магнітне поле можна послабити екрануванням. Мідний або алюмінієвий екран має дуже високу провідність, і, завдяки порушенню магнітним полем вихрових струмів в екрані, магнітний потік послаблюється. Екран можна виконати з матеріалу з високою магнітною проникністю, наприклад, із заліза. Магнітний екран часто буває досить об'ємним, оскільки для демпфірування магнітного потоку потрібно достатня товщина стінок. Тому екранування використовується в основному для апаратури, що генерує сильні магнітні поля.

**Практичні поради («Неписані закони»).** Нижче подано перелік деяких з основних правил для зменшення впливу електромагнітних наведень на вимірювальне обладнання (датчики, сигнальні кабелі і обробні електронні схеми). Очевидно, що в першу чергу слід знизити інтенсивність джерела перешкод. Інші що перешкоджають чинники, вплив яких має бути зведено до мінімуму:

гальванічна зв'язок;



відстань до джерела перешкод;  
частотний спектр перешкод.

Для зменшення вплив ємнісних зв'язків необхідно:

застосовувати екранований кабель;

мінімізувати довжину неекранованих ділянок на кінцях кабелю.

Вплив магнітних зв'язків зменшується, якщо:

- використовується кручений кабель, так як зменшується площа магнітного потоку, що охоплюється провідником, а орієнтація поля постійно змінюється;
- підключені декілька датчиків, так як для кожного з них використовується своя кручена пара;
- силові й сигнальні кабелі прокладені окремо; сигнальні кабелі розташовані на достатній відстані від джерел перешкод;
- низьковольтні та високовольтні кабелі перетинаються під прямим кутом.

### 12.3 Сигнальне заземлення

Заземлення (earthing, grounding) являє собою фізичне приєднання декількох ланцюгів до загального потенціалу.

Сигнальне заземлення відповідає створенню точки загального нульового потенціалу для вимірювальних сигналів. Теоретично всі крапки, які повинні бути заземлені, приєднуються до цього нульового потенціалу без будь-яких опорів або індуктивностей. На жаль, на практиці це нездійсненно. Проблеми, пов'язані з низькою якістю заземлення, є найбільш поширеними, і саме їх найважче виявити. Це справедливо і для невеликої електронної схеми, і для великого підприємства.

На рис. 12.1 представлена проста вимірювальна система з джерелом напруги  $U_s$ , приєднаним до заземлення  $P_1$ , і власне вимірювальні пристрої, приєднані до заземлення  $P_2$ .

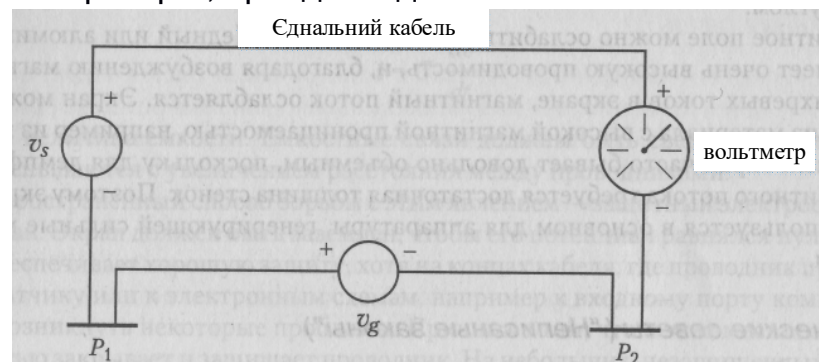


Рисунок 12.1 – Проста вимірна система з двома заземленнями



Два окремих заземлення нечасто мають однаковий потенціал, тому між ними існує струм витoku. Вольтметр покаже неправильне значення напруги  $U_S$ , а спотворену величину  $U_S + U_g$ . У великих і складних системах часто є окремі заземлення для датчиків, кабелів, комп'ютерного обладнання, силових елементів і шасі апаратури. Всі ці окремі системи заземлення повинні бути приєднані до загальної точки заземлення, як це показано на рис. 12.2.

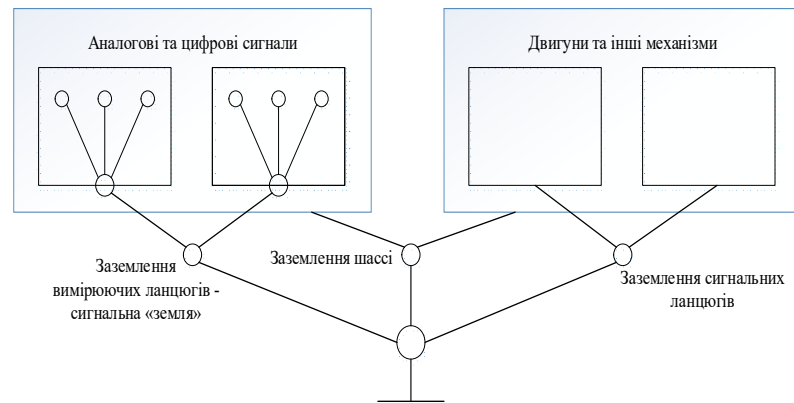


Рисунок 12.2 – Загальне заземлення

Практичне правило для кабелів, по яких передаються аналогові сигнали, - заземлення повинно бути якомога ближче до джерела сигналу, т. е. датчику. Звичайно, це може створити труднощі в великих технічних системах з великою кількістю довгих кабелів. Бажано ізолюване заземлення комп'ютерного обладнання, оскільки цифрові системи як випромінюють, так і легко сприймають високочастотні сигнали. Більш старі аналогові системи збору даних здебільшого схильні до впливу низькочастотних наведень.

Роздільне заземлення рекомендується проводити для релейних схем, двигунів та інших пристроїв, які споживають великі струми. Нарешті, шасі апаратури повинні бути приєднані до окремого заземлення, а це останнє – до загального заземлення.

Екрани сигнальних кабелів зазвичай також заземлюють. Щоб уникнути замкнутих контурів в схемах заземлення, екрани з'єднують з «землею» лише в одній точці – або поблизу від джерела сигналу (датчика), або поблизу наступних електронних пристроїв. Перший варіант дає краще ослаблення перешкод (рис. 12.3).

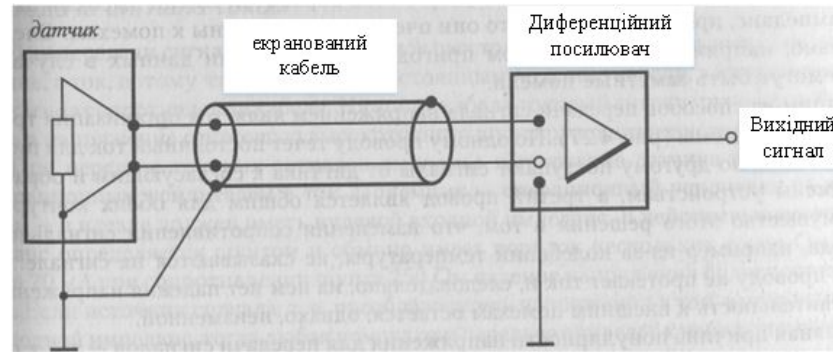


Рисунок 12.3 – Система з датчиком і диференціальним підсилювачем (заземлення екрануючої оболонки кабелю виконано поблизу датчика)

Проблеми, пов'язані із заземленням в контрольно-вимірювальних системах, можна узагальнити в наступних правилах.

Правило 1. Необхідно чітко визначити шляхи протікання струму. Токи, поточні від силового обладнання, повинні повертатися до тих же пристроїв. Провідники, приєднані до електричних елементів, можуть називатися «землею», але в дійсності функціонувати як замкнений контур і викликати спотворення напруги або пікові обурення через імпедансу кабелів. Слід застосовувати дроти відповідного перетину як для силових ланцюгів, так і для ланцюгів заземлення.

Правило 2. Цифрові і аналогові ланцюги повинні заземлюватися окремо. Коли цифрова система змінює своє логічне стан, на «цифровому заземлення» можуть з'являтися значні сплески напруги. Оскільки аналогові ланцюги зазвичай дуже чутливі до збурень, то роздільне заземлення знижує вплив резистивної зв'язку.

#### 12.4 Вибір носія сигналу: напруга або струм

Вибір носія сигналу для передачі вимірювальних даних від датчика до комп'ютера залежить від декількох факторів. Найбільш істотне міркування, яке слід брати до уваги, - сигнал повинен бути по можливості малочутливим до електричних збурень.

Передавання сигналу напругою. Кожен кабель має певний погонних опором. Якщо вхідний імпеданс останнього елемента в ланцюзі – пристрої обробки сигналу – не нескінченні, то по кабелю буде протікати струм і в результаті відбудеться падіння напруги. Якщо змінюється амплітуда сигналу, то деякий струм потече між проводами через розподілених ємностей. Отже, розумно завжди зважати на деяких падінням напруги на лінії передачі. Вимога, щоб пристрої обробки мали високий вхідний імпеданс, призводить до того, що вони дуже чутливі до перешкод. Отже, напруга не дуже придатне для передачі даних у випадках, коли можуть бути помітні перешкоди.



Головна причина популярності напруги для передачі сигналів – це, з одного боку, притаманна цьому методу простота, а з іншого - широка доступність пристроїв для посилення, фільтрації та інших видів обробки. Наприклад, якщо необхідно, щоб один і той же сигнал надійшов на вхід декількох схем, досить з'єднати ці схеми паралельно (з урахуванням вхідного імпедансу). Незважаючи на це, напругу не дуже часто використовується в промислових системах, оскільки сигнали в них повинні передаватися на великі відстані і вплив джерел перешкод може стати значним.

Найбільш важливі рівні сигналів напруги стандартизовані (стандарт IEC381): + 1..5В, 0..5В, 0..10В, -10..10В.

Передавання сигналу Струм. Для передачі сигналу на значну відстань краще використовувати не напруга, а струм, тому що він залишається постійним по довжині кабелю, а напруга падає через опір кабелю. На кінці кабелю струмовий сигнал можна перетворити в напругу за допомогою високоточної шунтуючого резистора. Під час передавання струмових сигналів вихідна напруга датчика перетворюється операційним підсилювачем в струм. Приймач – операційний підсилювач на кінці ланцюга – в ідеалі повинен мати нульовий вхідний імпеданс. Насправді, імпеданс визначається шунтом і зазвичай має порядок декількох сотень Ом. Для струму 20 мА при опорі шунта 250 Ом падіння напруги становитиме 5 В. Якщо джерело сигналу, т. е. перетворювач напруги в струм, має високий вихідний імпеданс, тоді будь-яка перешкода при передачі призведе до невеликого, зазвичай допустимому падінню напруги на шунті.

Струмові сигнали, як правило, використовуються на низьких частотах до 10 Гц. При постійному струмі і ідеальній ізоляції опір кабелю не впливає на сигнал, т. е. величина струму на вході приймача – оброблювальної схеми – така ж, як на виході джерела сигналу. При змінному струмі вплив ємнісного ефекту стає помітним і частина струму втрачатиметься по довжині кабелю, йдучи або в зворотний дріт, або в заземлений екран. Міжнародний стандарт. IEC 381 рекомендує для передачі сигналів діапазон струмів 4 – 20 мА. Мінімальний рівень сигналу визначений як 4 мА, щоб можна було виявити розрив ланцюга (0 мА).

Перетворювач напруги в струм – стандартний елемент ланцюга. Сигнал передається по кручений парі, довжина якої може досягати кількох сотень метрів. Шунтувальний резистор для перетворення струму в напругу в діапазоні від 0 – 2 до 10В повинен мати величину порядку 500 Ом.

Харчування і датчика, і перетворювача і передавання вихідного сигналу можуть здійснюватися по одній і тій же парі проводів. Це можна зробити за умови, що струм, споживаний датчиком і перетворювачем, не змінюється, тоді будь-яка зміна струму в ланцюзі, очевидно,



відображає роботу датчика. Навпаки, як було сказано раніше, передавання сигналу напругою вимагає трьох кабелів.

Підводячи підсумки, можна сказати, що вимірювальна система, яка використовує струм для передачі сигналу і датчик, гальванічно ізольований від вихідного сигналу, має кілька переваг:

нормально працює на протяжних комунікаціях;

допускає просту процедуру перевірки, оскільки величина струму 0 мА означає, що датчик відключений або лінія розімкнена;

забезпечує хороший захист від перешкод;

для системи досить тільки два дроти, що дозволяє знизити витрати.

**Передавання оптичних сигналів.** Передавання сигналів по оптоволоконному кабелю стала звичайною практикою у багатьох вимірювальних і комунікаційних застосуваннях. Оптичне передавання інформації вимагає дуже складного і, відповідно, дорогого цифрового комунікаційного устаткування. За допомогою світлодіодів (light – emitting diode – LED) цифрові електричні сигнали перетворюються у світлові імпульси, які потім передаються по оптичному волокну. На приймальному кінці світлові імпульси знову перетворюються в електричні сигнали за допомогою оптоелектронних датчиків.

Оптичний сигнал несприйнятливий до магнітних і електричних перешкод і забезпечує абсолютну ізоляцію. Цей спосіб передавання переважний для великих відстаней (> 1 км), а також в складних умовах, наприклад, поблизу електродвигунів і перетворювачів частоти. Застосування оптичних сигналів в технічних системах обумовлене більшою мірою їх завадостійкою, чим високою пропускнуою спроможністю.

### Контрольні питання

1. Основні проблеми, що виникають при узгодженні і передачі сигналів.
2. Як при прокладенні кабелів зменшити резистивні зв'язки?
3. Як при прокладенні кабелів зменшити ємнісні зв'язки?
4. Як при прокладенні кабелів зменшити магнітні зв'язки?
5. Де необхідно заземляти екрануючу оболонку кабелю з метою кращого послаблення перешкод?
6. Два основних правила заземлення у вимірювальних.
7. У чому переваги передачі сигналу струмом перед передачею сигналу напругою?
8. У чому переваги і недоліки передачі оптичних сигналів.



## ЛЕКЦІЯ 13. БІНАРНІ ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ, КЕРОВАНІ ВИМИКАЧІ І ОБЛАШТУВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ З ОБ'ЄКТОМ

### План

- 13.1 Бінарні (двопозиційні) виконавчі механізми
- 13.2 Керовані вимикачі
- 13.3 Пристрої зв'язку (сполучення) з об'єктом

### **13.1 Бінарні (двопозиційні) виконавчі механізми**

Дуже часто для управління досить виконавчих механізмів, що мають тільки два робочих стану. Ці механізми називаються двопозиційними або бінарними. Вони схожі на електричний вимикач: включений – є струм, вимкнений – струму немає. До двопозиційним виконавчим механізмам, зокрема, відносяться магнітні клапани, електромагнітні реле і електронні твердо тільні вимикачі. Для управління такими механізмами досить одного-двох біт, які легко можна отримати на виході керуючого комп'ютера. Керуючий сигнал можна посилювати простим перемикачем, а не складним лінійним посилювачем.

Бінарні виконавчі механізми бувають з одним (monostable) і двома (bistable) стійкими станами. Виконавчий механізм з одним стійким станом, якому відповідав би відключення живлення, управляється тільки одним сигналом. Дистанційний контактор електродвигуна зазвичай є пристроєм такого типу. Поки на контактор приходить керуючий сигнал, двигун отримує харчування, але як тільки сигнал пропадає, живлення вимикається.

Пристрій з двома стійкими станами зберігає свій поточний стан до тих пір, поки не отримає новий керуючий сигнал, що змінює його. Можна сказати, що виконавчий механізм «пам'ятає» своє останнє положення. Наприклад, щоб привести в рух циліндр, керований магнітним клапаном з двома стійкими положеннями, необхідні один сигнал для відкриття і інший сигнал для закриття. Виконавчі механізми з двома стійкими станами управляються імпульсними, а не аналоговими сигналами.

### **13.2 Керовані вимикачі**

Рівень потужності вихідного сигналу комп'ютера зазвичай дуже малий: рівень напруги «потужного» вихідного сигналу лежить між + 2 В і + 5 В, а «малопотужного» - менше 1 В. Максимальний струм залежить від приєднаного навантаження, але, як правило, він менш 20 мА. Звичайний вихідний порт комп'ютера видає потужність близько 100 мВт. Це означає, що для управління більшістю виконавчих механізмів сигнал комп'ютера потрібно посилити. Для цього використовуються керовані



вимикачі.

Найбільш поширеним електрично ізольованим вимикачем в системах управління завжди було електромеханічне реле. Реле – надійний вимикач, який може працювати як на змінному, так і на постійному струмі. Струм, що протікає по обмотці реле, створює магнітне поле, що переміщує якір з одного положення в інше. Таким чином, розмикаються і замикаються електричні контакти, які самі по собі можуть пропускати струми, значно більші, ніж потрібно для управління власне реле. Типовий струм обмотки реле становить близько 0.5 А при напрузі 12В, тому реле можна керувати безпосередньо з виходу комп'ютера; потрібно проміжний вимикач середньої потужності, наприклад транзисторний підсилювач, який встановлюється між виходом комп'ютера і реле.

При проектуванні систем з реле завжди необхідно пам'ятати про проблеми енергопостачання, тому при зняттю живлення реле має приймати безпечне положення. Іншими словами, відключення живлення релейної системи не повинно призводити до небажаного поведіння приєданого навантаження.

Існують різні типи реле в широкому діапазоні потужності. Малопотужні поляризовані реле для комутацій сигналів невеликої потужності існують у виконанні на платах розширення комп'ютера. Реле для великих потужностей занадто великі для цього і встановлюються окремо, найчастіше в закритих шафах. Додатковою перевагою-реле є те, що їх робота добре знайома монтажникам і обслуговуючому персоналу.

Серед недоліків реле слід зазначити їх відносно низьку швидкодію – перемикання вимагає порядку декількох мілісекунд, замість мікросекунд для електронних пристроїв. У реле, так само, як і у механічних вимикачів, буває так зване деренчання контактів, яке може призвести до перешкод що в свою чергу впливає на вимірювальну апаратуру і електроніку комп'ютера.

Твердотілі напівпровідникові прилади (Solid-state semiconductor) застосовуються для перемикань великих потужностей, оскільки позбавлені багатьох недоліків реле. Твердотільний вимикач має керуючий вхід, приєднаний до пристрою управління. Твердотілі силові вимикачі можуть приводитися в дію безпосередньо вихідними сигналами ланцюгів цифрової логіки, тому їх досить просто використовувати в комп'ютерному управлінні.

Різні типи керованих вимикачів використовуються для комутації малих і середніх потужностей. Інтегральні схеми з транзисторним виходом можна використовувати до напруг порядку 80В і струмів до 1,5А; такі схеми управляються вихідним сигналом комп'ютера. Коли рівень вихідного сигналу комп'ютера перевищує 2,4 В, струм, керований електронним вимикачем, протікає через виконавчий механізм, а коли



рівень сигналу нижче 0,4 В, транзистор замкнений і струм не тече. У такій конфігурації транзистор працює як простий насичується підсилювач.

Для великих потужностей конструкція вимикача може ґрунтуватися на порогових транзисторах (discrete power transistors) або польових МОП-транзисторах (польовий транзистор зі структурою метал-оксид-напівпровідник, Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor – MOSFET). Такі ланцюги можуть пропускати струми 5 – 10 А і витримувати різницю потенціалів понад 100 В. Через наявність внутрішнього опору при проходженні струму транзистор розсіює деяку енергію, тому, щоб уникнути перегріву, їх потрібно монтувати з урахуванням вимог охолодження.

При управлінні великими потужностями (> 100 Вт) між виходом комп'ютера і електронним вимикачем не повинно бути прямих електричних зв'язків, в іншому випадку вимикач є джерелом перешкод, які можуть вплинути на роботу комп'ютера. Крім того, при пробі вимикача висока напруга, призначене для живлення приводу, може пошкодити комп'ютер через пряму електричну зв'язок. Щоб уникнути зазначених проблем, необхідна гальванічна розв'язка. Наприклад, схема з використанням оптичної передачі сигналу управління, що включає світлодіод і фототранзистор, розташовані поблизу один одного і виключають прямий електричний контакт.

Важливий клас напівпровідникових вимикачів – тиристри. Типовими представниками цього класу є симетричний тріодний тиристор, або сімістор (TRIode AC semiconductor – Triacs), і одноопераційний тріодний тиристор, або одноопераційний триністор (Silicon-Controlled Rectifier – SCR). Інша назва цих напівпровідникових приладів – керовані твердотільні випрямлячі (solid-state controlled rectifiers). Після того як тиристор, включений керуючим імпульсом, «підпалюється», він буде залишатися включеним до тих пір, поки через нього тече струм.

Іншими словами, на відміну від силового або польового транзистора тиристор не вимикається, коли зникає керуючий сигнал. Тиристор не відключається навіть якщо прикладена напруга падає до нуля. Відключення відбувається тільки в тому випадку, якщо керуюча напруга змінює знак – вимушена комутація. Тиристри найчастіше використовуються для відключення змінних струмів, тому що зміна полярності через однакові проміжки часу, по крайній мірі один раз за період, дозволяє погасити тиристор при відсутності керуючого імпульсу – природна комутація.

Тиристри можуть управляти значно більшими потужностями, ніж силові або польові транзистори. У провідному стані внутрішній опір тиристора практично дорівнює нулю, відповідно, падіння напруги і виділення тепла мінімальні, і ними можна знехтувати.



### 13.3 Пристрої зв'язку (сполучення) з об'єктом

Майже всі технологічні параметри, присутні в реальному промисловому об'єкті, мають аналоговий або дискретний вигляд. Існує багато датчиків, які можуть перетворювати вимірювані величини тільки в аналоговий вигляд, а також багато виконавчих механізмів, що мають тільки аналогові вхідні сигнали. З іншого боку, новітні засоби автоматизації, які знаходять все більше застосування в системах управління, використовують цифрове представлення оброблюваних величин. Для того, щоб зв'язати між собою параметри, представлені в аналоговому / дискретно і цифровому вигляді, використовуються пристрої зв'язку з об'єктами (ПЗО). Таким чином, ПЗО є невід'ємною частиною будь-якої системи управління, в тому числі використовує цифрові пристрої (промислові комп'ютери, обчислювальні мережі і т. д.). Для уявлення місця ПЗО в процесі автоматизації виробництва подібні системи можна теоретично зобразити у вигляді схеми.

Датчики, що встановлюються на об'єкті, призначені для первинного перетворення параметрів у вихідний сигнал для передачі в ПЗО. Виконавчі механізми приймають сигнали, що пройшли через ПЗО, для впливу на процес. Зв'язок між датчиками, виконавчими механізмами і ПЗО може бути аналогової, дискретної або цифровий.

Промисловий комп'ютер (PC) в системі грає роль керуючого елемента, що приймає цифрову інформацію від ПЗО і виробляє керуючі сигнали. Для зв'язку між ним і ПЗО використовується будь-який з цифрових інтерфейсів (ЦІ), до числа яких відносяться RS-232, RS-422, RS-485 і ін.

Дана схема є умовною, оскільки в реальних системах модулі ПЗО можуть не бути присутнім у вигляді самостійного пристрою, а входити до складу датчиків або промислових комп'ютерів. Прикладом служать датчики, які здійснюють подвійне (потрійне і т. д.) перетворення вимірюваної величини і видають на вхід готовий цифровий сигнал. В цьому випадку межа між власне первинним перетворювачем і ПЗО проходить десь всередині нього. З іншого боку, ПЗО можуть бути виконані у вигляді АЦП / ЦАП-плати, що вставляється в ISA-слот комп'ютера. В цьому випадку аналогові сигнали можуть бути введені прямо в комп'ютер, де і перетворюються на цифровий код.

Надалі в якості ПЗО будемо розглядати модулі, плати та інші пристрої, призначені для прийому аналогових і дискретних сигналів від об'єкту (незалежно від того, скільки разів вони були перетворені всередині нього), перетворення його в цифровий вигляд для передачі в комп'ютер (контролер), а також для прийому цифрових керуючих даних від PC і перетворення їх в вид, відповідний виконавчим механізмам об'єкта.

Модулі ПЗО – це конструктивно закінчені пристрої, виконані у



вигляді модулів, що встановлюються, як правило, в спеціалізовані плати, мають клемні з'єднувачі для підведення зовнішніх мереж (такі плати називають монтажними панелями), або на стандартну DIN-рейку. Модулі ПЗО укладені в пластмасовий корпус і оснащені відповідно або висновками для кріплення на монтажних панелях, або клемними з'єднателями з гвинтовою фіксацією для кріплення вхідних і вихідних ланцюгів.

На ПЗО покладають наступні функції:

1) Нормалізація аналогового сигналу – приведення меж шкали первинного безперервного сигналу до одного зі стандартних діапазонів вхідного сигналу аналого-цифрового перетворювача вимірювального каналу.

2) Попередня низькочастотна фільтрація аналогового сигналу – обмеження смуги частот первинного безперервного сигналу з метою зниження впливу на результат вимірювання перешкод різного походження. На промислових об'єктах найбільш поширені перешкоди з частотою мережі змінного струму, а також хаотичні імпульсні перешкоди, викликані впливом на технічні засоби вимірювального каналу перехідних процесів і наведень при комутації виконавчих механізмів підвищеної потужності.

3) Забезпечення гальванічної ізоляції між джерелами сигналу і каналами системи.

Крім цих функцій, ряд пристроїв зв'язку з об'єктом може виконувати більш складні функції за рахунок наявності в їх складі підсистеми аналого-цифрового перетворення та дискретного введення-виведення, мікропроцесора і засобів організації одного з інтерфейсів послідовної передачі даних.

Найпростішим пристроєм гальванічної розв'язки є електромагнітне реле. Реле, як правило, інерційні, мають відносно великі габарити і забезпечують обмежене число перемикачів при досить великому споживанні енергії. Розвиток електроніки призвело до поширення компонентів, що забезпечують оптичну розв'язку між ланцюгами. ПЗО, побудовані з використанням такої розв'язки, є недорогими, високонадійними і швидкодіючими. Крім того, вони характеризуються високою напругою ізоляції і низькою споживаною потужністю.

За характером оброблюваного сигналу ПЗО можна розділити на аналогові, дискретні, комбіновані і цифрові.

Аналогові ПЗО (пристрої введення, виведення або перетворення аналогових сигналів) повинні володіти великою точністю, хорошою лінійністю і забезпечувати досить велика напруга ізоляції. Крім того, бажаними є робота з різними джерелами вхідних сигналів (струми, напруги, сигнали від терморезисторів, термопар і т. д.), можливості швидкої заміни і низька вартість.

Дискретні ПЗО (пристрої введення, виведення або введення-



виведення дискретних сигналів) забезпечують: опитування датчиків з релейним виходом, кінцевих вимикачів, контроль наявності в ланцюзі напруги, струму і т. д. (Пристрої введення дискретних сигналів), інші формують сигнали для управління пускачами, двигунами та іншими пристроями (пристрої виведення дискретних сигналів). Дискретні ПЗО повинні задовольняти тим самим вимогам, що і аналогові. Крім того, вони повинні володіти мінімальним часом перемикачів, а вихідні – забезпечувати комутацію якомога більше високих напруг і струмів і вносити при цьому мінімум спотворень, обумовлених перехідними процесами, в комутуючий ланцюг.

Комбіновані ПЗО можуть поєднувати в одному пристрої введення аналогових і дискретних сигналів.

Серед модулів ПЗО існують також пристрої, що працюють тільки з цифровою формою інформації. До них відносяться модулі, які беруть цифровий сигнал від відповідних датчиків. До цієї ж категорії пристроїв можна віднести комунікаційні модулі, призначені для забезпечення мережевої взаємодії. Наприклад, повторювачі, службовці для збільшення протяжності лінії зв'язку, перетворювачі інтерфейсів RS-232 / RS-485.

У напрямку проходження даних через ПЗО їх можна розділити на 3 типи:

пристрої введення, що забезпечують передачу сигналу з датчиків в пристрій обробки і виведення сигналів для управління;

пристрою виводу, призначені для формування сигналів для виконавчих механізмів;

двонаправлені, тобто забезпечують введення і виведення сигналів.

Якщо розглядати ПЗО з точки зору призначення і конструктивного виконання, то тут можна виділити наступну класифікаційну структуру:

1 Пристрої перетворення типу «*а/д сигнал ↔ ЦІ*», тобто перетворюють аналогові й дискретні сигнали в цифровий вигляд для передачі по цифровому інтерфейсу (ЦІ) і навпаки. У середині цього типу можна виділити класи:

1.1 Модулі аналогового / дискретного введення / виведення, виконані в одному конструктиві (див. Рисунок 13.2, а).

1.2 Пристрої типу *а/д ↔ модуль ↔ м.п. ↔ ЦІ* (м.п. – монтажна плата) (див. Рисунок 13.2, б).

1.3 Пристрої типу «*а/д ↔ модуль ↔ м.п. ↔ контроллер ↔ ЦІ*» (див. Рисунок 13.2, в).

2 Допоміжні пристрої:

2.1 Пристрої типу «*ЦІ ↔ ЦІ*», службовці для перетворення інтерфейсів або для організації нових сегментів вимірювальної мережі (комунікаційні модулі) (див. рис. 13.2, г).

2.2 Модулі нормалізації і гальванічної розв'язки («*а/д ↔ модуль ↔*



а/д»).

3 Плати для введення / виведення даних в РС:

3.1 Пристрій для формування інтерфейсів («ЦИ ↔ плата ↔ РС»).

3.2 Плати АЦП / ЦАП («а/д ↔ плата ↔ РС»).

Деякі ПЗО використовують монтажні платні для установки модулів введення / виведення. На деяких з цих плат встановлені АЦП / ЦАП-перетворювачі і формувачі ЦІ.

Пристрої першого типу є основними ПЗО, використовуваними в автоматизації і тому широко представленими виробниками. Ці пристрої призначені для реалізації взаємодії між обчислювальною системою і датчиками безперервних і дискретних параметрів, а також для видачі керуючих впливів на виконавчі механізми.

Ці модулі забезпечують виконання таких функцій:

прийом і дешифрацію команд по цифровому каналу;

введення і нормалізацію аналогових сигналів (струм і напруга);

опитування стану дискретних входів;

фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів;

виведення аналогових (струм і напруга) і дискретних сигналів;

аналого-цифрове (для модулів аналогового вводу) перетворення;

цифро-аналогове (для модулів аналогового виведення)

перетворення;

перетворення шкали значень безперервних параметрів до попередньо визначених одиниці виміру;

формування і передачу на адресу основної обчислювальної системи інформації, що містить результат вимірювання або стан дискретних входів, після отримання відповідного запиту по цифровому каналу.

Налагодження та калібрування багатьох модулів здійснюється програмним способом шляхом передачі в їх адресу відповідних команд з інформаційної мережі.

**Висновки.** Змінні фізичних процесів вимірюються аналоговими, цифровими або бінарними датчиками. Тип вихідного сигналу датчика – аналоговий, бінарний, послідовність імпульсів – повинен вибиратися в залежності від програми та характеру управління.

Кожен датчик повинен задовольняти різноманітним вимогам, наприклад:

вихід повинен лінійно залежати від вимірюваної величини;

вихідний сигнал повинен мати досить високий рівень;

сам датчик не повинен спотворювати вимірювану величину;

датчик повинен мати низьке споживання потужності;

датчик повинен бути нечутливий до зовнішніх впливів і перешкод;

вихідний сигнал датчика повинен бути одним і тим же при фіксованому значенні вимірюваної величини і не залежати від попередніх вимірювань; відповідно, виміряне значення має однозначно



визначатися по вихідному сигналу датчика;

датчик повинен мати адекватне час встановлення для правильного відтворення перехідних процесів.

Розглянуто основні способи придушення перешкод або зменшення їх впливу:

екранування і заземлення;

гальванічна розв'язка;

застосування кручених проводів;

роздільна прокладка силових і сигнальних кабелів;

сигнальне заземлення.

Для передачі вимірювальної інформації краще використовувати струм, а не напруга, через чутливість напруги до зовнішніх перешкод. Струм застосовується в промислових системах управління для передачі на великі відстані. Щоб уникнути багатьох проблем, пов'язаних з електричними наведеннями, все частіше використовуються оптичні сигнали.

Виконавчі механізми – це пристрої, механічно впливають на фізичні процеси шляхом перетворення електричних сигналів в потрібне керуючий вплив. Аналогічно датчикам, виконавчі механізми повинні бути підібрані відповідним чином для кожного завдання. Виконавчі механізми можуть бути бінарними, дискретними або аналоговими; конкретний тип для кожного завдання вибирається з урахуванням необхідної вихідної потужності і швидкодії. Багато виконавчі механізми самі по собі є системами управління, т. е. включають в себе контури регулювання своїх параметрів на основі керуючого сигналу від зовнішньої системи управління; деякі сервомеханізми, що змінюють швидкість і позиціонування, включають в себе і елементи управління цими параметрами.

### **Контрольні питання**

1. Бінарні виконавчі механізми, призначення та види.
2. Види і призначення керівників вимикачів.
3. Місце ПЗО в системах автоматизації.
4. Функції, покладені на ПЗО.
5. Аналогові, дискретні і комбіновані ПЗО.
6. Типи ПЗО у напрямку проходження даних.
7. Вимоги до датчиків параметрів для якісного прийому сигналів.



## ЛЕКЦІЯ 14. АЛГОРИТМІЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ І ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

### План

14.1 Призначення алгоритмів контролю

14.2 Аналітична градування (масштабування) і корекція показників датчиків

14.3 Фільтрація і згладжування

### 14.1 Призначення алгоритмів контролю

Алгоритми централізованого контролю призначені для збору і передачі вимірювальної інформації від датчиків, встановлених на ТОУ, а також для первинної обробки цієї інформації з метою:

визначення поточних і прогнозованих значень вимірюваних величин і оцінки шуканих величин, що не вимірюються, за непрямыми параметрами;

обчислення облікових і техніко-економічних параметрів по непрямим параметрам;

виявлення порушень ТОУ і технічних засобів АСУТП, що вимагають негайного втручання.

Результати первинної обробки є тими вихідними даними, за якими розраховуються всі вихідні параметри алгоритмів керування.

Більшість результатів первинної обробки використовується для оперативного формування керуючих впливів, тому відповідні задачі первинної обробки повинні вирішуватися в реальному масштабі часу. Однак, деякі показники (наприклад, ТЕП за 1 годину, зміну, добу і т. п.) є вихідною інформацією не в системі, а передаються на більш високий рівень. Така інформація зазвичай обробляється в зменшеному масштабі часу.

Задача розробки алгоритмів контролю формується таким чином. Задані всі вихідні величини (в тому числі показники і події), які повинна визначати підсистема контролю, і вказані необхідні параметри кожної вихідної величини (точність її визначення, частота видачі оператору або в інші підсистеми, форма видачі і т. д.). Є сукупність вимірювальних засобів, яка може бути використана в якості джерел вихідної інформації для визначення заданих вихідних величин. Потрібно визначити раціональний комплекс алгоритмів, переробний сигнали датчиків в шукані вихідні величини і задовольняє заданим вимогам на параметри вихідних величин.

До задач контролю відносяться: лінеаризація і корекція, фільтрація і згладжування сигналів датчиків, екстра- та інтерполяція даних по дискретним вимірами, контроль достовірності одержуваної інформації, обчислення різних статистичних характеристик сигналів датчиків, оцінка



стану об'єкта при наявності шумів вимірів і доступних виміру ряду змінних, виявлення аварійних ситуацій і діагностика в ТОУ, розрахунок ТЕП.

Після визначення комплексу вихідних величин, виданих підсистемою контролю, і встановлення сукупності вимірювальних засобів, вони можуть бути використані в якості джерел вихідної інформації на автоматизується об'єкті для розробки блок-схем переробки сигналів датчиків в шукані вихідні величини підсистеми централізованого контролю. Для цього слід скористатися поділом всього процесу переробки вимірювальної інформації на ряд послідовно виконуваних типових операцій. Послідовність виконання операцій наступна:

- аналітична градування датчиків;
- компенсація дрейфу (при необхідності);
- екстра-та інтерполяція дискретно вимірюваних величин;
- контроль достовірності інформації про процес;
- визначення сумарних і середніх значень величин за задані інтервали часу. значення, помітно відрізняються від інших, краще відкинути (за потреби);

- корекція динамічного зв'язку між вимірюваної і шуканої величиною;
- перевірити відповідність вихідних даних параметрах датчика – діапазону допустимих вихідних значень і діапазону швидкостей зміни вихідного сигналу; якщо значення виходить з цих діапазонів, то повинні генеруватися аварійні повідомлення або інші вказівки для оператора;
- застосувати цифрову фільтрацію;
- зберегти відфільтровані дані.

Комерційні програмні пакети збору даних (далі – SCADA-пакети) зазвичай дозволяють виконувати всі ці операції.

Розглянемо коротко алгоритми деяких з перерахованих обчислювальних операцій.

## **14.2 Аналітична градування (масштабування) і корекція показників датчиків**

Масштабування - перетворення двійкового коду на виході АЦП в число, відповідне поточному значенням фізичної величини.

Значення вихідного сигналу датчика у пов'язано з вимірюваної величиною  $x$  в загальному випадку монотонної залежності  $y = f(x)$ . Для задач управління необхідно знати істинне значення вимірюваної величини  $x$ , тому виникає необхідність обчислити  $x$  за значенням показника датчика  $y$ , тобто знаходження функціональної залежності

$$x = f(y) = F^{-1}(Y).$$

Задача вирішується просто, якщо зазначена залежність лінійна.



Для більшості датчиків механічних і електричних величин, датчиків рівня і деяких інших характерна лінійна залежність:  $y = ax + b$ , тоді  $x = (y - b) / a$ .

ПРИКЛАД. Нехай вимірюваний технологічний параметр – температура, змінюється в діапазоні від 5 до 30 °С, при чому датчик має струмовий вихід 0..5 mA, розрядність АЦП  $n = 12$ . Вхідний сигнал АЦП може змінюватися в межах  $-10 \div 10$  В, але при  $R_{in} = 2$  кОм діапазон вхідного сигналу  $0 \div 10$  В (тобто використовується половина можливостей АЦП, тобто  $n = 11$ ). Нехай код на виході АЦП, відповідний поточної температурі, дорівнює одна тисяча двадцять три.

Максимальне число, відповідне 11-розрядному коду,  $N_{max} = 2047$ . Діапазон шкали АШК  $= 30 - 5 = 25$  °С. Неважко помітити, що температура, відповідна одержуваного коду, буде дорівнювати  $5 + \frac{1023}{2047} \cdot 25 \approx 17,5$  °С.

Таким чином, узагальнена формула виглядає наступним чином:

$$P_{физ} = X_{поч} + \frac{K}{K_{max}} A_{шк}, \quad (14,1)$$

де  $P_{физ}$  – поточне значення параметра;

$X_{поч}$  – значення параметра, відповідне мінімуму шкали;

$K$  – поточний код, отриманий від АЦП;

$K_{max}$  – максимальне значення коду, що повертається АЦП;

$A_{шк}$  – діапазон шкали.

Як зазначено вище, наведена формула використовується при лінійному вихідному сигналі нормує перетворювача.

У разі, якщо функція  $F^{-1}(y)$  є нелінійною, то використовують один з наступних методів:

метод лінійної інтерполяції табличного значення  $F(x)$ ;

обчислення функції  $F^{-1}(y)$  або апроксимацію цієї функції за допомогою статевого полінома  $P_n(y)$ .

Якщо функція  $f(y)$  є нелінійною, можна висловити її за допомогою відомих алгебраїчних і трансцендентних функцій, однак цей шлях досить складний і застосовується нечасто. Зазвичай функція  $f(x)$  задається в табличному вигляді, наприклад, по експериментально знятим точкам в діапазоні передбачуваних вимірів. Найпростішим алгоритмом знаходження  $x$  при цьому вважається лінійна інтерполяція таблиці з заданим кроком  $x$ .

Недоліком такого алгоритму є великий обсяг пам'яті обчислювального пристрою, тому що необхідно запам'ятовувати всю таблицю. Тому найбільш зручним методом виявляється апроксимація функції  $D(y)$  за допомогою статевого полінома  $P_n(y) = a_0 + a_1 y + \dots + a_n y^n$ .

При цьому обсяг обчислень малий, а в пам'яті машини зберігаються тільки  $n$  коефіцієнтів полінома (зазвичай  $n$  невелика). Для обчислення



значень полінома в будь-якій точці зазвичай застосовується схема Горнера.

Апроксимацію табличних даних зазвичай проводять або поліномом рівномірного найкращого наближення, або за допомогою полінома регресії. У першому випадку отриманий поліном дає мінімальне значення максимальної помилки лінеаризації в діапазоні апроксимації, у другому – мінімальне значення середньоквадратичної похибки (при фіксованій ступеня полінома  $n$ ).

Для зменшення часу обчислень і необхідної пам'яті контролера або ПЕОМ переважно вибирати апроксимуючий поліном найменшої міри, що забезпечує допустиму похибку  $X_{\text{доп}}$ .

Отже, якщо апроксимуючий поліном  $\epsilon$ , значення вимірюваної величини обчислюються за схемою Горнера на основі показань датчика; якщо апроксимуючий поліном не заданий і користуються всією градувальною таблицею, то розрахунок значень проводиться по інтерполяційної формулою.

У ряді АСУТП інформація про вимірювані параметри виражається в ЕОМ правильним дробом  $a$ , що змінюється від 0 до 1 при зміні параметра від мінімального до максимального значення. Тоді обчислення абсолютних величин тиску, переміщення, обсягу, здійснюється за формулою:

$$P_t = P_{\text{max}} * a, \quad (14.2)$$

де  $P_t$  – поточне значення параметра (кг / см<sup>2</sup>, м, м<sup>3</sup>);

$P_{\text{max}}$  – максимальне значення шкали датчика відповідного параметра.

### 14.3 Фільтрація і згладжування

При фільтрації в тимчасовій області кожен елемент вихідного сигналу замінюється послідовністю елементів, пропорційних йому по амплітуді, але зсунутих за часом, сума цих елементів утворює новий сигнал.

Існують різні методи фільтрації, найбільш простий реалізацією відрізняються методи поточного усереднення і експоненціального згладжування.

Після аналогової фільтрації, АЦ-перетворення і введення даних в комп'ютер виконується цифрова фільтрація. Цифрова фільтрація має велику гнучкість, оскільки характеристики фільтра можна змінити, просто задавши нові параметри відповідної йому програми. На відміну від аналогових, цифрові фільтри добре працюють з тривалими постійними сигналами.

У загальному вигляді цифровий фільтр (digital filter) можна уявити,



як

$$\hat{y}(kh) = -a_1 \cdot \hat{y}[(k-1)h] - a_2 \cdot \hat{y}[(k-2)h] - \dots - a_n \cdot \hat{y}[(k-n)h] + b_0 \cdot y(kh) + \dots + b_m \cdot y[(k-m)h] \quad (14.3)$$

де  $h$  – це інтервал вибірки,

$\hat{y}$  – відфільтроване вихідне значення,

$y$  – вхідне значення. Аргумент  $kh$ , за змістом представляє собою час, можна розглядати і просто як номер ( $k$ ) в послідовності вхідних значень. Якщо всі коефіцієнти  $a_i$  дорівнюють нулю, то такий фільтр називається фільтром змінного середнього (Moving Average – MA) з кінцевою імпульсною характеристикою. Це означає, що якщо протягом деякого часу все послідовні значення  $y_i$ , крім одного, дорівнюють нулю, то на виході фільтра сигнал буде відмінний від нуля тільки на  $m$  тимчасових інтервалах. Якщо деякі або всі коефіцієнти  $a_i$  не рівні нулю, то такий фільтр називається авторегресійним (AutoRegressive – AR) і має нескінченну імпульсну характеристику. Іншими словами, вхідний сигнал, що відрізняється від нуля тільки на одному часовому інтервалі, спричинить появу на виході сигналу, відмінного від нуля протягом нескінченно довгого часу. Узагальнений фільтр, описуваний рівнянням (14.), називається авторегресійним фільтром змінного середнього (AutoRegressive Moving Average – ARMA).

Фільтри можуть бути «причинними» і «Непричинні». Причинний (causal) фільтр обчислює вихідне значення на підставі раніше введених даних (будь-якої миті  $t_0$  враховуються вхідні значення тільки для  $t < t_0$ ). Тому всі фільтри реального часу (on-line) є причинними. Послідовність відфільтрованих значень на виході буде відставати на деякий час в порівнянні з послідовністю на вході. Якщо дані обробляються в автономному режимі (off-line), наприклад при аналізі серії значень вже зібраних вимірювань, можна використовувати Непричинні (non-causal) фільтр. У цьому випадку розрахунок для моменту часу  $t_0$  можна виробляти на основі як попередніх ( $t < t_0$ ), так і наступних ( $t > t_0$ ) значень.

### Контрольні питання

1. Призначення алгоритмів контролю.
2. У чому полягає задача розробки алгоритмів контролю?
3. Основні типові операції при обробці вимірювальної інформації.
4. Що таке масштабування?
5. Визначення значення параметра в разі нелінійної залежності значення параметра від вимірюваної величини.
6. Призначення цифрової фільтрації і згладжування.
7. Причинні і Непричинні фільтри.



## ЛЕКЦІЯ 15. ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ. ІНШІ ВИДИ ОБРОБКИ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ

### План

- 15.1 Цифрові фільтри низької частоти
- 15.2 Цифрові фільтри низької частоти високих порядків
- 15.3 Достовірність вихідних даних і аварійна сигналізація
- 15.4 Інтерполяція і екстраполяція
- 15.5 Статистична обробка експериментальних даних

### 15.1 Цифрові фільтри низької частоти

Для того щоб дослідити повільно змінюється вхідний сигнал, необхідно видалити з вимірювальних даних випадкові піки і високочастотні наведення, які не містять будь-якої корисної інформації. Це можна зробити за допомогою цифрового фільтра низької частоти (digital low pass filter). Структура цифрового фільтра, який ефективно видаляє різкі коливання сигналу і в той же час не впливає на повільні зміни, завжди компромісна, бо частотні діапазони вихідного і стороннього сигналів зазвичай перетинаються. Як і у аналогових фільтрів, динаміка фільтра високого порядку ефективніша для видалення небажаних високих частот.

Два найбільш важливих типу ФНЧ – змінного середнього і експоненційного згладжування (exponential smoothing). ФНЧ, що використовуються в промисловості, майже завжди базуються на одному з цих простих фільтрів.

Приклад. Фільтр змінного середнього – найпростіший ФНЧ.

Простий фільтр змінного середнього виходить, якщо взяти всі параметри  $a_i$  в рівнянні (14.1) рівними нулю. Якщо необхідна просте усереднення, то все вагові коефіцієнти  $b_i$  рівні і дають в сумі одиницю. Наприклад, фільтр змінного середнього з п'ятьма вхідними значеннями, має вигляд

$$\hat{y}(kh) = \frac{1}{5} \cdot (y(kh) + \dots + y[(k-4)h]) \quad (15.1)$$

Якщо операція фільтрації здійснюється не в режимі реального часу, то величину змінного середнього можна підрахувати, використовуючи вимірювання як до, так і після заданого моменту часу  $kh$ . В цьому випадку відфільтроване значення не відстає за часом щодо вхідних значень. Непричинні простий фільтр змінного середнього по п'яти значень має вигляд



$$\hat{y}(kh) = \frac{1}{5} \cdot (y[(k-2)h] + \dots + y[(k+2)h]) \quad (15.2)$$

Якщо величина на виході являє собою усереднення за останніми  $p$  вибірках, то вона зміщується на  $1 + p / 2$  циклів. При великих значеннях  $p$  вихідний сигнал стає більш гладким, але при цьому все більше відстає за часом. Імпульсна характеристика фільтра змінного середнього конечна. Для вхідного імпульсу в момент  $t = 0$  вихідний сигнал після моменту  $t = p$  стає нульовим.

Ковзне середнє – це простий метод, але він має певні обмеження. При використанні однакових коефіцієнтів фільтр може бути надто інертним і недостатньо швидко реагувати на реальні зміни у вхідному сигналі. З іншого боку, якщо коефіцієнти різняться зменшуються для великих значень індексу  $p$ , то це ускладнює аналіз властивостей фільтра.

Експонентний фільтр (exponential filter) – це авторегресійний фільтр змінного середнього першого порядку, який визначається наступним рівнянням

$$\hat{y}(kh) = \alpha \cdot \hat{y}[(k-1)h] + (1 - \alpha) \cdot y(kh) \quad (15.3)$$

Відфільтроване значення  $y(kh)$  обчислюється підсумовуванням попереднього значення відфільтрованого сигналу  $y[(k-1)h]$  і останнього значення  $y(kh)$  вимірювального сигналу з ваговими коефіцієнтами. Коефіцієнт  $\alpha$  лежить в інтервалі між 0 і 1. Рівняння (15.3) можна переписати у вигляді

$$\hat{y}(kh) = \hat{y}[(k-1)h] + (1 - \alpha) \cdot (y(kh) - \hat{y}[(k-1)h]) \quad (15.4)$$

т. е. експоненціальне фільтр уточнює відфільтроване значення на виході відразу, як тільки на вхід надходить нове значення. Це уточнення невелика і стає ще менше для значень  $\alpha$ , близьких до 1; в цьому випадку з'являється ефект інерційності. Зменшення шумових компонентів вихідного сигналу відбувається за рахунок слабкого відповідності з реальними змінами на вході. При  $\alpha$ , близькому до нуля, величина поправки зростає. Відповідно, фільтрація шуму зменшиться, однак зміни вихідного сигналу будуть відслідковуватися більш точно. При  $\alpha = 0$  сигнал на виході ідентичний сигналу на вході. Вплив величини  $\alpha$  на реакцію фільтра при стрибку зашумленого вхідного сигналу проілюстровано на рис. 15.1.



$$\hat{y}(t) = \frac{1}{1 + \frac{h}{T}} \cdot \hat{y}(t-h) + \frac{h}{T} \cdot \frac{1}{1 + \frac{h}{T}} \cdot \hat{y}(t) \quad (15.5)$$

що ідентично рівняння (15.1) при  $\alpha = \frac{1}{1 + \frac{h}{T}}$  або  $T = \frac{\alpha \cdot h}{1 - \alpha}$ .

Оскільки було прийнято, що  $h / T$  мало, то апроксимація вірна, якщо  $\alpha$  прагне до 1. У цьому випадку  $\alpha$  можна визначити наступним наближенням вирівнянням

$$\alpha \approx 1 - \frac{h}{T} \Rightarrow T \approx \frac{h}{1 - \alpha} \quad (15.6)$$

Насправді точне рішення диференціального рівняння – це рівняння

$$\alpha = e^{-h/T} \Rightarrow T \approx -\frac{h}{\ln(\alpha)}, \quad (15.7)$$

для якого вираз є хорошим наближенням при малих значеннях  $h / T$ .

Реакція фільтра на стрибок вхідного сигналу (рис. 15.1) ілюструє зв'язок між  $\alpha$  і  $T$ . Протягом інтервалу, рівного однієї постійної часу  $T$ , сигнал на виході досягає 63 % від величини остаточного значення: при  $\alpha = 0.95$  постійна часу  $T$  дорівнює приблизно 20 інтервалах вибірки, а при  $\alpha = 0.98$  – близько 50 інтервалом.

## 15.2 Цифрові фільтри низької частоти високих порядків

Аналоговий фільтр другого порядку більш ефективний для придушення високочастотних компонентів, ніж фільтр першого порядку. Цифровий фільтр зі структурою, яка визначається рівнянням (14.3), при  $p = \tau = 2$  відповідає аналоговому фільтру другого порядку. Поєднавши послідовно два експоненційних фільтри першого порядку, отримаємо фільтр другого порядку з двома однаковими частотами зрізу

$$\begin{aligned} \hat{y}_1(kh) &= \alpha \cdot \hat{y}_1[(k-1)h] + (1 - \alpha) \cdot y(kh) \\ \hat{y}_2(kh) &= \alpha \cdot \hat{y}_2[(k-1)h] + (1 - \alpha) \cdot \hat{y}_1(kh) \end{aligned} \quad (15.8)$$

де  $y$  – значення вхідного сигналу,  
 $y_1$  – вихідний сигнал першого фільтра,



$y_2$  – вихідний сигнал другого фільтра. Властивості фільтра визначаються параметром  $\alpha$ . Якщо виключити змінну  $y_1(kh)$ , то цифровий фільтр другого порядку можна записати в наступному вигляді

$$\hat{y}_2(kh) = 2\alpha \cdot \hat{y}_2[(k-1)h] - \alpha^2 \cdot \hat{y}_2[(k-2)h] + (1-\alpha)^2 \cdot y(kh)$$

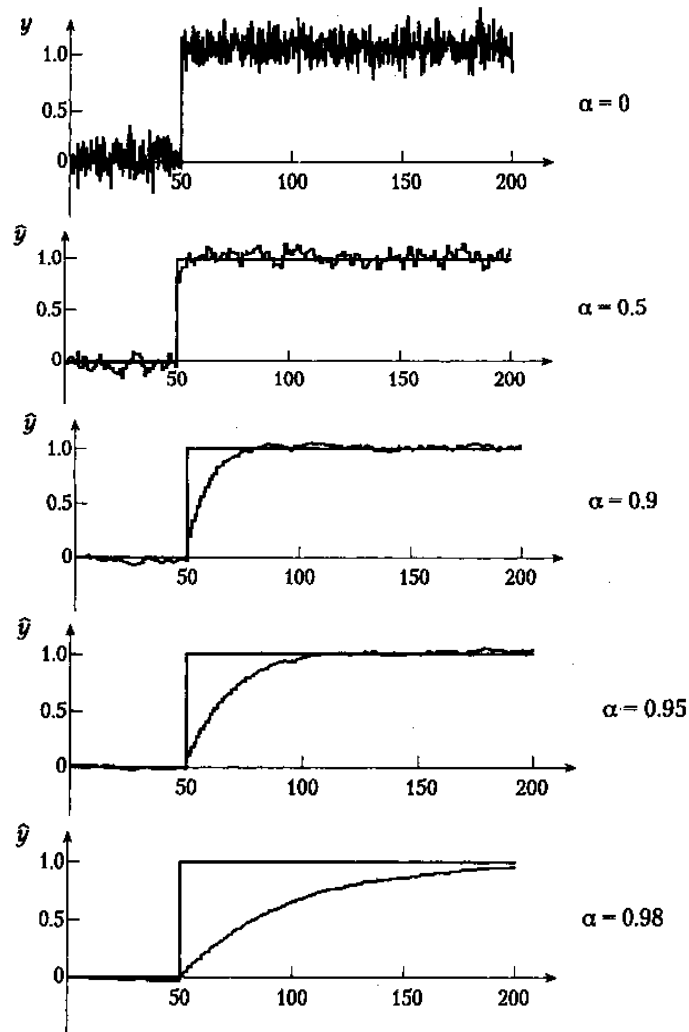


Рисунок 15.1 – Вплив згладжувального експоненціального фільтра першого порядку

Результат застосування фільтра другого порядку до сигналу, зображеного на рис. 15.1, показаний на рис. 15.2.

Фільтр другого порядку ефективніше пригнічує високі частоти, тому можна вибрати менше значення  $\alpha$ . Вихідний сигнал цього фільтра точніше відповідає змінам вхідного сигналу, ніж у фільтра першого порядку.



Застосування фільтрів вищих порядків дозволяє ще більше поліпшити якість вихідного сигналу. Платою за це є збільшення складності фільтра, однак вартість обробки даних невелика.

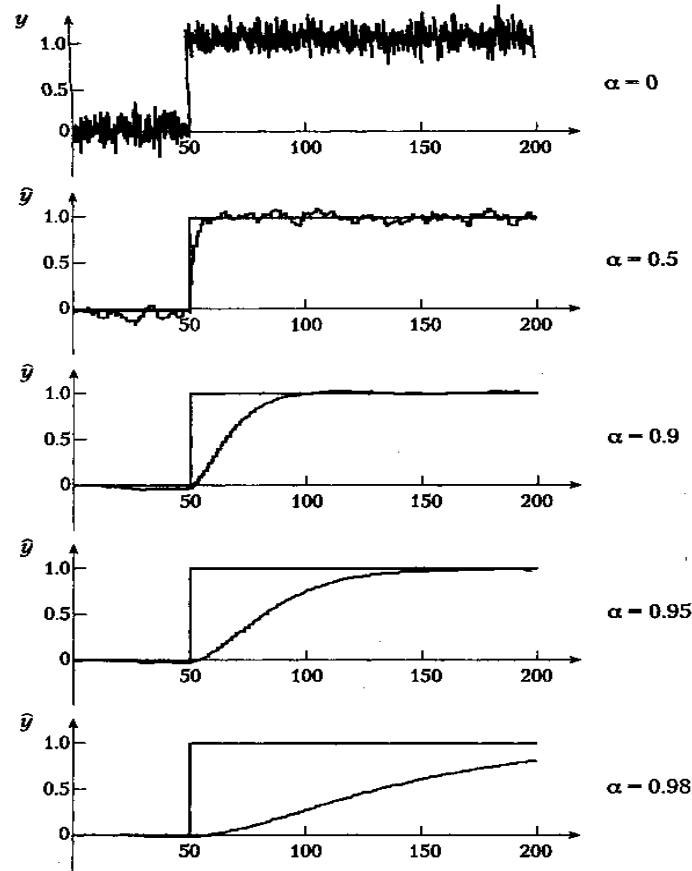


Рисунок 15.2 – Вплив експоненціального фільтра другого порядку при різних значеннях параметру  $\alpha$

Слід зазначити, що якщо в аналогових фільтрах додавання пасивних електронних компонентів до ланцюга фільтра означає додаткові енергетичні втрати в сигналі, то при програмної реалізації цієї проблеми не існує.

З рівняннями цифрових фільтрів високої частоти рекомендую ознайомитися самостійно (див. Список рекомендованої літератури).

### 15.3 Достовірність вихідних даних і аварійна сигналізація

Існує багато методів перевірки достовірності вихідних даних. Для автоматизованих систем достовірність відіграє особливу роль, так як помилки у вхідних даних можуть привести до некоректних керуючим діям. У першу чергу, необхідно переконатися, що величина вхідного сигналу лежить в межах робочого діапазону датчика. Вихід за його межі



може вказувати на виняткову ситуацію, наприклад, що датчик відключений. Ця перевірка не повинна являти собою просте порівняння з попередньо встановленим граничним значенням, тому що в цьому випадку навіть невеликі коливання біля цього значення можуть викликати безліч аварійних сигналів. Щоб уникнути таких ситуацій зазвичай визначають смугу гістерезису навколо порогового значення (рис. 15.3). Аварійний сигнал генерується тільки тоді, коли вхідна величина перевищить друге граничне значення. Для того щоб скинути аварійний сигнал, вхідна величина повинна знову перетнути першої граничної значення. Новий аварійний сигнал може бути вироблений після того, як другий поріг буде досягнутий знову.

Перевірка швидкості зміни сигналу дозволяє виявити помилки датчика. Якщо зміни вихідного сигналу датчика протягом декількох останніх інтервалів вибірки перевищують заздалегідь певне значення, то виробляється аварійний сигнал. Контроль швидкості зміни повинен проводитися перед цифровою фільтрацією, в іншому випадку зміни сигналу можуть бути втрачені і перевірка стає безглуздою.

сигнал

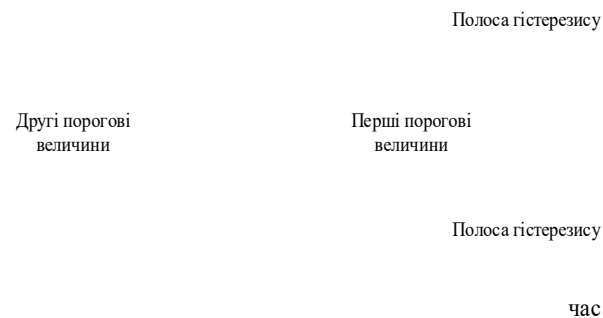


Рисунок 15.3 – Смуга гістерезису близько порогових значень

Аварійна індикація встановлюється, коли значення сигналу досягає точки 1, і утримується до тих пір, поки воно не стане менше нижньої межі смуги гістерезису; новий аварійний сигнал буде вироблений в точці 2

#### 15.4 Інтерполяція і екстраполяція

**Інтерполяція** – побудова наближеного або точного аналітичного вираження функціональної залежності, коли про неї відомі тільки співвідношення між аргументом і відповідними значеннями функції в кінцевому ряді точок – має наступні застосування в АСУТП:

лінеаризація і інтерполяція сигналів датчиків;

формування безперервно-мінливого сигналу за коефіцієнтом тимчасового полінома або числовий програмі в системах програмного регулювання;

отримання аналітичного виразу статичної (зазвичай у вигляді



квадратичної форми від вхідних впливів) або динамічної (зазвичай у вигляді дрібно-раціональної передавальної функції) характеристик за експериментально отриманими точкам в задачах ідентифікації та характеристики;

отримання аналітичного виразу кореляційних функцій або спектральних густин при статистичній обробки даних;

перехід від однієї форми математичного опису до іншого в задачах характеристики;

інтерполяція таблиць, номограм, діаграм, що зберігаються в пам'яті ЕОМ, для визначення будь-яких параметрів, наприклад, параметрів ПІД-регулятора за номограмами.

Задача інтерполяції при наявності перешкод вимірів називається задачею згладжування.

**Екстраполяція** – поширення результатів, отриманих зі спостережень над однією частиною явища на іншу його частину, недоступну для спостереження. Має наступне застосування в АСУТП:

підвищення якості управління (швидкодії, стійкості і т.п.), зазвичай – за рахунок введення в закон управління похідних;

передбачення (прогнозування) впливів, що обурюють або обурює руху при створенні оптимальних систем комбінованого типу, що містять дві складові управління, з яких одна є функцією поточного стану, а друга – функцією передбаченого обурення;

передбачення положення в стаціонарній точці в задачах планування екстремальних експериментів або екстремального регулювання для прискорення процесу пошуку;

передбачення аварійних ситуацій і нечасто вимірюваних змінних, коли для управління процесом потрібно більш частий опитування змінних, ніж реально можливий.

Алгоритми екстраполяції і інтерполяції розглядалися в дисципліні «Чисельні методи».

## 15.5 Статистична обробка експериментальних даних

Важливим моментом завдання дослідження і управління ТОУ є обробка великого потоку експериментальної інформації, що має, як правило, випадковий характер. І це обумовлює необхідність використання методів математичної статистики для вилучення цінної інформації з експериментальних даних.

З урахуванням необхідності роботи АСУТП в реальному масштабі часу, статистична обробка інформації повинна бути оперативною. Тобто обробка повинна здійснюватися в ході експерименту в темпі надходження інформації безпосередньо від досліджуваних об'єктів за мінімальний час і з отриманням результатів обробки у вигляді, зручному для подальшого використання. У зв'язку з цим для забезпечення



оперативності обробки експериментальної інформації повинні використовуватися прості методи і алгоритми статистичної обробки.

Метою оперативної статистичної обробки експериментальної інформації в рамках аналізу реалізацій випадкових процесів є отримання системи статистичних оцінок з певною довірчою ймовірністю і точністю в реальному масштабі часу.

Оцінки щільності ймовірностей емпіричних розподілів у вигляді багатовимірного функціоналу за умови стаціонарності і ергодичності випадкових процесів  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  – є вичерпною характеристикою сукупності процесів  $\{x_k(t)\}$ . Це дає можливість в рамках кореляційно-регресійного аналізу отримати функції кореляції, дисперсій, спектральних щільностей, безумовних і умовних математичних очікувань і інших числових характеристик, пов'язаних з фізичними параметрами об'єкту, а також помилки (дисперсії або СКО), спектральні характеристики і т. д., за якими можна судити про якісний стан об'єкта.

З алгоритмами статистичної обробки експериментальної інформації можна ознайомитися в спеціальній літературі.

### Контрольні питання

1. Для чого застосовують цифрові низкочастотну фільтрацію?
2. Два найбільш відомих фільтра низької частоти.
3. Формула фільтра змінного середнього.
4. Формула фільтра експоненціального згладжування.
5. Для чого використовуються цифрові фільтри низької частоти високих порядків.
6. Що таке смуга гістерезису близько порогових значень датчика?
7. З якою метою вхідні дані систем перевіряють на достовірність? Коли це необхідно?
8. Використання інтерполяції і екстраполяції при обробці вхідних технологічних і експериментальних даних.
9. Для чого використовується статистична обробка експериментальних даних?



## ЛЕКЦІЯ 16. ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП

### План

- 16.1 Особливості об'єктів автоматизації чорної металургії
- 16.2 АСУТП як система функціональних задач
- 16.3 Фактори, що визначають якість спеціального програмного забезпечення
- 16.4 Основні вимоги та структура СПО АСУТП
- 16.5 Основні підсистеми СПО АСУТП

### **16.1 Особливості об'єктів автоматизації чорної металургії**

Функціональні можливості практично будь-якої системи управління (СУ) визначаються особливостями об'єкта, для якого створюється ця система. Для АСУТП об'єктом є технологічний об'єкт управління (далі - ТОУ).

З точки зору матеріально-технічної та організаційної структур виробництва, а також характеру протікання ТП, все різноманіття ТОУ можна розділити на три складові групи: безперервні, дискретні, безперервно-дискретні.

З точки зору управління по виду рівнянь зв'язку між вхідними та вихідними змінними ТОУ зазвичай класифікують на одномірні і багатовимірні, лінійні і нелінійні, стаціонарні і нестаціонарні і т. д.

Найпростішими ТОУ є одномірні, стаціонарні, зосереджені, лінійні системи, більш складними – багатовимірні, нестаціонарні, нелінійні, з розподіленими параметрами.

Для об'єктів чорної металургії характерні наступні особливості як об'єктів автоматизації:

наявність різномірних функціональних задач, що виникають при автоматизації: контроль параметрів технологічних режимів, діагностика стану та управління режимами ТОУ, стабілізації певних змінних, програмного регулювання;

порівняно високий рівень автоматизації існуючих ТОУ, який визначається локальними системами. Цей рівень дозволяє в класі безперервних ТОУ забезпечити стаціонарність їх режимів, однак не гарантує оптимальності з точки зору техніко-економічних показників (ТЕП);

підвищення актуальності задачі оптимізації в цілому. Зазвичай ця задача формулюється для отримання основних та побічних продуктів ТП з найменшими витратами при їх якості, регламентованому по ГОСТу, а також при наявності певних технологічних обмежень. Для її вирішення локальної автоматики недостатньо і необхідний системний підхід, тобто комплексна автоматизація. Вона пов'язана з ускладненням схем



управління і переходу до багаторівневим ієрархічним САУ, а також з укрупненням оперативної інформації про ТОУ (обчислення ТЕП, діагностичних оцінок, моделей ситуацій і т. д.);

необхідність адаптації систем управління ТОУ до мінливих зовнішніх і внутрішніх умов (через зміни характеристик сировини в ТОУ; характеристик оброблюваного матеріалу в ТОУ; наявність збурень по навантаженню). Така адаптація САУ може бути як локальної САУ (наприклад, підстроюванням параметрів САР), так і глобальної, пов'язаної з підстроюванням уставок систем стабілізації, що визначають стаціонарний режим ТП і його оптимальність в цілому.

## **16.2 АСУТП як система функціональних задач**

Аналіз особливостей ТОУ як об'єктів автоматизації дозволяє сформулювати положення, що визначають склад функціональних задач, які повинна вирішувати АСУТП:

1. Основні задач управління ТОУ завжди формулюються як оптимізаційні.

2. Серед задач контролю і управління є певна ієрархічність.

Зазначене, в результаті, визначає склад найбільш важливих і часто зустрічаються задач, які повинні вирішуватися в відповідних функціональних підсистемах АСУТП.

Можна виділити кілька класів основних (типових) задач АСУТП, частина з яких розглянуті в попередніх лекціях:

1. Збір та обробка інформації.
2. Задача ідентифікації (активні і пасивні методи).
3. Оптимізаційні задач (статична, динамічна оптимізація).
4. Пуск і зупинка агрегату.
5. Управління технологічним процесом з заданою якістю.
6. Запобігання і аналіз аварійних ситуацій і т. д.

Усередині класу можливе функціонування різних задач, в т. ч. специфічних, пов'язаних з роботою конкретного агрегату.

## **16.3 Фактори, що визначають якість спеціального програмного забезпечення**

Чинники, які визначають якості спеціального програмного забезпечення, можна розділити на дві групи: що визначаються розробкою СПО і організаційні (рис. 6.2).

Першу групу чинників можна охарактеризувати деякими кількісними параметрами, а другу можна оцінити тільки з якісної боку - вона відряджає зазвичай сформований стиль керівництва розробкою великих систем ПО, розробкою керівних матеріалів і накопиченим досвідом проведення робіт.



Фактори, що визначаються розробкою, можна уявити в свою чергу такими факторами, як визначеність, ясність, надійність і гнучкість експлуатованого ПЗ.

визначеність базується на повній специфікації проблем і документації, що відбиває сутність і деталі розробки. Практика показує, що в ході експлуатації програм широкому колу користувачів потрібно конкретно адаптована документація.

ясність побудови програми має на увазі простоту організації (програма повинна легко аналізуватися і використовуватися). Цим фактором визначається мінімальна вартість супроводу СПЗ на об'єкті.

надійність певною мірою базується на коректності програми, тестуванні і допуск помилок.

гнучкість (Простота зміни, розширення і модифікації) включає поняття модульності структури і портативності. Міру модульності програми частково можна виразити числом підпрограм, включених в неї. Під портативністю програм розуміється легкість переміщення їх з одного середовища в інші. Рішення проблеми портативності може бути здійснено при дотриманні принципу розробки програмного забезпечення: ніколи не використовувати в програмі залежних характеристик і властивостей конкретного середовища.

організаційні чинники не пов'язані безпосередньо з конкретною розробкою якоїсь програми (системи), а є спільними в програмуванні. До них відносяться стандартизація, підготовка персоналу, техніка програмування, керівництво розробкою.

При розробці СПО особливої важливості набуває стандартизація зображень структурних схем, технологічних процесів обробки інформації, термінів, прийомів і техніки програмування, використання сучасних методів проектування на базі САПР та інших факторів, що визначають мінімальні витрати на розробку АСУТП.

Підготовку персоналу можна уявити прийнятою системою підготовки кадрів програмістів і користувачів ПЗ (освіта), прагненням їх до вдосконалення в процесі роботи, системою встановлених або сформованих взаємин в процесі роботи (оточення).

Техніка програмування відіграє істотну роль у створенні програм. Програмування розглядається як методика конструктивних міркувань, що застосовуються до деякої проблеми, що допускає алгоритмічне рішення. Поняття програмування розроблено як побудова дерева зв'язків на підставі неформального опису за наступними один за іншим послідовним крокам уточнення до отримання необхідної системи кодів. Отримати коректну програму легше через стадію побудови, ніж через вичерпне тестування. Тестування можна використовувати для показу існування помилок, але не для показу їх відсутності.

Основні завдання керівництва розробкою СПЗ:

навчання інженерного і керівного персоналу по технології



- використання комп'ютерної техніки і технічних засобів;
- контроль видачі та зміни програм;
- організація зв'язку між розробниками і користувачами програм;
- розробка методів контролю;
- складання документації.

## **16.4 Основні вимоги та структура СПЗ АСУТП**

Програмне забезпечення АСУТП повинно бути достатнім для виконання всіх функцій, що реалізуються за участю програмованих засобів обчислювальної техніки і встановлюваних технічним завданням на АСУТП. Спеціальне програмне забезпечення повинно будуватися таким чином, щоб була забезпечена можливість його розширення з урахуванням перспектив розвитку АСУТП в межах, передбачених у технічному завданні на систему.

В сучасних умовах СПЗ включає: SCADA-пакет; ПЗ контролерів або ПК, що виконує їх функції; ПЗ комп'ютерів, що входять до складу АСУТП.

Програмне забезпечення АСУ ТП складається з компонентів, що розрізняються по розміщенню і типу.

За розміщенням програмне забезпечення включає:

- програмне забезпечення програмованого контролера;
- програмне забезпечення панелі оператора;
- програмне забезпечення SCADA-сервера;
- програмне забезпечення SCADA-клієнта (АРМ диспетчерської).

За типом програмне забезпечення АСУ ТП:

- базове програмне забезпечення;
- призначене для користувача програмне забезпечення.

Базове програмне забезпечення є універсальним, тобто не залежить від характеру технологічного процесу і функціональних задач системи управління.

Базове програмне забезпечення складається з стандартного програмного забезпечення і фірмового програмного забезпечення.

До стандартного програмного забезпечення відносяться програмні засоби загального призначення, які не залежать від складу використовуваних технічних засобів: операційна система операторських станцій, в середовищі якої виконується пакет автоматизації верхнього рівня і призначені для користувача пакети для обробки баз даних – використовується як вже існуюче програмне забезпечення на SCADA-сервері, так і знову встановлюється на АРМ технолога;

- пакет автоматизації, виконує функції збору інформації, контролю, забезпечення інтерфейсу з оператором і ін.;

- програмне забезпечення, що забезпечує розробку та завантаження прикладних програм в панель оператора;

- програмне забезпечення, яке встановлюється на АРМ технолога та



інженера АСУТП;

програмне забезпечення, що використовується для розробки користувальницького програмного забезпечення верхнього рівня і, в подальшому, експлуатації системи управління.

Фірмове програмне забезпечення розробляється спеціально для технічних обчислювальних засобів АСУ ТП і поставляється разом з технічними засобами.

До складу фірмового програмного забезпечення контролера (або ПК, що виконує його функції) та інших комп'ютерів АСУТП, входять: операційна система контролера; програмне забезпечення, що забезпечує розробку, завантаження і роботу прикладних програм контролера; операційні системи комп'ютерів.

Користувача програмне забезпечення вирішує конкретні задачі АСУ ТП відповідно до функціональних задач об'єкта автоматизації.

Користувача програмне забезпечення, що розробляється конкретно для АСУ ТП, включає в себе програми, необхідні для реалізації всіх функцій, в тому числі і для виконання технологічних алгоритмів:

отримання аналогової і дискретної інформації про технологічний процес;

обробка інформації;

виконання технологічних алгоритмів;

реалізація інформаційної зв'язку контролер – сервер;

реалізація інформаційної зв'язку контролер – панель оператора;

реалізація інформаційної зв'язку сервер – АРМ диспетчерської;

надання інформації на екрані АРМ диспетчерської в формі, зручній для оператора;

формування і висновки на екран АРМ диспетчерської графіків технологічних параметрів об'єкта.

Виконання перерахованих вище функцій здійснюється призначеним для користувача програмним забезпеченням програмованого контролера і ін. Комп'ютерів, що входять в КТЗ АСУТП.

## **16.5 Основні підсистеми СПЗ АСУТП**

Спеціальне програмне забезпечення АСУТП включає велику кількість задач (програм), що функціонують під управлінням операційних систем на комп'ютерних пристроях системи. Для розуміння роботи ПЗ АСУТП їх представляють на різних схемах, зокрема, на «Схемі взаємозв'язку функціональних задач АСУТП». На схемі задачі показуються у вигляді прямокутників, всередині яких пишеться назва задачі і його розшифровка. Зазвичай на такій схемі пов'язані за змістом задачі розташовуються поруч і об'єднуються пунктирними лініями в підсистеми (інформаційна, запуску-перезапуску, керуюча, розрахунку та видачі ТЕП агрегату і АСУТП, архівування, ведення поточної БД,



наукова, зв'язку з іншими АСУТП та ін.).

За допомогою сполучних ліній показуються інформаційні зв'язки задач з поточної або архівної базами даних, а також – при необхідності – порядок запуску задач (програм). Допускається, зокрема, для зображення підсистеми нижнього рівня, функціонуючої на контролерах, показувати не назва задач, а функції керуючої програми (прийом сигналів, масштабування передавання параметрів по мережі, регулювання, блокування та ін.).

**Підсистема нижнього рівня.** Програмне забезпечення контролерів (або ПК, що реалізують їх функції), зазвичай ізольовано від іншого ПЗ. Це ПЗ може поставлятися як разом з контролером, так і окремо від нього і працювати під управлінням ОС (Windows, Linux, QNX і т. д.).

На рівні контролера зазвичай вирішуються задачі:

отримання сигналів від датчиків, їх фільтрація, масштабування, згладжування.

задача локального регулювання.

задача блокування і захисту (відсічення).

зв'язок з іншими обчислювальними пристроями системи.

Питання включення в ПЗ контролерів інших функцій є спірним. З одного боку, сучасні контролери мають достатню обчислювальну потужність; з іншого боку, завантажений контролер може не встигати справлятися із задачами контролю і регулювання. в разі непрацездатності контролера (з різних причин) можуть виникати проблеми. Задачі, реалізовані в контролері, об'єднуються в підсистему нижнього рівня.

Окрім вищезгаданої підсистеми, зазвичай до складу ПО АСУТП входять:

інформаційна підсистема;

підсистема управління БД;

керуюча підсистема;

підсистема оцінки стану обладнання об'єкта і технічних засобів АСУТП;

підсистема розрахунку і видачі техніко-економічних показників;

наукова підсистема;

підсистема запуску-перезапуску і ін.

Зазвичай кожна підсистема включає в себе кілька задач (процесів, ниток).

**Інформаційна підсистема.** Основні задачі:

отримання інформації від контролерів (від нижнього рівня), передавання інформації в контролер;

обслуговування робочого місця оператора-технолога і оператора АСУТП з виведенням різних відеограм (див. гл. 7);

обмін інформацією з суміжними АСУТП;



реалізація інформаційних моделей;  
ведення поточної БД і періодичне поповнення архіву БД (для потужної системи створюється окрема підсистема);  
обслуговування мнемосхем, якщо вони є та ін.

**Підсистема управління БД** буде розглянута в наступній лекції.

**Керуюча підсистема.** Основні задачі даної підсистеми наступні:  
розрахунок керуючих впливів (завдань регулятора), нових значень параметрів об'єкта;

логічне управління механізмами;  
реалізація керуючих моделей, якщо вони є;  
визначення раціонального режиму ведення ТП і ін.

Під режимом розуміють комплекс значень параметрів, відповідних поточному стану об'єкта.

**Підсистема оцінки стану обладнання та АСУТП.** Призначена для безперервного спостереження за обладнанням об'єкта з метою виявлення відмов обладнання або реальної можливості відмови.

В першу чергу це стеження за рухомими частинами, станом мастила, параметрами електричних машин (двигунів, генераторів, трансформаторів і ін.), Температурою підшипників і т. д.

Під час роботи системи також необхідно стежити за станом всього КТЗ АСУТП. У цю підсистему входять різні тестові задачі та перевірка працездатності датчиків.

**Підсистема розрахунку і видачі ТЕР агрегату і самої АСУТП.** Призначена для безперервного спостереження за роботою агрегату (витрати матеріалів, енергоресурсів, допоміжних ресурсів протягом зміни з подальшим виведенням на екран протоколу ТЕР агрегату, в якому оцінюються основні параметри його роботи).

Наприклад, для ТЕР нагрівальної печі прокатного стану зазвичай виводяться:

кількість посадженого (нагрітого) металу за марками сталі і по товщині;

питома витрата палива;  
витрата палива по годинах;  
зупинка агрегатів із зазначенням причини, якщо вона відома;  
аварійні стани під час зміни з фіксацією часу аварії;  
порушення технології в перебігу зміни.

При розрахунку ТЕР необхідно враховувати специфіку роботи системи, щоб знизити ймовірність обману з боку технологічного персоналу.

Розрахунок і видача протоколу ТЕР АСУТП призначені для оцінки роботи АСУТП, зокрема протокол містить проміжок часу, протягом яких система була замкнута, кількість перезапусків і їх причини, час виникнення і причини збоїв обладнання і т. д.

**Наукова підсистема.** Зазвичай містить задачі, пов'язані з



настройками моделей, що діють в системі, а також з додатковими розрахунками або обробкою технологічних параметрів, результати яких згодом будуть використовуватися в підсистемах.

**Підсистема запуску-перезапуску.** Синхронізація в пам'яті ЕОМ обчислювального і технологічного процесів при початковому запуску займає особливе місце в роботі системи. По-перше, це пов'язано з тим, що включення системи управління може відбуватися в випадкові моменти часу і управління технологічним процесом не може бути відразу реалізовано системою управління в силу відсутності необхідної інформації на момент підключення. Особливо це важливо для систем безперервно-дискретного типу (управління прокатними станами і т. п.). По-друге, процедура початкового пуску повинна забезпечувати виконання робіт, які або взагалі не виконуються при нормальній роботі системи, або виконуються в іншому обсязі.

Традиційно для початкового запуску програмного забезпечення АСУТП використовуються спеціальні задачі (процеси).

Початковий пуск повинен забезпечувати:

1. Оцінку технічного стану технічних засобів АСУТП (контролерів, комп'ютерів, пристроїв зв'язку з об'єктом, датчиків, мережевого обладнання та ін.). Первісне тестування обладнання і датчиків необхідно для впевненості в адекватності відображення стану керованого об'єкта в архівах ЕОМ і виявлення несправностей функціонування АСУТП в різних режимах.

2. Оцінку технічного стану агрегату.

3. Початкове введення інформації в систему у відповідності із заданим режимом роботи системи.

4. Підключення системи до об'єкта в заданий момент часу.

5. Перевірку працездатності технічних засобів системи.

6. Перевірку можливості повного або часткового управління агрегатом в поточний момент часу.

Основні можливі компоненти вхідної інформації, значення яких зазвичай вводиться в систему (наприклад, з файлів або клавіатури) перед початком функціонування системи, такі:

початкові значення параметрів, значення констант, показників, табличних функцій, які використовуються в розрахунках;

константи режиму для кожного режиму роботи системи;

системні дані, що визначають зовнішні умови функціонування системи управління в даний момент часу.

Пристрої введення-виведення перевіряються за допомогою видачі стандартних повідомлень (друк або індикація). Слідом за цим перевіряють пристрої індикації, у т.ч. мнемосхеми, якщо такі є.

Потім здійснюється опитування всіх датчиків і порівняння отриманих результатів з граничними умовами. У процесі цих опитувань також відбувається перевірка пристроїв зв'язку з об'єктом ПЗО.



Повідомлення про помилки відображаються або друкуються на пульті оператора АСУТП.

Після цієї перевірки відбувається запит на введення вхідної інформації, і, якщо це можливо – підключення до об'єкту. Певну складність представляє підключення до об'єкту, в якому управління технологічним процесом здійснюється за ініціативним сигналам з об'єкта (управління рухомими об'єктами, безперервно дискретне управління).

Протягом роботи системи можливі різні збої, пов'язані з відмовами обладнання або помилками в роботі програмного забезпечення. Можливі причини збоїв такі: припинення подачі електроживлення, помилки в програмному забезпеченні (як в ОС, так і в СПЗ), неправильна експлуатація системи, збої устаткування АСУТП з виходом з ладу окремих модулів системи. Після збою і, якщо необхідно, ремонту та заміни обладнання, а також після планових ремонтів об'єкту управління систему необхідно або перезапустити, використовуючи поточну БД, яка скопійована до збою, або перезавантажити АСУТП, якщо простій АСУТП за часом не дозволяє продовжити роботу системи.

Оскільки початковий запуск вимагає досить великого часу (це пов'язано з тим, що зазвичай необхідне уведення інформації здійснюється в діалоговому режимі), необхідно передбачити процедуру синхронізації обчислювального і технологічного процесів за скороченою програмою. Така процедура носить назву короткого запуску, або перезапуску. При перезапуску системи немає необхідності вводити заново інформацію про константи і табличних функціях, так як ця інформація знаходиться у зовнішній пам'яті машини. Основні роботи при короткому перезапуску обумовлені порушенням системних даних під час зупинки обчислювальних пристроїв. Таким чином, процедура перезапуску включає в себе відновлення системної інформації, підключення системи до об'єкта в заданий момент часу.

При порушенні цілісності інформації, що зберігається в зовнішній пам'яті ЕОМ, для відновлення системи використовують режим початкового пуску.

Підсистема запуску-перезапуску повинна мати в своїй системі задачі, призначені для синхронізації роботи системи і об'єкта, а також забезпечити запуск розрахункових задач і моделей таким чином, щоб вони врахували час простою системи на базі деяких спеціально встановлених (середніх) значень технологічних параметрів.

Запуск і перезапуск системи зазвичай займає деякий час, від декількох секунд до декількох хвилин, в залежності від складності АСУТП і технологічного процесу, що протікає в ТОУ.



## Контрольні питання

1. Які особливості характерні для агрегатів чорної металургії як об'єктів автоматизації?
2. Перелічіть класи основних (типових) задач АСУТП.
3. Перелічіть і охарактеризуйте фактори, що визначають якість спеціального програмного забезпечення АСУТП.
4. Основні вимоги до програмного забезпечення АСУТП. Види програмного забезпечення.
5. Основні підсистеми АСУТП, їх призначення.
6. Функції інформаційної системи.
7. Функції керуючої системи.
8. Для чого призначена підсистема запуску-перезапуску?
9. Коли можна виконати перезапуск ПО АСУТП замість запуску? Функції підсистем ТЕП і ведення БД.



## ЛЕКЦІЯ 17. ПРИНЦИПИ ПРОЄКТУВАННЯ КОРИСТУВАЛЬНИЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ

### План

- 17.1 Основні вимоги
- 17.2 Дизайн операторського інтерфейсу
- 17.3 Види відеокадрів АСУТП

#### 17.1 Основні вимоги

Дослідженнями і практичною реалізацією призначеного для користувача інтерфейсу займаються багато фірм. В даний час відомі такі діючі стандарти і угоди, як Міжнародного комітету з телеграфії і телефонії (ІТТСС), Американського Національного інституту стандартів (ANSI), фірми IBM (SAA, System Application Architecture), фірми Microsoft (Visual Studio) і ін.

У чорній металургії практично всі фірми – розробники АСУТП використовують свої підходи по створенню АРМ оператора-технолога (Siemens, Mitsubishi, Honeywell, ABB, Festo Automation і ін.). В результаті призначені для користувача інтерфейси досить різноманітні. На жаль, проспекти фірм дають мало можливостей побачити переваги і недоліки конкретної реалізації.

При проєктуванні АРМ оператора-технологій не слід забувати про його основне призначення: підвищити якість управління технологічним процесом.

Створення операторського інтерфейсу вимагає від проєктувальника знань не тільки про технологічний процес, системах управління, а й володіння дизайнерським мистецтвом.

Загальні правила проєктування призначеного для користувача інтерфейсу наступні:

1. Інтерфейс повинен бути завжди дружнім і інформативним. Категорично не рекомендується видача повідомлень принизливого характеру, лайки та ін. (Приклад: УВМ «Дніпро», СРСР, 1975 р.: «Хі-хі», «Ха-ха», «Дурень, хто ділить на 0» та ін.).

2. Не ускладнювати інтерфейс: чим простіше, тим ефективніше вплив.

Принцип Оккама, або KISS. Філософський принцип, що носить назву «Бритва Оккама», говорить: «Не множити сутності без потреби». Або, як кажуть американці, KISS («Keep It Simple, Stupid» - «Не ускладнюй, бовдур»). Мовою інтерфейсів це означає, що:

будь-яке завдання має вирішуватися мінімальним числом дій;

логіка цих дій повинна бути очевидною для користувача;

рухи курсора і навіть очей користувача повинні бути оптимізовані.

Простим на перший погляд вимогам з цього списку насправді не так



вже й легко слідувати. Для проектування складного за своїми функціями і простого для розуміння інтерфейсу потрібно чималі досвід, знання і особливе чуття.

3. Не перевантажувати користувача інформацією, надлишок також небажаний, як і недолік.

4. Максимум комфортності для оператора: враховувати психофізіологічні особливості сприйняття людиною відеоінформації.

**Принцип Міллера**, що названий так на честь вченого-психолога Г. А. Міллера, який досліджував короткочасну пам'ять, перевіряючи висновки, зроблені раніше його колегою, психологом Г. Еббінгаузом. Еббінгауз намагався з'ясувати, скільки інформації може запам'ятати людина без будь-яких спеціальних мнемонічних прийомів. Виявилось, що ємність пам'яті обмежена сім'ю цифрами, сім'ю літерами або назвами семи предметів. Це «магічне число» сім, що служить свого роду міркою пам'яті, і було перевірено Міллером, який показав, що пам'ять дійсно в середньому не може зберігати більше семи елементів; в залежності від складності елементів це число може коливатися в межах від п'яти до дев'яти.

Застосовуючи принцип Міллера в дизайні інтерфейсів, слід групувати елементи в програмі (кнопки на панелях інструментів, пункти меню, закладки, опції на цих закладках і т. п.) з урахуванням цього правила, тобто не більше семи в групі, в крайньому випадку – дев'яти, оптимально – п'ять – шість.

**Принцип угруповання.** Згідно з цим правилом, екран програми повинен бути розбитий на ясно окреслені блоки елементів, може бути, навіть з заголовком для кожного блоку. При цьому угруповання, природно, повинно бути осмисленим: як розташування елементів в групах, так і розташування самих груп один від одного повинні бути продумані.

**Принцип золотого перетину.** Золотий перетин – це найкомфортніша для ока пропорція, форма, в основі побудови якої лежить поєднання симетрії і золотого перетину, сприяє найкращому зоровому сприйняттю і появі відчуття краси і гармонії. Золотий перетин - це таке пропорційне ділення відрізка на нерівні частини, при якому менший відрізок так відноситься до більшого, як більший до всього ( $a : b = b : a + b$  або  $a : b = b : a$ ). Відрізки золотий пропорції виражаються нескінченної ірраціональної дробом  $0,618 \dots$ , якщо з прийняти за одиницю,  $a = 0,382$ . Ситуація щодо ставлення відрізків  $a$  і  $b$  складає  $1,618$ . Прямокутник з таким відношенням сторін стали називати золотим прямокутником.

Форми діалогових вікон і елементів управління, сторони яких відносяться як  $1,618$ , дуже привабливі для користувачів.

Видимість відображає корисність. Сенс цього принципу полягає в тому, щоб винести найважливішу інформацію і елементи управління на



перший план і зробити їх доступними користувачеві, а менш важливу – прибрати з екрану з можливістю викликати кнопкою або діалогом. Цей принцип полягає в тому, що інтерфейс програми повинен бути побудований навколо об'єктів, з якими маніпулює користувач, і відображати стан поточного об'єкта.

**Розумне запозичення.** Запозичення широко поширених прийомів дизайну інтерфейсів і вдалих знахідок авторів конкуруючих програм дозволяє різко скоротити час навчання і підвищити комфорт користувача. При роботі він буде використовувати вже набуті навички – це питання зачіпає і принцип рівності між системою і реальним світом. Запозичення чужих інтерфейсних знахідок не є чимось непристойним. Прикладом може служити інтерфейси програм FAR, Total Commander, Volcov Commander, DOS Navigator, DISC Commander, разюче нагадують інтерфейс легендарного Norton Commander.

5. Графічні відеокадри переважно проєктувати когнітивними, тобто сприяють виявленню закономірностей і тенденцій в роботі агрегату (лат. Cognito – пізнання, усвідомлення).

## 17.2 Дизайн операторського інтерфейсу

Зазвичай розробку АРМ виконують технологи та інженери з автоматизації. Перші орієнтуються на технологічні схеми, другі користуються рішеннями, прийнятими на фірмі або в інструментальних системах проєктування. Для створення якісного операторського інтерфейсу доцільно користуватися наступними практичними рекомендаціями професійних дизайнерів.

Щільність заповнення екрану:

залишати порожньою приблизно половину екрану;

залишати в таблиці порожній рядок після п'ятого рядка і 4 – 5 прогалів між стовпцями.

Привернення уваги:

розміщувати елементи, що реалізують основну ідею кроку роботи, в частині екрану, яка візуально відрізняється, або в верхньому лівому кутку екрану, так як око сканує з цієї частини екрану;

слід візуально об'єднувати логічно взаємопов'язані елементи; наприклад, рамкою, кольором;

текстові повідомлення групувати справа, зображення – зліва, це пояснюється особливостями сприйняття відповідної інформації лівою і правою півкулями мозку.

Шрифт: використовувати обмежену кількість шрифтів і стилів.

Колір – враховувати вплив кольору на працездатність оператора:

блакитний і зелений заспокоюють, жовтий вселяє оптимізм, коричневий пригнічує, червоний і фіолетовий викликають тривогу, чорний сприяє виникненню головного болю, але знижує кількість



помилки;

враховувати, що об'єкти одного кольору сприймаються як взаємопов'язані;

віддавати перевагу пастельним тонам;

обмежувати кількість застосовуваних квітів.

Аналіз показує, що з часом дизайн операторського інтерфейсу змінюється. Основні причини змін: розвиток пристроїв відображення інформації, останні досягнення в області психології і дизайну, поява нових технічних засобів і збільшення функціональних можливостей АСУТП.

У системах 70-х років зображення виконувалося на чорному тлі яскравими білими або кольоровими лініями. При роботі оператори зменшували різкість зображення, багато хто скаржився на сильне стомлення і головні болі до кінця робочого дня.

В даний час домінують пастельні тони. Заповнення екрану в перших АСУТП було нещільним, кількість відеограм занадто великим, що ускладнювало пошук інформації.

Зниження числа відеограм за рахунок підвищення щільності заповнення екрану призводить до занадто дрібному зображенню об'єктів (цифрових полів, командних кнопок). Це збільшує навантаження на очі операторів і ускладнює позиціонування маркерів при введенні даних.

### **17.3 Види відеокадрів АСУТП**

Вся інформація про ТП відображається оператору-технологу на екрані моніторів у вигляді відеокадрів (зустрічаються синоніми: відеограми, відеоформи) з різною інформацією, зазвичай в графічному вигляді. Деякі АСУТП можуть охоплювати велику ділянку, начинений різними агрегатами (приклад: багатоклітинний прокатний стан з рольгангами і допоміжним обладнанням), агрегат (наприклад, АСУТП агрегатом гарячого безперервного цинкування) і т. д. Тому кількість відеокадрів може досягати до 1000 і більше. В середньому на кожен систему в металургії до 15 – 20 основних (часто використовуваних) і до 150 інших.

Інформація в відеокадрах може дублюватися в залежності від призначення Відеокадри. Працювати з таким обсягом інформації досить складно під час розробки та експлуатації.

На етапі проектування інтерфейсу в основному використовуються SCADA-програми відомих виробників або самостійної розробки.

Незважаючи на велику кількість відеокадрів в системах, можна умовно виділити наступні типи:

*Графічні відеокадри ТП.* На них показуються поточні значення параметрів режиму роботи і стан обладнання, зазвичай на тлі спрощеного зображення об'єкта. Такі відеокадри будуються за



ієрархічним принципом: від огляду всього виробництва, ділянки до стадії, вузлу, групи обладнання, окремого виду обладнання. Ступінь деталізації залежить від складності ТП і кількості обладнання. Даний тип відеокadrів, як правило, є строго інформаційним, тобто що не представляють обмін інформацією з оператором.

*Відеокадри стану локальної системи регулювання.* На цих відеокадрах відображаються параметри систем регулювання в класичному або графічному режимі роботи монітора. Оператору технологу надається можливість для будь-яких САР змінювати режим роботи (автомат / ручне), задане значення для систем стабілізації, положення РВ. Крім того, в спеціальному режимі допуску до таких відеокадрах можна змінювати структуру і настройки регулятора. Такі відеокадри в принципі є альтернативою використання ряду технічних засобів: задатчиків, БРУ, і інших. До цих відеокадрах зазвичай прив'язуються сигналізація і блокування (мінімальне, максимальне, середнє, значення відсічення).

*Відеокадри контролю і управління роботою обладнання.* На цих відеокадрах виводиться інформація про параметри роботи обладнання і системи управління роботою обладнання, якщо вони є, в класичному або графічному вигляді. Оператор має можливість за допомогою таких відеокadrів змінити режим роботи обладнання (вимкнути, включити, спеціальний режим роботи). Ці відеокадри зазвичай супроводжуються інформацією про обладнання (опір ізоляції, стан заземлення, опір ізоляції, струми і напруги електричних машин, температура підшипників, витрата мастила, струми витоків і ін.).

*Відеокадри технологічної сигналізації.* Ці Відеокадри відображають повідомлення про технологічні події: пуск, зупинка, вихід параметрів за кордон, зміна режиму роботи САР, включення або виключення видачі керуючих впливів від верхнього рівня і інше.

*Відеокадри аварійної сигналізації.* Видаються повідомлення, що характеризують поточну ситуацію на об'єкті, і, якщо вона аварійна, інформацію про аварію. Ця форма може також містити історію аварійних повідомлень в хронологічному порядку.

*Відеокадри типу тренд.* На такому відеокадрі може відобразитися зміни технологічного параметра за певний проміжок часу, наприклад, від поточного часу на  $n$  хвилин (годин, змін, доби) назад або за інший період за вибором. Графіки трендів рекомендується забезпечувати якісними коментарями, а позаштатні ситуації виділяти кольором.

*Відеокадри контролю якості продукції.* На такий відеокадри зазвичай видається інформація про параметри вихідної сировини і параметрах готової продукції.

Набір відеокadrів також може включати специфічні для даного технологічного процесу малюнки, дані, графіки: техніко-економічні показники, показники праці устаткування, облік ремонту обладнання та ін.



## Контрольні питання

1. Принципи проектування користувальницького інтерфейса.
2. Принципи Окками і Міллера.
3. Принцип золотого перетину.
4. Які існують вимоги до щільності заповнення екрану?
5. Яким чином привертають увагу оператора до екрану?
6. Які кольори переважно використовувати при оформленні екрану?
7. Яким чином інформація про об'єкт виводиться технологам і черговому персоналу АСУТП?
8. Які ви знаєте види відеокадрів? Для яких цілей вони призначені?



## ЛЕКЦІЯ 18. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАДІЙНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

### План

- 18.1 Загальні відомості про надійність автоматизованих систем
- 18.2 Кількісні значення надійності
- 18.3 Відновлюваність систем автоматизації
- 18.4 Готовність систем

### **18.1 Загальні відомості про надійність автоматизованих систем**

Для оцінки поведінки автоматичної системи в експлуатаційних умовах використовується поняття надійності системи. При експлуатації автоматична система може піддаватися впливу: механічних навантажень (вібрацій, ударів, постійного прискорення); електричних навантажень (напруги, електричного струму, потужності); оточуючих умов (температура, вологість, тиск).

Вплив зазначених факторів проявляється у вигляді відхилень параметрів системи від номінальних (розрахункових) значень. Ці відхилення можуть бути настільки значними, що система стає непридатною до використання, так як виникнення великих відхилень параметрів від розрахункових значень при експлуатації системи призводить до аварії або до появи браку в продукції, що випускається.

Коли система перестає задовольняти пропонованим до неї вимогам, систему вважають відмовила. Отже, надійність є однією з характеристик якості системи, тому вона, як і інші характеристики системи (точність, швидкодію), повинна оцінюватися кількісно на основі аналізу технічних параметрів системи в експлуатаційних умовах.

Так як на окремі технічні параметри системи впливають різні фактори (схемні, конструктивні, виробничі і експлуатаційні) і врахувати їх аналітично при детермінованому підході до аналізу системи неможливо, то кількісна оцінка надійності системи можлива тільки на основі теорії ймовірностей або її спеціальних розділів (теорії випадкових процесів і математичної статистики).

**Надійність** – властивість системи зберігати в часі і в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність системи виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації.

Функції системи визначаються цільовим її призначенням. Автоматизована система управління – це багатофункціональна система. Внаслідок впливу збурюючих впливів система може перебувати в різних станах, що забезпечують виконання заданих їй функцій. Однак, в кожному такому стані якість виконання системою функцій не буде однаковим. Наприклад, чим більше відхилення



вихідних параметрів, що характеризують виконувану функцію від заданих, тим менш якісно працює система, тобто система менш ефективна. Під ефективністю системи розуміють ймовірність виконання системою заданих функцій при певному значенні параметра.

Таким чином, надійність автоматичної системи з урахуванням можливих її станів повинна визначатися за формулою повної ймовірності.

У деяких роботах оцінка якості автоматичної системи розділяється на два завдання: оцінка точності і надійності. Ту чи іншу задачу можна вирішити відповідним вибором функції ефективності стану системи.

Надійність, по суті, є характеристикою ефективності системи. Якщо для оцінки якості автоматичної системи досить характеризувати її надійністю виконання системою функцій в різних станах, то надійність збігається з ефективністю системи.

## 18.2 Кількісні значення надійності

Узагальнене кількісне значення надійності системи в більшості випадків важко безпосередньо отримати з первинної інформації, крім того, вона не дозволяє оцінити вплив різних етапів розробки та експлуатації системи, тому надійність доцільно розглядати за трьома основними складовими, які є властивостями системи і можуть характеризуватися як якісно, так і кількісно:

- безвідмовність;
- ремонтпридатність;
- готовність.

**Безвідмовність** – властивість системи зберігати працездатність протягом необхідного інтервалу часу безперервно без вимушених перерв.

Безвідмовність системи є однією з головних і визначальних складових частин надійності автоматичної системи.

Для фіксованого інтервалу часу безвідмовної роботи і заданих умов експлуатації автоматична система може перебувати в одному з двох станів: *працездатному* (стан, при якому значення параметрів, що характеризують здатність системи виконувати задані функції, знаходяться в межах, встановлених нормативно-технічною документацією) і *непрацездатному* (стан системи, при якому значення хоча б одного параметра не перебуває у зазначених межах).

Як відомо, автоматична система являє собою комплекс окремих приладів, не пов'язаних між собою на заводі-виробнику складальними і монтажними операціями, але мають загальне експлуатаційне призначення. Систему в цілому можна уявити поруч простіших підсистем.

Безвідмовність автоматичної системи може служити лише



загальною характеристикою системи, яка не дозволяє простежити вплив безвідмовності окремих її частин на безвідмовність автоматичної системи в цілому.

При отриманні розрахункових формул можна користуватися як характеристикою безвідмовності, так і її протилежної величиною – ймовірністю відмови. Залежно від конкретного завдання та чи інша характеристика є більш зручною. Іноді при отриманні розрахункових формул, а також при оцінці ступеня поліпшення системи, приладів або елементів найбільш зручною характеристикою є величина, протилежна безвідмовності – ймовірність відмови.

Поряд з методами оцінки безвідмовності автоматичних систем по вихідним параметрам системи, можна також застосовувати методи оцінки безвідмовності системи по її вхідним впливам, якими в окремому випадку є обурення або навантаження, що характеризують умови експлуатації.

### **18.3 Відновлюваність систем автоматизації**

**Відновлюваність** – властивість системи, що полягає в її пристосованості до попередження, виявлення та усунення причин виникнення відмов, а також підтримці і відновленню працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів.

Відновленням називається подія, що полягає в переході системи з непрацездатного стану в працездатний, внаслідок не тільки коригування, настройки, ремонту, але і внаслідок заміни відмовленого обладнання або елемента на працездатний. Відповідно, до невідновлюваних відносять системи, відновлення яких безпосередньо після відмови вважається недоцільним або неможливим, а до відновлюваних – системи в яких проводиться відновлення безпосередньо після відмови.

Одна і та ж система в різних умовах застосування може бути віднесена до невідновлюваних (наприклад, якщо вона розташована в приміщенні, куди заборонений доступ персоналу під час роботи технологічного агрегату) і до відновлюваних, якщо персонал відразу ж після відмови може почати відновлення.

Відновлюваність автоматичної системи є характеристикою її якості, тому відновлюваність можна визначити як властивість системи, що дозволяє обслуговуючому персоналу певної кваліфікації відновити систему при заданих оточуючих умовах.

Під кількісним значенням відновлюваності системи розуміється ймовірність того, що параметри її будуть відновлені до необхідних значень за даний інтервал часу обслуговуючим персоналом певної кваліфікації при заданих оточуючих умовах.

Низька відновлюваність автоматичних систем навіть при порівняно



прийнятних характеристиках безвідмовності призводить до значних витрат на експлуатацію систем.

Відновлюваність систем в значній мірі впливає на готовність системи до виконання заданих їй функцій, що має важливе значення при підготовці системи до початку робочого циклу або зміни, в системах автоматичного блокування та ін.

Відновлення системи може бути двох типів:

профілактичне;

коригуюче.

*Профілактичне*, або планове відновлення, попереджає відмови або неправильне функціонування системи налаштуванням, регулюванням, а також чищенням, мастилом системи і т. п. Профілактичне відновлення з метою попередження відмов системи при роботі включає також заміну вузлів або деталей системи, які мають критичні значення параметрів.

*Коригуюче*, або непланове, відновлення потрібно при відмовах системи. При цьому регулюють параметри системи або замінюють деталі внаслідок їх відмови, або в результаті неприпустимого зміни параметрів системи в робочий період.

Відновлюваність системи визначається двома групами основних факторів.

*Першу групу* складають фактори, які стосуються схемою і конструкції системи (складність системи, взаємозамінність окремих вузлів і блоків, конструктивне оформлення системи для зручності обслуговування, доступність до окремих елементів і деякі інші). Аналіз кожного з цих факторів представляє складну задачу.

*Другу групу* складають експлуатаційні фактори (досвід, підготовка і майстерність обслуговуючого персоналу, а також ступінь досконалості керівництва обслуговуючим персоналом, методика перевірочних випробувань системи, досконалість постачання запасними частинами та ін.).

Більшість факторів, що визначають відновлюваність системи, важко оцінити кількісно і тим більше визначити експериментально, тому систему треба проектувати таким чином, щоб виключити вплив чинників, що не піддаються кількісній оцінці.

*Відновлюваність* можна істотно збільшити, застосовуючи сучасні методи виявлення і усунення несправностей в системі. Ці методи розвиваються в трьох напрямках:

створення вбудованих в систему діагностуючих пристроїв або застосування спеціальних автоматичних тестерів;

розробка методів і обладнання для граничних випробувань дозволяють профілактично замінювати елементи, параметри яких в значній мірі змінилися внаслідок зносу або старіння;

перерозподіл функції, які виконуються елементами у разі відмов, і



самоконфігурація параметрів системи. При цьому структура системи вибирається таким чином, щоб елементи, які взяли на себе функції відмовлених елементів в умовах підвищених на них навантажень, були б в змозі забезпечити ефективну працездатність системи до закінчення виконання поставлених перед системою завдань. Відмовлені елементи можна відновити в період проведення профілактичних заходів.

*Кваліфікація і підготовка обслуговуючого персоналу надає в більшості випадків вирішальний вплив на відновлюваність системи.* Недосвідченість обслуговуючого персоналу приводить не тільки до збільшення часу відновлення системи, а й до появи нових відмов.

## 18.4 Готовність систем

**Готовність** – властивість системи виконувати покладені на неї функції в будь-який довільно обраний момент часу в сталому процесі експлуатації. Готовність визначається як безвідмовністю, так і відновлюваністю системи.

Готовність системи визначається її безвідмовністю і відновлюваністю, які в свою чергу, як було показано вище, є ймовірнісними характеристиками системи. Таким чином, готовність системи також є ймовірнісною характеристикою.

Під **готовністю** будемо розуміти ймовірність того, що система в даний момент часу готова для виконання призначених їй функцій, тобто система повинна бути готова до виконання призначених їй функцій до початку робочого інтервалу часу. Для ряду автоматичних систем зв'язку, захисту, блокування зазвичай потрібна постійна готовність.

### Контрольні питання

1. Дайте визначення надійності системи.
2. Надійність і ефективність систем.
3. Що таке безвідмовність?
4. Два можливих стану системи в період експлуатації.
5. Що таке відновлення системи? В яких випадках воно відбувається?
6. Профілактичне і планове відновлення систем.



## ЛЕКЦІЯ 19. ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### План

- 19.1 Загальні зауваження
- 19.2 Показники надійності
- 19.3 Показники надійності відновлюваних систем

#### 19.1 Загальні зауваження

Аналіз надійності автоматичних систем і її складових може бути розділений на два задачі: статичну і динамічну. Надійність системи (при заданій схемі і конструкції) в основному залежить від двох параметрів:

1. Необхідного часу безвідмовної роботи.
2. Умов експлуатації системи.

Коли ці параметри фіксуються, то розглядається статична задача, яка базується на основних положеннях теорії ймовірностей.

При статичному підході надійність характеризується числом подібно до того, як динамічні ланки автоматичної системи в сталому режимі характеризуються коефіцієнтом передачі. Зазначена аналогія дозволить користуватися при аналізі надійності системи її структурними уявленнями, що поряд з наочністю спрощує також складання рівнянь надійності і їх аналіз.

Коли необхідне значення інтервалу часу безвідмовної роботи або умови експлуатації системи не фіксуються при аналізі надійності, виникає динамічна задача. Основним математичним апаратом при рішенні динамічної задачі разом з класичною теорією вірогідності являється теорія випадкових процесів.

Основні залежності і рівняння динамічної задачі стають складнішими, ніж в статичній задачі, тому вирішувати її зручно за допомогою перетворень Лапласа, Мелліна,  $z$ -перетворення.

Застосування для вирішення динамічних задач теорії надійності вказаних перетворень дозволяє, так само як і в статичній задачі, користуватися структурними методами. Зазвичай з рішенням динамічної задачі зв'язується надійність відновлюваних систем.

Динамічна задача дає можливість також розробити критерії надійності систем або її окремих складових. З огляду на, що надійність системи є ймовірнісною характеристикою, для розробки критеріїв можна використовувати функції розподілу ймовірностей в залежності від розглянутого динамічного параметра або моменти функцій розподілу ймовірностей.

Функції розподілу ймовірностей представляють найбільш повну інформацію про надійність системи. При цьому в залежності від цілей дослідження, особливостей даної системи можуть застосовуватися інтегральні, диференціальні або умовні функції розподілу ймовірностей.



## 19.2 Показники надійності

Показниками надійності називаються кількісні характеристики одного або декількох властивостей, складових надійності системи. Вибір тих чи інших показників продиктований видом досліджуваної системи. У теорії надійності розрізняють відновлювані та невідновлювані системи. До невідновлюваних відносять системи, відновлення яких безпосередньо після відмови вважається недоцільним або неможливим, а до відновлюваних – в яких проводиться відновлення безпосередньо після відмови.

Для невідновлювальних систем, як правило, обмежуються показниками безвідмовності. Ці ж показники описують системи, які, в принципі, підлягають відновленню після відмов, але поведінка яких доцільно розглядати до моменту першої відмови. До їх числа, наприклад, можна віднести системи, чиї відмови надзвичайно рідкісні і викликають особливо важкі наслідки.

До показників надійності невідновлювальних систем відносяться:

- інтегральний закон розподілу часу безвідмовної роботи;
- інтегральний закон розподілу часу до відмови;
- диференціальний закон розподілу часу справної роботи пристрою до першої відмови;
- середній час безвідмовної роботи (середнє напрацювання до відмови);
- інтенсивність відмов.

Перш ніж перейти до показників надійності, необхідно ввести поняття напрацювання до відмови.

Напрацювання до відмови ( $T$ ) – випадкова величина, що є тривалість роботи невідновлювальної системи до настання відмови. Для більшої частини систем напрацювання до відмови вимірюється одиницями часу, але вона може вимірюватися і числом включень, спрацьовувань, циклів. Очевидно, що для систем, що працюють без відключень (крім відмов), напрацювання до відмови збігається з часом безвідмовної роботи.

Основним показником для кількісної оцінки безвідмовності елемента, апаратури, приладів та АСУ є *ймовірність безвідмовної роботи*  $P(t)$  в заданому інтервалі часу напрацювання  $t$ , наприклад,  $P(1000) = 0,99$  означає, що з безлічі елементів даного виду 1 % відмовить раніше 1000 год, або що для одного елемента його шанси пропрацювати безвідмовно 1000 год становлять 99 %. Чим менше напрацювання, тим більше  $P(t)$ . Показник  $P(t)$  повністю визначає безвідмовність невідновлювальних елементів, але може бути застосованим також і до відновлюваних елементів до першої відмови. Імовірність безвідмовної роботи статистично визначається відношенням числа елементів  $n$ , безвідмовно пропрацювали до моменту часу  $t$ , до числа елементів  $N$



працездатних в початковий момент часу  $t = 0$

$$P_i^* = n_i / N. \quad (19.1)$$

При значному збільшенні числа елементів  $N$  статистична вірогідність  $P_i^*$  сходиться до ймовірності

$$P(t) = P\{T > t\}, \quad (19.2)$$

де  $T$  – напрацювання до відмови.

Так як якість його функціонування та відмова – події протилежні, то вони пов'язані очевидним співвідношенням:

$$Q(t) = 1 - P(t), \quad (19.3)$$

де  $Q(t)$  – ймовірність відмови, або інтегральний закон розподілу випадкової величини – часу роботи до відмови.

Статистичне значення ймовірності відмови дорівнює відношенню числа відмовили елементів до початкового які долають елементів:

$$Q_i^* = 1 - n_i / N = (N - n_i) / N. \quad (19.4)$$

Похідна от ймовірності відмови  $f(t) = dQ(t)/dt = dP(t)/dt$  є диференційний закон, або щільність розподілу випадкової величини – часу справної роботи пристрою до першої відмови і характеризує швидкість зниження ймовірності безвідмовної роботи в часі.

Середній час безвідмовної роботи  $T_{CP}$  являє собою математичне очікування часу роботи пристрою до відмови

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (19.5)$$

Статистична формула для розрахунку  $T_{CP}$ :

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i, \quad (19.6)$$

де  $T_i$  – час безвідмовної роботи  $i$ -го пристрою;

$N$  – загальне число елементів.

Інтенсивністю відмов  $\Delta(T)$  називають відношення щільності розподілу часу справної роботи до ймовірності безвідмовної роботи невідновлюваного пристрою, яка взята для одного і того ж моменту часу  $t$ .



$$\Delta(T) = f(t) / P(t) = -dP/dt / P(t). \quad (19.7)$$

Статистична формула:

$$\Delta(T)^* = 2(N1-N2) / t(N1 + N2), \quad (19.8)$$

де N1 – початкова кількість справних елементів;

N2 – кількість справних пристроїв через час t.

Інтенсивність відмов є найбільш зручною характеристикою безвідмовності систем і елементів. Як показує досвід обробки статистичних даних по експлуатації різного устаткування, інтенсивність відмов автоматичних систем, а також окремих елементів не може бути апроксимована аналітичної залежністю, відповідної тільки одному теоретичному закону безвідмовності.

Обробка великої кількості інформації про відмови автоматичних систем дозволила отримати загальну якісну форму залежності інтенсивності відмов від часу (рис. 19.1).

$\alpha(t)$

П

В

С

t

Рисунок 19.1 – Залежність інтенсивності відмов від часу

На кривій, наведеної на рис. 20.1 можна виділити три характерні області: перша – початкових відмов П (область підробітки); друга – випадкових відмов В (область зрілості); третя – відмов внаслідок старіння С (область старості).

В області П інтенсивність відмов спочатку зростає, досягає максимального значення і потім зменшується.

Верхня межа області визначається переходом інтенсивності відмов зону постійних значень. Початкові відмови можуть бути обумовлені дефектами матеріалів, а також головним чином виробничими дефектами і деякими іншими факторами. Причини початкових відмов можна усунути дослідної експлуатацією системи, тренуванням в спеціальних умовах і режимах роботи протягом періоду часу, званого періодом підробітки. Тривалість періоду підробітки, як показує досвід, залежить від числа дефектів в системі.

В області випадкових відмов інтенсивність відмов залишається величиною постійною і визначається складністю системи, якістю



застосовуваних елементів і режимам їх роботи, умовами експлуатації і деякими іншими факторами. Інтервал часу, протягом якого інтенсивність відмов постійна, представляє основний робочий період систем. У деяких випадках він збігається з мінімальним значенням виробничого ресурсу системи. Початок зростання інтенсивності відмов визначає верхню межу області випадкових відмов і нижню межу відмов через зношеність. З деяким допуском виникнення таких відмов може служити критерієм довговічності. Слід мати на увазі, що для деяких систем довговічність може бути менше, ніж середній час безвідмовної роботи системи, розраховане як величина, зворотна інтенсивності відмов.

В області I інтенсивність відмов сильно зростає внаслідок зносу окремих елементів. У відновлюваних системах в області I інтенсивність відмов має коливальний характер, причому амплітуда і частота коливань залежать від довговічності окремих елементів і організації профілактичних заходів при експлуатації системи.

У розрахунках надійності необхідно враховувати закони розподілу випадкової величини - часу роботи системи до виникнення відмови. Для дискретних випадкових величин застосовуються біноміальний закон розподілу і закон Пуассона. Для безперервних випадкових величин застосовуються експонентний закон, гамма-розподіл, закон Вейбулла, нормальний закон.

Наприклад, закон Пуассона визначає розподіл числа  $m$  випадкової події за час  $t$ . Використовується для визначення ймовірності того, що в складній будові за час  $t$  відбудеться  $p$  відмов.

Експоненціальний закон застосовується для аналізу складних виробів, що пройшли період підробітки, а також для систем, що працюють у важких умовах під впливом механічних і кліматичних навантажень. Типові елементи радіоелектроніки апаратури підпорядковується експоненціальним законом розподілу часу відмов в області раптових відмов з  $\lambda$ -кривою (рис. 19.2,а). Імовірнісні характеристики відмов визначаються формулами:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad (20.9)$$

Для експоненціального закону  $T_{cp} = 0 = 1/\lambda$  задовольняються початкові умови  $P(0) = 1; Q(0) = 0$ , т. е. відлік часу  $t$  починається з моменту з'ясування справності виробу.

Графіки зміни показників надійності при експоненційному розподілі представлені на рис. 19.2,б. Основною характерною властивістю експоненціального розподілу є те, що ймовірність безвідмовної роботи системи на будь-якому інтервалі часу не залежить від довжини цього інтервалу і не залежить від часу, що передує роботи системи, тобто від її «віку».

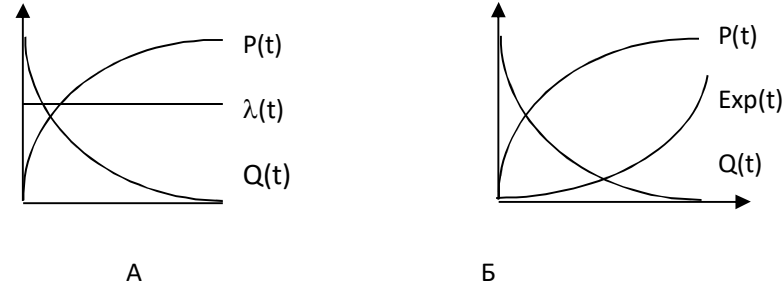


Рисунок 19.2 – Показники надійності при нормальному (А) та експоненційному (Б) законах розподілу часу безвідмовної роботи

Так як для експоненціального розподілу характерно сталість інтенсивності відмов у часі, то область застосування цього закону - системи та елементи, де можна не враховувати ні період підробітки, і ділянку старіння і зносу (наприклад, багато засобів обчислювальної техніки і регулювання).

Нормальний закон розподілу часу справної роботи виробу застосовується для області І-Кривий (рис. 20.1). Закон застосовується, коли відмови системи залежать від великого числа однорідних за своїм впливом чинників в процесах зношування, старіння. Відлік часу  $t$  при нормальному законі ведуть з початку експлуатації системи. Інтенсивність відмов монотонно зростає:

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}} dt, \quad (19.10)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення часу безвідмовної роботи системи.

Графіки зміни показників надійності при нормальному розподілі представлені на рис. 19.3.

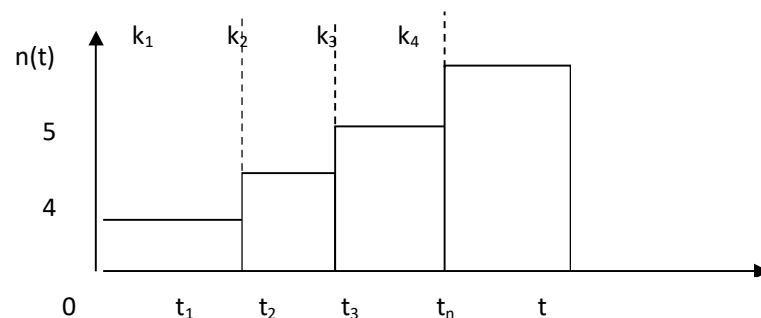


Рисунок 19.3 – До визначення поняття потоку відмов



Нормальний розподіл, в принципі, описує поведінку випадкових величин в діапазоні. Але так як напрацювання до відмови є більше 0, то використовують усічений нормальний розподіл.

Розподіл Вейбулла-Гнеденко застосовується для опису надійності ряду електронних і механічних технічних засобів, включаючи період підробітки. Це двопараметричний розподіл, де параметр  $k$  визначає вид щільності розподілу,  $m$  - його масштаб. Так, при  $k = 1$  розподіл Вейбулла збігається з експоненціальним, коли інтенсивність відмов постійна; при  $k > 1$  інтенсивність відмов зростає; при  $k < 1$  інтенсивність відмов зменшується. має вигляд:

$$P(t) = 1 - e^{-mt^k} \quad (19.11)$$

### 19.3 Показники надійності відновлюваних систем

Після кожної відмови відновлюваної системи настає її відновлення, що проводиться заміною елемента, що відмовив, на ідентичний працездатний або проведенням ремонтних операцій. Так само, як і напрацювання до першої відмови у невідновлювальній системі, моменти настання відмов відновлюваної системи є випадковими. Також випадковою є і тривалість робіт з проведення відновлення, але час відновлення, як правило, значно менше часу між відмовами, тому їм нехтують.

Послідовність відмов, що відбуваються одна за одною у випадкові моменти часу, носить назву потоку відмов. Поняття потоку відмов є одним з основних при розгляді систем з відновленням.

Потік відмов задається двома способами: перший спосіб полягає у вивченні деякого дискретного випадкового процесу, заданого числом відмов на проміжку часу  $(0, t)$ ;

$t_1, t_2, t_n$  – моменти часу, протягом яких відбувається відмова і відновлення.

$k_1, k_2, k_n$  – напрацювання між відмовами.

Інший спосіб полягає у вивченні послідовності безперервних випадкових напрацювань між відмовами. В тому і іншому випадку нехтують тривалістю відновлення системи, а потік відмов називають найпростішим.

Найпростіший потік має властивості стаціонарності, ординарності і відсутності наслідків.

Виконання вимоги стаціонарності означає, що імовірнісні характеристики потоку не залежать від часу. Потік відмов називають потоком без наслідків, якщо для будь-якого набору непересічних проміжків часу число відмов на цих проміжках представляють собою взаємно незалежні випадкові величини. Ординарність означає



практичну неможливість виникнення двох або більше відмов одночасно, тобто на одному проміжку часу.

У найпростішого потоку ймовірність виникнення  $n$  відмов на відріжку часу довжиною  $t$  визначається розподілом Пуассона:

$$P\{n\} = \frac{(at)^n}{n!} e^{-at} \quad (19.12)$$

Ймовірність відсутності відмов на інтервалі часу довжиною  $t$  дорівнює ймовірності події, що полягає в тому, що час  $T$  між відмовами більше, ніж  $t$ :

$$P\{T > t\} = e^{-\omega t}; \quad (19.13)$$

де  $\omega$  - параметр потоку відмов.

Параметр потоку відмов  $\omega(t)$  – це відношення числа відмов системи на деякому малому відріжку часу до значення цього відрізка. Статична формула:

$$\omega(t)^* = \sum (n_i(t + \Delta t) - n_i(t)) / (\Delta t N), \quad (19.14)$$

де  $N$  – загальна кількість елементів;

$n_i(t)$  – число відмов  $i$ -ого елемента на інтервалі часу  $(0; t)$ .

Для потоку, який задовольняє вимогу стаціонарності, параметр потоку відмов є постійною величиною і не залежить від часу.

Одночасні відмови декількох елементів можуть виникати через зміни умов експлуатації понад допустимих меж. Але внаслідок того, що надійність системи розраховують по сталому умов експлуатації, то потоки відмов можна приймати простими. Нестаціонарність може мати місце через наявність періоду підробітки після пуску системи. Ця ж причина може привести до недотримання властивості наслідки. Наслідок може мати місце через недостатню якість відновлення, коли властивості системи не повністю регенеруються після відмови, а також в ситуації, коли відмова одного елемента викликає погіршення умов роботи інших.

Відповідно до двох способів надання потоку відмов для відновлюваних систем, можна застосовувати різні показники надійності і безвідмовності.

При наданні потоку відмов як дискретного випадкового процесу – числа відмов на інтервалі часу  $(0, t)$  показником безвідмовності є параметр потоку відмов, визначається співвідношенням (19.14).

При наданні потоку відмов як послідовності випадкових величин (напрацювань) між відмовами задаються показниками безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і комплексними показниками



надійності. Показником безвідмовності є середнє напрацювання на відмову.

Напрацювання на відмову (середній час між сусідніми відмовами) визначається за статистичними даними про відмови для одного пристрою по формулі:

$$t_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}; \quad (19.15)$$

де  $n$  – число відмов пристрою за час спостереження;

$t_i$  – час справної роботи пристрою між  $(i-1)$ -му і  $i$ -м відмовами. При простому потоці відмов параметр потоку відмов є зворотною величиною напрацювання до відмови.

Термін напрацювання визначає тривалість або обсяг роботи пристрою. Вибір тих чи інших показників надійності залежить від того, наскільки точно потрібно визначити надійність розроблюваних технічних засобів автоматизації.

До показників ремонтпридатності відносяться ймовірність відновлення працездатного стану за заданий час і середній час відновлення.

Ймовірність відновлення працездатного стану визначається як ймовірність того, що час відновлення виявиться менше деякого заданого часу  $t_1$ .

$$Q_B(t_1) = \text{Вер}\{T_B < t_1\}, \quad (19.16)$$

а середній час відновлення (ремонту) після відмови (визначається за статистичними даними):

$$t_B^* = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n}. \quad (19.17)$$

Показником довговічності системи є термін служби системи. Термін служби системи – це випадкова величина, що характеризує календарну тривалість від початку експлуатації системи до переходу її в граничний стан. Для деяких систем показником довговічності є встановлений термін служби, який має досягти дана система. Як випадкової величини при розгляді довговічності може бути прийнятий не тільки календарний термін служби системи, але і її ресурс – напрацювання від початку експлуатації до переходу в граничний стан.

Комплексні показники надійності відображають спільно



безвідмовність і ремонтпридатність системи. До комплексних показників відносяться: коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності та коефіцієнт технічного використання.

Коефіцієнт готовності  $K_g$  – ймовірність того, що система виявиться працездатною в довільно обраний момент часу в сталому процесі експлуатації. При відсутності обмежень в обслуговуванні:

$$K_g = t_{cp}^* / (t_{cp}^* + t_B^*). \quad (19.18)$$

Коефіцієнт готовності чисельно дорівнює середній частці часу, протягом якого система перебуває в працездатному стані.

Коефіцієнт оперативної готовності  $K_{ог}$  – ймовірність того, що система виявиться працездатною в довільно обраний момент часу в сталому режимі експлуатації і що, починаючи з цього моменту, система буде працювати безвідмовно протягом заданого інтервалу часу  $t$ .

$$K_{ог}^* = K_g P(t). \quad (19.19)$$

При визначенні коефіцієнта готовності і коефіцієнта оперативної готовності з розгляду виключені плановані періоди часу, протягом яких застосування систем за призначенням не передбачається (наприклад, інтервали планового технічного обслуговування). Ці періоди часу враховуються коефіцієнтом технічного використання:

$$k_{ті} = t_{cp}^* / (t_{cp}^* + t_B^* + t_{проф}^*), \quad (19.20)$$

де  $t_{проф}^*$  - середній час профілактики, що припадає на одну відмову за розглянутий проміжок часу.

### Контрольні питання

1. Статична і динамічна задача оцінки надійності систем.
2. Від яких параметрів чого залежить надійність системи?
3. Відновлювані та невідновлювані системи.
4. Напрацювання до відмови і ймовірність безвідмовної роботи.
5. Залежність інтенсивності відмов від часу.
6. Які закони необхідно враховувати при розрахунках надійності системи автоматизації?
7. Які Ви знаєте показники ремонтпридатності?
8. Що таке коефіцієнт готовності? Коефіцієнт оперативної готовності?



## ЛЕКЦІЯ 20. ПРИНЦИПИ ОПИСУ НАДІЙНОСТІ АСУТП. ВІДМОВИ АС

### План

- 20.1 Складові частини надійності АСУТП. Відмови
- 20.2 Імовірнісна оцінка. вплив відмов
- 20.3 Надійність АСУТП в цілому

### **20.1 Складові частини надійності АСУТП. Відмови**

Автоматизовану систему управління, як і будь-яку складну систему, доцільно розглядати як сукупність елементів з певною взаємозв'язком між собою. Вибір елементів в залежності від способу декомпозиції АСУТП може бути різний. При декомпозиції за складом як елементи можуть бути прийняті комплекс технічних засобів, інформаційне забезпечення (що включає в себе нормативно-довідкову інформацію, системи класифікації та кодування інформації та ін.) і організаційне забезпечення (документи, що регламентують дії персоналу). Властивості інформаційного та організаційного забезпечення впливають на надійність АСУТП побічно, через функціонування технічних засобів, програмного забезпечення і дії персоналу, тому окремо не враховуються. При функціональній декомпозиції АСУТП як багатofункціональної системи в якості елементів системи розглядаються її функції, в цьому випадку говорять про функціональну ефективність АСУТП. У загальному випадку АСУТП прийнято розглядати як сукупність ТЗА (технічних засоби автоматизації), ПЗ (програмного забезпечення) і ОП (оперативний персонал).

Надійність комплексу технічних засобів надає найбільш істотний вплив на надійність АСУТП, тому наближено надійність АСУТП часто оцінюють з урахуванням всього комплексу технічних засобів.

Критерії відмов технічних засобів (ТЗА) встановлюються відповідно до вимог, зазначених у стандартах, технічних умовах або іншій технічній документації на ці ТЗА. Оскільки більшість ТЗА мають загальнопромислове призначення, то вимоги задаються безвідносно до тих систем, в яких ці ТЗА функціонують. Критерії відмов ТЗА при цьому не залежать від характеристик керованого об'єкта і вимог до якості управління.

Розглянемо класифікацію відмов комплексу технічних засобів системи.

*Відмова* – випадкова подія, що полягає в порушенні працездатності системи. Крім того, відмова автоматичної системи визначається як вихід параметра за межі встановленого допуску.

В експлуатаційних умовах зміна вихідного параметра системи представляє випадкову функцію. Якщо вихід параметра  $k$  за кордон



допуску є небезпечним, то графічно перехід з справного стану приладу в несправне, можна зобразити як перетин випадковою функцією однієї з меж допуску  $a$  й/або  $b$  (рис. 20.1).

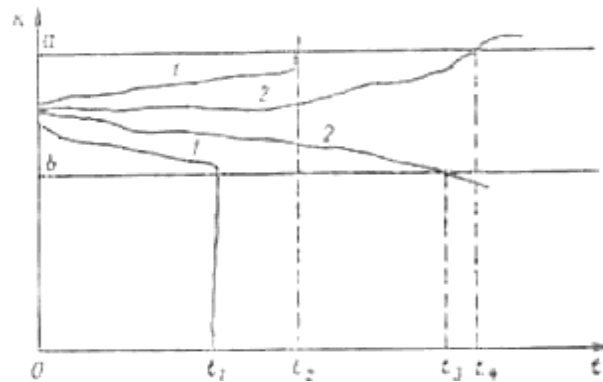


Рисунок 20.1 – Процес зміни параметра

При цьому вихід параметра за кордон допуску може відбуватися або стрибком (графік 1), або в результаті поступової безперервної зміни параметра приладу (графік 2).

Тому, якщо виходити з характеру зміни параметра, доцільно розділити відмови приладів і елементів на раптові і поступові. Такий поділ зручно при розрахунку безвідмовності системи (приладів), оскільки раптова відмова її викликається як відмовою елементів принципової схеми, так і відмовою конструктивних і допоміжних елементів. Для більшості систем і приладів поступова відмова визначається лише зміною параметрів принципової і кінематичної схем.

При появі раптових відмов нерезервована система не може виконувати призначені функції, в той час як при поступових відмовах невеликі відхилення параметра за кордон допусків зазвичай призводять не до відмови системи, а лише до зміни її ефективності (в залежності від величини відхилення параметра приладу за кордон допуску ).

При оцінці безвідмовності системи, в разі поступових відмов, вплив величини відхилення параметра системи за кордон допуску можна характеризувати ефективністю параметра системи.

Відсутність раптової відмови свідчить про міцність елемента, поступова зміна параметра свідчить про його точності. Отже, відсутність обох відмов може бути інтерпретовано як умовна міцність.

## 20.2 Імовірнісна оцінка. Вплив відмов

Для фіксованого інтервалу часу роботи системи безвідмовність представляє ймовірність спільного впровадження двох подій, у яких відсутні раптові і поступові відмови.



Якщо раптові і поступові відмови незалежні, то відповідно до правила множення ймовірностей безвідмовність визначається формулою:

$$P = P_{rp} * P_{пост}, \quad (20.1)$$

де  $P_{rp}$  – безвідмовність системи при виникненні раптових відмовах;

$P_{пост}$  – безвідмовність системи, при виникненні поступових відмовах.

Характер раптових відмов визначається в свою чергу типом елемента або приладу, його схемою і конструкцією. Для найпростіших елементів (деталі і нескладні вузли) раптові відмови діляться на два види:

- обрив;
- коротке замикання.

Так як всі можливі стани елементів повинні складати повну групу подій, запишемо основне рівняння безвідмовності для цієї групи елементів

$$P + q_0 + Q_3 = 1, \quad (20.2)$$

де  $q_0$  і  $Q_3$  – ймовірності відмови елемента внаслідок обриву і короткого замикання відповідно.

Прилади, що містять джерела енергії, а також елементи, комутуючі енергію, характеризуються такими видами раптових відмов, як обрив і помилковий сигнал на виході пристрою. Тобто, для приладів цієї групи вид відмови визначається наявністю або відсутністю сигналу на вході приладу.

Крім раптових і поступових відмов, вельми корисно виділити при дослідженні надійності автоматичних систем переривчасті відмови, часто звані збоями (самовідновлюються відмовами). Переривчасті відмови в основному визначаються перешкодами, які впливають на систему, а для контактних елементів також і оточуючими умовами, наприклад, вібраціями для контактів електромеханічних реле. Характерну особливість переривчастих відмов становлять певні труднощі виявлення і їх усунення. Ефективним засобом попередження наслідків переривчастих відмов може служити застосування коди в дискретних системах.

Показники надійності ТЗА з урахуванням впливу відмови задаються з числа розглянутих в попередніх лекціях. Як правило, ці показники встановлюються при наступних умовах: температура навколишнього повітря  $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ ; відносна вологість 30 – 80 %; тиск 630 – 680 мм. рт. стовпа; відхилення напруги живлення мережі + 10 – 15 %. Час, на якому



задається ймовірність безвідмовної роботи, зазвичай приймається рівною 2000 год. Надання показників безвідмовності і довговічності для технічних засобів є обов'язковим.

### **20.3 Надійність АСУТП в цілому**

Всі розглянуті вище види відмов відносяться до відмов комплексу технічних засобів АСУТП.

Для опису надійності АСУТП в цілому необхідно враховувати взаємозв'язок системи та технологічного об'єкта управління. Надійність АСУТП, перш за все, пов'язана зі здатністю системи виконувати необхідні функції. Тим самим стає природним використання декомпозиції АСУТП як багатофункціональної системи по виконуваних функцій. При такому підході слід ввести поняття відмови функції. У загальному випадку відмовою функції є подія, що полягає в порушенні хоча б однієї з основних встановлених вимог до якості її виконання, що виникає при заданих умовах експлуатації АСУТП і функціонує при заданих режимах технологічному об'єкті управління.

Встановлення критеріїв відмов функцій проводиться з урахуванням класифікації функцій в залежності від вимоги до якості їх виконання. Функції АСУТП умовно поділяються на прості і складові; безперервні і дискретні. Розглянемо вимоги до виконання функцій АСУТП відповідно до наведеної класифікації.

вимоги своєчасного і безпомилкового виконання функцій, відсутності затримок при їх реалізації задаються для дискретних функцій;

вимоги відсутності вимушених перерв у виконанні функції та підтримки значень показників якості їх виконання в заданих межах задаються для безперервних функцій;

відмова складовою функції формулюється як порушення вимог до виконання деякого поєднання простих функцій, при цьому якщо наслідки відмов кожної з простих функцій однакові, то, можливо поставлено вимогу щодо обмеження числа водночас не виконуються простих функцій.

Відмови функцій можна класифікувати за такими ознаками:

за впливом на роботу об'єкта управління (що викликали аварію з пошкодженням обладнання, зупинка технологічного процесу, погіршення якості протікання технологічного процесу);

з причин виникнення (через відмови технічних засобів, помилок програмного забезпечення, неправильних дій персоналу);

за ступенем порушення працездатності (наприклад, повні та часткові);

за наявністю зовнішніх проявів (наприклад, явні і неявні);

по виду порушення для дискретних функцій (неспрацювання, що



полягає у відсутності сигналів або команд на управління виконавчими механізмами при наявності умов, що вимагають їх функціонування, і помилкове спрацьовування, що полягає у виробленні сигналів або команд при відсутності умов, що вимагають їх функціонування).

Показники надійності функції АСУТП вибираються відповідно до класифікації функції з тимчасового режиму виконання з урахуванням класифікації та критеріїв відмов. Основним показником безвідмовності різних безперервних функцій є середнє напрацювання на відмову. Замість неї допускається використовувати параметр потоку відмов, якщо потік відмов функції є стаціонарним. При розгляді поведінки функції до першої відмови показником безвідмовності є середнє напрацювання до відмови.

У тих випадках, коли в роботі АСУТП можна виділити характерні тимчасові інтервали  $t_1$  (наприклад, періодичність капітальних ремонтів технологічного обладнання, періодичність зупинок через зміни виробничої програми), в якості показника безвідмовності може бути прийнята ймовірність безвідмовного виконання функції.

Основним показником безвідмовності і ремонтпридатності дискретних функцій з відмов типу «неспрацьовування» є ймовірність успішного виконання заданої процедури при виникненні запиту.

### **Контрольні питання**

1. Як встановлюються критерії відмов?
2. Що являє собою відмову?
3. Що таке переривчасті відмови?
4. Формула безвідмовності АСУТП.
5. Види випадкових відмов.
6. Вимоги до виконання функцій АСУТП.
7. Що таке відмова функції?
8. Класифікація відмов функцій.



## ЛЕКЦІЯ 21. НАДІЙНІСТЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП

### План

- 21.1 Загальні відомості про надійність програмного забезпечення
- 21.2 Випадкові і невідповідні відмови програмного забезпечення
- 21.3 Надійність програмного забезпечення

### **21.1 Загальні відомості про надійність програмного забезпечення**

Однією з основних частин АСУТП є програмне забезпечення (ПЗ), що представляє собою сукупність взаємопов'язаних і автономних програм, описів, інструкцій програміста і користувача, тестів і т. п.

Основним ядром ПЗ є його програми, які забезпечують: нормальне функціонування всіх ЕОМ і значної частини ТЗА, переробку інформації про стан ТОУ, визначення регулюючих і керуючих впливів, взаємодія АСУ та управлінського персоналу та інші функції. Якість роботи всієї АСУТП істотно залежить від якості ПЗ, під яким умовно розуміють сукупність таких різномірних властивостей як коректність, швидкодія, вартість, і, особливо, надійність.

Надійність ПЗ є властивість програмного забезпечення своєчасно виконувати в заздалегідь зазначених умовах експлуатації вперед встановлені функції.

У найзагальнішому випадку основну функцію ПЗ АСУТП можна як своєчасне отримання певного результату або рішення у при переробці вхідної інформації  $x$  з безлічі  $X$ .

Під  $x$  розуміється контрольна інформація від ТОУ, сигнали про стан технологічного обладнання і ТЗА, команди управлінського персоналу і вищих АСУ і т. п.

Результат  $y$  залежить як від випадкового  $x \in X$ , так і від властивостей ПЗ, що носять багато в чому стохастичний характер. Тому встановлення яких-небудь діапазонів зміни  $y$  і тим більше меж допустимих або розумних результатів  $Y$  виявляється в цьому випадку неможливим. Внаслідок цього стає скрутною строга якісна оцінка приналежності даного  $y$  до безлічі «розумних» результатів  $Y$ .

Рішення про виконання або невиконання функцій ПЗ вимушений приймати користувач  $i$ , у меншій мірі розробник програми або програміст. Таким чином, надійність – ця властивість програм забезпечувати «розумні» на думку користувача і програміста рішення при переробці вхідної інформації  $x$  з умовної безлічі  $X$  і нормальному функціонуванні ЕОМ.

Надійність встановлюється за результатами роботи ПЗ, тобто при динамічній перевірці всіх програм на безлічі вхідної інформації. Некоректне ПО свідомо ненадійно, однак і коректне ПЗ може бути



ненадійним.

Розглянуте визначення надійності ПЗ базується на понятті відмови програми, під якою розуміється подія, що полягає в появі «нерозумного» результату.

## **21.2 Випадкові і невідповідні відмови. Збої програмного забезпечення**

Відмови ПЗ діляться на випадкові і невідповідні.

Невідповідні відмови ПЗ зумовлені дією комп'ютерних вірусів, цілеспрямованими діями людей, в т. ч. ззовні через мережеві протоколи.

Випадкові відмови ПЗ спостерігаються у випадкові моменти часу роботи ЕОМ або процесора. По своїх наслідках ці відмови класифікуються на випадкові збої програм і стійкі відмови ПЗ. Під збоєм ПЗ розуміють випадкову подію, що полягає в появі «безрозсудного» результату у належить Y і зникає при подальших прогонах (запусках) програм.

Збій ПЗ – це відмова програми, що самоусувається (що переміжається), виникає при деяких, можливо випадкових, станах ЕОМ і інформації x належить X, спостережуваний користувачем у випадкові моменти часу і зникаючий без втручання програміста. Стійка відмова ПЗ спостерігається у випадковий момент процесорного часу у формі «безрозсудного» результату у належить Y при x належить X в нормальному функціонуванні ЕОМ.

Причиною відмови ПЗ служить деяка систематична помилка програми, після усунення якої програмістом даний відмова зникає, тобто має місце відновлення ПЗ.

Розрізняють помилки первинного і вторинного типу.

Помилки первинного типу пов'язані з неточностями в текстах програм і виникають при підготовці носіїв і документації ПЗ, при записах кодів на алгоритмічних мовах і трансляції програм на машинну мову. А також через неточності алгоритмів і при невірних або некоректних постановках розв'язуваних на ЕОМ обчислювальних задач.

Помилки вторинного типу багато в чому є наслідком первинних помилок програм. До них відносять помилки:

обчислювальні (невірна індексація і підрахунок часових параметрів, розбіжність результату ручного і машинного рахунку, поява нестійких операцій і т. п.);

логічні (пропуск логічних умов, невірні крайові умови та ін.);

сполучення інтерфейсів (міжмодульних, програмно-технічних, інформаційних).

Помилки первинного і вторинного типів породжуються: на етапах розробки специфікацій на ПЗ, проектування ПЗ, реалізації програм.

Усунення помилок або відновлення програм здійснюється



програмістом на етапі налагодження ПЗ, який закінчується здачею готових програм в експлуатацію. Однак, як показує досвід дослідження надійності складних ПО, близько половини помилок програм не виявляється на стадії налагодження і здачі ПЗ в експлуатацію. Ці помилки (переважно вторинні) виявляють себе в процесі експлуатації ПО в випадкові моменти часу  $t$  і призводять до відмов програм.

Відмови ПЗ при його експлуатації мають ряд відмінностей від відмов технічних елементів:

відмова ПЗ не призводить до руйнування або поломки програмного елемента. Відмови ПЗ не пов'язані з фізичним зносом елемента (зокрема носія програм);

відмова ПЗ не корельована з процесорним і, тим більше, астрономічним часом (з процесорним часом або числом прогонів ПЗ програм користувачем);

при тривалій експлуатації ПЗ все його помилки можуть бути усунені і програми стають абсолютно надійними. Якщо позначити через  $N(t)$  число невиявлених помилок ПЗ в довільний момент процесорного часу  $t$ , то формально має місце співвідношення  $\lim N(t) = 0$ , справедливе за умови, що в процесі відновлення програм в них не вносяться нові помилки.

Досвід створення і експлуатації ПЗ реального часу показує, що при усуненні одних помилок вносяться інші. Тому, при тривалій експлуатації ПО, загальне число помилок може залишатися постійним або навіть зростати.

### **21.3 Надійність програмного забезпечення**

Для опису надійності ПЗ використовують такі ж функціональні і числові характеристики, як і при дослідженні надійності технічних елементів.

Основні показники надійності ПЗ: функція ненадійності або відмови ПЗ  $Q(t)$  – ймовірність того, що відмова ПЗ з'явиться до моменту часу  $t$ .

Функція надійності ПЗ  $P(t)$ . Ймовірність того, що відмова ПЗ з'явиться після моменту часу  $t$ .

Інтенсивність відмов ПЗ  $d(T) = dQ/dt$ .

Середнє напрацювання на відмову ПЗ.

Програмне забезпечення АСУТП складається з великого числа програм, підпрограм і модулів, що знаходяться під управлінням операційної системи або програми-диспетчера. Виконання кожної з цих програм здійснюється послідовно в часі зазвичай на одному і тому ж процесорі. Якщо ці програми мають взаємні інформаційні зв'язку або призначені для отримання одного результату  $y$  (обчислення однієї функції), то такий програмний комплекс являє собою просту систему без надмірності і ймовірність його безвідмовної роботи дорівнює добутку



ймовірностей безвідмовної роботи кожної і-ої програми:

$$P(t) = \prod_{i=1}^m p_i(t)$$

де  $m$  – загальне число програм.

Надійність такого ПЗ визначається надійністю відмов самої «ненадійною» програми, що має найбільше значення  $l = 1, m$ .

Для підвищення надійності нерезервованої ПО слід в першу чергу поліпшити характеристики самих «ненадійних» програм (більш жорстке динамічне тестування «ненадійних» програм, розширюючи при цьому набір тестових задач). Якщо тестування не зменшує інтенсивність прояву помилок, то переписують «ненадійну» програму, прагнучі посилити її структурованість шляхом збільшення числа готових і добре вивчених програмних модулів і стандартних підпрограм і застосування апробованих міжмодульних інтерфейсів. зниженню інтенсивності • сприяє і перехід на інший вищий мову програмування.

Інший шлях підвищення надійності ПЗ пов'язано з резервуванням і введенням в програмну систему деякої надмірності.

Стосовно до ПЗ АСУТП розрізняють три види резервування:

1. Тимчасове.
2. Інформаційне.
3. Програмне.

тимчасове резервування ПЗ полягає в багаторазовому прогоні одних і тих же «ненадійних» програм і порівнянні результатів розрахунку. Таке навантажене резервування дозволяє усунути вплив випадкових збоїв і виявляти випадкові помилки, які потребують відновлення програм.

Інформаційне резервування ПЗ засноване на дубльованих вихідних і проміжних даних. Ці дані можуть проходити додаткового тільки обробку, наприклад, усереднення, до введення в ПЗ, де вони обробляються один раз; або обробляються однією і тією ж програмою двічі, тобто інформаційне резервування підкріплюється тимчасовим.

Програмне резервування передбачає наявність в ПЗ двох або більше різних програм для отримання одного і того ж результату у або реалізації однієї функції. Тут можливо навантажене і ненавантажений резервування.

Резервування програмного забезпечення розподілених АСУТП часто супроводжується апаратним резервуванням. При відмові ПЗ будь-якої локальної технологічної станції або при виході з ладу технічних засобів цієї станції, операційна система розподіленої АСУ передає виконання відповідальних функцій відмовленої ЛТС іншій станції.



## Контрольні питання

1. Поясніть термін «надійність програмного забезпечення».
2. Хто і яким чином оцінює надійність програмного забезпечення АСУТП?
3. Випадкові і невідповідні відмови. Стійкий відмова програмного забезпечення.
4. Помилки програмного забезпечення первинного і вторинного типу.
5. Відмінність відмов програмного забезпечення від відмов технічних елементів.
6. Основні показники надійності програмного забезпечення. Три види програмного резервування в АСУТП.



## ЛЕКЦІЯ 22. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АСУТП

### План

22.1 Загальна характеристика умов роботи автоматичних систем

22.2 Підвищення надійності АСУТП при проектуванні

22.3 Підвищення надійності при експлуатації

### **22.1 Загальна характеристика умов роботи автоматичних систем**

Автоматичні і автоматизовані системи, а також їх окремі елементи при експлуатації знаходяться під впливом різних факторів, які будемо називати навантаженнями. Характерною особливістю електронних автоматичних систем в порівнянні з механічними системами є велика різноманітність навантажень, що впливають на систему.

За фізичну природу навантаження можна розділити на наступні основні класи:

1) механічні навантаження – вібрації, удар, постійно діючі прискорення;

2) кліматичні навантаження – температура, вологість і волога, атмосферний тиск, сонячна радіація, пил, пісок;

3) електричні навантаження – струм, напруга, потужність, що розсіюється;

4) радіоактивні навантаження – потік нейтронів, гамма-променів

Механічні навантаження впливають на автоматичні системи, що працюють на рухомих об'єктах: літальних апаратах, електровозах, кораблях і ін. Крім того, механічні навантаження виникають при транспортуванні, а також при експлуатації обладнання.

В результаті впливу механічних навантажень відмови автоматичних систем мають наступний характер:

зміщення ковзають і обертових деталей і вузлів;

обрив елементів;

руйнування пайок;

руйнування ниток напруження ламп;

стук контактів;

коротке замикання близько розташованих провідників і деталей;

розмикання нормально-замкнутих контактів;

замикання нормально-розімкнутих контактів;

пошкодження обмоток трансформаторів;

руйнування елементів конструкції.

Кліматичні навантаження, впливають на автоматичні системи, залежать від географічного місця, в якому працює система, а також від умов роботи системи (стаціонарні, польові і т. д.).

В результаті впливу кліматичних навантажень відмови



автоматичних систем мають наступний характер:

- зміна значень електричних констант ( $R$ ,  $L$ ,  $C$  і т. д.);
- розм'якшення ізоляції;
- зниження еластичності ізоляції;
- зменшення поверхневого і об'ємного опорів ізоляції аж до коротких замикань внаслідок утворення льоду;
- замерзання рухомих частин;
- розмикання і замикання контактів внаслідок викривлення;
- зміна міцності конструкційних елементів;
- втрата мастильних властивостей, і, отже, надмірний механічний знос рухомих частин внаслідок попадання пилу і піску;
- короткі замикання внаслідок погіршення ізоляційних характеристик повітря зі зміною висоти.

Так само, як і в разі механічних навантажень, кліматичні навантаження в окремих місцях системи можуть в значній мірі відрізнитися від їх значень в навколишній атмосфері.

електричні навантаження зазвичай визначаються для елементів і рідше для вузлів. Величина електричного навантаження залежить від принципової електричної схеми і конструкції системи. Електричне навантаження визначає режим роботи елемента. Для більшості електричних елементів встановлюється номінальне значення електричного навантаження.

Характерними відмовами автоматичних систем внаслідок впливу електричних навантажень є:

- 1) обрив елементів в результаті перегорання;
- 2) коротке замикання елементів в результаті пробую.

Величина електричних навантажень в значній мірі залежить від режиму роботи системи. У сталому режимі роботи дійсне значення навантаження близько до її розрахунковим значенням, завжди меншому, ніж номінальне значення, тому зазвичай коефіцієнт навантаження менше одиниці. У перехідних режимах величина навантаження може в кілька разів перевищувати розрахункове значення, тоді коефіцієнт навантаження стає великим одиниці. Ця обставина характерно для моментів часу включення і виключення автоматичної системи. В цьому випадку зазвичай з'являється більше число відмов, ніж при роботі в сталому режимі.

Радіоактивне випромінювання має місце в разі застосування автоматичних систем в установках, що використовують термоядерні двигуни. Найбільший вплив на електронні системи надають нейтрони і гамма-промені. При оцінці впливу термоядерного випромінювання на елементи автоматичних систем в першу чергу визначається характер впливу радіації, а потім вже допустима доза радіації.

Короткий розгляд умов роботи автоматичних систем показує, що вони працюють під впливом складного комплексу навантажень. Крім



того, задача аналітичного опису навантажень ускладнюється також і тим, що деякі з них характеризуються декількома параметрами. Наприклад, вібрації характеризуються частотою і амплітудою вібрацій. Задачу можна спростити при припущенні, що для кожного з елементів можна виділити одну або кілька основних навантажень. З цієї точки зору доцільне класифікувати навантаження не по їх фізичну природу, а по їх впливу на систему або її окремі елементи.

Виділимо три класи навантажень:

- 1) навантаження-напруги;
- 2) навантаження-каталізатори;
- 3) пасивні навантаження.

Навантаження-напруги пов'язані зі створенням в елементах або системі напружень. До них відносяться механічні навантаження – вібрації, удар, прискорення і електричні навантаження – струм, напруга, що розсіюється потужність. Таким чином, навантаження-напруги викликають руйнування елементів системи в тому випадку, якщо вони перевищують допустимі значення.

Навантаження-каталізатори самі по собі практично не викликають напруги в елементі або системі і, отже, без навантажень-напружень вони не призводять до відмов. Однак навантаження-каталізатори змінюють міцність матеріалів або погіршують фізичні, хімічні та електричні параметри. До цієї групи навантажень віднесемо кліматичні навантаження: температуру, вологість, атмосферний тиск, сонячну радіацію. Дійсно, підвищені температури змінюють, наприклад, міцність матеріалів на розрив; вологість змінює електричну міцність ізоляційних матеріалів і т. д. На додаток до кліматичних навантажень можна іноді віднести і накопичене час роботи системи або число циклів роботи системи. Очевидно, що це може бути зроблено в тих випадках, коли час роботи змінює характеристики міцності елементів або системи в цілому.

До пасивних навантажень слід віднести такі умови роботи системи і елементів, які самі по собі не викликають напруги в елементах системи і не змінюють її здатності протистояти навантаженні, наприклад, вплив пилу, піску, а також біологічних факторів. Ці навантаження в основному визначають вибір відповідних матеріалів і конструктивних форм елементів і систем.

У більшості випадків навантаження є випадковими функціями часу, а саме представляють випадковий процес.

У найбільш простих випадках можна не враховувати кореляційних зв'язків між різними типами навантажень, т. е. вважати навантаження статистично незалежними. Крім того, якщо зміна навантажень в часі є стаціонарним випадковим процесом, можна в якості кількісних характеристик навантажень використовувати розподілу навантажень як випадкових величин.

Цікавим є оцінка як можливих значень навантажень, так і їх



максимальних значень. Для визначення щільності ймовірності навантажень за відомими реалізаціями випадкового процесу (в разі стаціонарного процесу досить знати одну реалізацію протягом тривалого часу) необхідно розділити загальний час спостереження на досить малі інтервали і визначити навантаження в кожному інтервалі.

Таким чином може бути побудована функція щільності ймовірності навантаження і щільність ймовірності максимальних значень навантаження в результаті фіксування протягом тривалого відрізка часу максимальних навантажень. Взаємне розташування вказаних щільності ймовірностей показано на малій. 22.1.

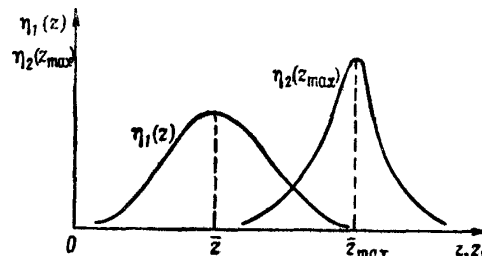


Рисунок 22.1 – Щільність вірогідності навантаження і її значень.

## 22.2 Підвищення надійності АСУТП при проєктуванні

При створенні та експлуатації автоматичних систем необхідно прагнути забезпечити задану, а іноді і максимальну надійність системи при експлуатації. Однак в практиці створення складних автоматичних систем в більшості випадків не вдається, не тільки отримати максимальну надійність, але і забезпечити навіть при звичайному підході до проєктування і експлуатації мінімальну необхідну надійність системи. Тому при створенні і експлуатації систем необхідно вживати спеціальних заходів, спрямованих на підвищення надійності систем. Способи підвищення надійності автоматичних систем дуже різноманітні і вимагають від осіб, які створюють системи, як широких наукових і теоретичних знань, так і інженерного мистецтва, великого досвіду і т. д.

Природно, що детально розглянути все різноманіття заходів і способів підвищення надійності вельми важко і це пов'язано було б з освітленням великої кількості вузьких завдань. З огляду на цю обставину, в цьому параграфі будуть розглянуті загальні методи і принципи підвищення надійності автоматичних систем. Вивчення загальних методів і принципів підвищення надійності автоматичних систем має також свої позитивні сторони, що забезпечують розвиток правильних і перспективних напрямків створення високонадійних систем, без чого можуть стати малоефективними правильні рішення вузьких практичних питань.

Відповідно до трьох головних фазами, які проходить кожна



система, розглядають три методи підвищення надійності систем: при проектуванні, виробництві та експлуатації.

Слід зазначити, що тільки об'єднаними заходами на кожній з цих фаз можна домогтися високої надійності створюваної і експлуатованої системи. Проте, вирішальний вплив на надійність автоматичних систем надає фаза проектування.

При проектуванні системи вибирається принцип її роботи і структура. Здійснюється конструктивна розробка окремих вузлів і приладів та т. д. Якщо на стадії проектування не будуть враховуватися питання, пов'язані з надійністю системи, і тим більше, якщо будуть допущені неточності, то забезпечити надійність системи за рахунок заходів, що вживаються на двох наступних фазах (виробництві та експлуатації), вельми важко. Це потребує великих матеріальних витрат, а в деяких випадках навіть практично неможливо. Перш за все, при проектуванні системи необхідно забезпечити необхідний рівень безвідмовності системи.

Проектування системи починається з вибору принципу роботи системи. На цій стадії проектування головна увага повинна бути звернена на вибір найбільш простої системи, яка має по можливості найменше число елементів і зв'язків між ними. Ця вимога підтверджується тим, що в нерезервованих системах ймовірність відмови системи в першому наближенні пропорційна кількості елементів.

Поряд з вибором простої схеми, що оцінюється приблизно за кількістю елементів, великий вплив на безвідмовність системи має вибір стабільної схеми. У стабільній за принципом дії схемою зазвичай спостерігаються мінімальні зв'язку між параметрами окремих елементів, а також забезпечується мінімальний вплив відхилень параметрів елементів на величину помилки в вихідній величині системи.

Таким чином, вибір простої і стабільною за принципом дії схеми є однією з головних заходів забезпечення високої безвідмовності системи як при раптових, так і при поступових відмовах.

Іноді вибір простої за кількістю елементів і в той же час стабільної схеми пов'язаний з подоланням певних протиріч. Як приклад можна привести задачу проектування підсилювального пристрою системи. Відомо, що для забезпечення стабільності коефіцієнта посилення в автоматичних системах застосовуються негативні зворотні зв'язки.

Застосування негативного зворотного зв'язку для отримання необхідного загального заданого коефіцієнта посилення пов'язано зі збільшенням числа каскадів в розімкнутій ланцюга посилення, т. е. зі збільшенням загальної кількості елементів системи. Таким чином, підвищення стабільності коефіцієнта посилення призводить до збільшення потенційної можливості раптового відмови в схемі.

Ймовірність відмови нерезервованої системи в першому наближенні



дорівнює сумі ймовірностей відмов елементів. Отже, безвідмовність нерезервованих систем залежить не тільки від кількості елементів, але і від якості елементів. Для забезпечення високої безвідмовності при проектуванні системи треба вибирати найбільш якісні і перспективні елементи.

У свою чергу показники безвідмовності елементів залежать в сильному ступені від режимів роботи елементів. Тому при проектуванні для підвищення безвідмовності системи режими роботи елементів можна вибирати значно меншими, ніж номінальні, при цьому ступінь зменшення навантажень залежить від конкретних задач.

Великий вплив на безвідмовність системи надають умови її роботи, а саме: що впливають на систему і елементи механічні, кліматичні навантаження і т. д. При проектуванні системи необхідно максимально зменшити вплив зовнішніх і внутрішніх навантажень на систему і її елементи. Ця задача в основному вирішується правильним вибором конструкції вузлів, приладів і системи в цілому.

В якості додаткових конструктивних заходів, що забезпечують підвищення безвідмовності, можна вказати на методи зниження впливу механічних навантажень шляхом застосування спеціальних конструктивних форм пристроїв, амортизаторів та т. д. Вплив кліматичних «навантажень» може бути в значній мірі ослаблений при правильному конструктивному оформленні вузлів і блоків, наприклад, з таким розрахунком, щоб забезпечити підвищену тепловіддачу (штучне охолодження), захист від вологи (герметизація).

При розробці схеми і конструкції повинні також бути передбачені заходи, що дозволяють підвищити надійність системи при експлуатації, а саме: блокова конструкція системи, застосування стандартних і уніфікованих вузлів і блоків, зручність перевірок і обслуговування та ін.

Таким чином, на стадії проектування надійність нерезервованої системи забезпечується наступними основними методами:

- 1) вибором простих і стабільних схем, які враховують також можливості підвищення надійності системи при експлуатації;
- 2) застосуванням якісних і перспективних елементів і вибором режимів роботи елементів, відповідних зниженим електричним навантаженням;
- 3) розробкою конструкції системи і приладів, що забезпечує мінімальні навантаження на систему і елементи, а також зручність обслуговування системи.

### **22.3 Підвищення надійності при експлуатації**

Якщо в результаті проектування нерезервованої системи не вдається забезпечити необхідну безвідмовність, можна застосовувати такі методи підвищення надійності системи при експлуатації:



- 1) зворотні зв'язки;
- 2) резервування.

Застосування негативних зворотних зв'язків дозволяє стабілізувати параметри окремих вузлів, блоків і приладів системи, тобто зменшувати ймовірність відмови системи внаслідок поступових відмов. У ряді випадків корисно застосовувати позитивні зворотні зв'язки.

Підвищення надійності системи може бути досягнуто за допомогою резервування. Резервування буває інформаційне, тимчасове, функціональне, апаратне і структурне. Розглянемо два останні види резервування. Апаратне резервування забезпечується застосуванням декількох однакових пристроїв для досягнення заданої мети, наприклад, прийом і запис унікальної інформації одночасно на 2 – 3 пристрої. Структурне (схемне) резервування полягає в застосуванні спеціальних схем з'єднань основного і резервного елементів.

Використовують поелементне резервування і резервування всьому ланцюгу основних елементів (навантажений резерв) (рис. 22.2, а, б). У повністю резервованій системі відмова одного або декількох елементів не призводить до відмови всієї системи. При постійному резервуванні, яке іноді називають пасивним, резервні пристрої постійно включені в схему, при цьому до моменту ремонту включеними в схему залишаються і відмовили пристрої. Постійне резервування відрізняється простотою схем, можливістю застосування до різноманітних конструкцій (систем, приладів, вузлів, елементів).

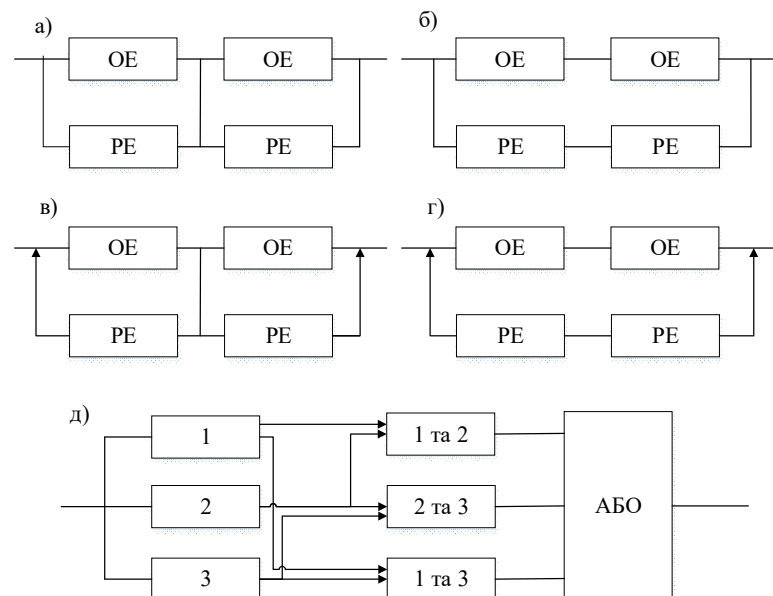


Рисунок 22.2 – Схеми резервування:

- а – поелементного; б – загального; в – поелементного з заміщенням;  
г – загального заміщення; д – мажоритарного,  
ОЕ – основний елемент; РЕ – резервний елемент



Істотним недоліком постійного резервування є зміна параметрів схеми і режимів роботи при відмовах резервних пристроїв, що в деяких випадках неприпустимо. Певні технічні труднощі зустрічаються також при резервуванні пристроїв, що характеризуються двома типами відмов (обрив і коротке замикання). Крім того, для ряду облаштувань автоматичних систем постійне резервування технічно важко здійснити, а в деяких випадках навіть неможливо.

Як і всякому способу підвищення безвідмовності, пов'язаному із застосуванням більшої кількості елементів, ніж це потрібно функціональною схемою, постійного резервування притаманні також недоліки, пов'язані зі збільшенням ваги, обсягу, вартості апаратури і ускладненням експлуатації.

Резервування за поелементним заміщенням (ненавантажений резерв). Перевага – в збереженні ресурсу резервних елементів, недолік – в додатковій можливості відмови переключаючого елемента (рис. 22.2, в).

Резервування за загальним заміщенням (ненавантажений резерв, рис. 22.2, г). Загальне правило, яке можна застосовувати в схемному резервуванні, свідчить: чим дрібніше масштаб резервування, тим більше надійність.

Широко використовується схема мажоритарного резервування, яка носить також назва «схема голосування з трьох по два». Несправний канал автоматично виключається з лінії передачі інформації (рисунок 22.2, д).

Резервування здійснюють також із застосуванням логічних схем. Таке резервування називають активним. Застосування логічних схем забезпечує незмінність параметрів схеми при відмовах елементів, підвищує безвідмовність системи при їх використанні для пристроїв, що характеризуються відмовами двох типів, дозволяє зберігати ресурс резервних пристроїв, що знаходяться в режимі очікування в ненавантаженому стані. Резервування за логічними схемами неминуче пов'язане із застосуванням додаткових пристроїв у вигляді індикаторів відмови, перемикачів і т. д.

Надійність автоматичної системи може в значній мірі знизитися також під впливом зовнішніх перешкод, що перемижуються, або самовідновлюючих відмов і ін., що призводять до спотворення переданої інформації. У цих випадках ефективним засобом підвищення надійності систем є застосування, особливо в дискретних інформаційних системах, самокорегуючих кодів і надмірності інформації, що передається. Застосування того чи іншого методу резервування залежить від конкретних умов, від призначення і особливостей роботи системи.

У загальному випадку неможливо застосуванням тільки одного методу резервування домогтися високої надійності автоматичної



системи. Висока надійність системи може бути забезпечена тільки в результаті комбінованого застосування методів резервування. Одним з напрямків створення високонадійних автоматичних систем на основі комбінованих методів резервування є застосування самоналагоджувальних і систем, що самоорганізуються. За допомогою постійного резервування можна забезпечити функціонування системи з ймовірністю, дуже близька до одиниці. Однак при відмовах резервних елементів в значній мірі можуть змінитися вихідні параметри, при цьому відхилення параметрів можуть бути такими, що, незважаючи на відсутність відмови системи, вона не задовольняє вимогам, що пред'являються. Комбіноване застосування постійного резервування і методу самонастроювання параметрів при відмові резервних елементів дозволяє уникнути недоліків, властивих тільки постійного резервування. Ще більші можливості підвищення надійності можуть представитися в результаті застосування систем, що самоорганізуються, в яких при відмовах окремих елементів або зміні зовнішніх умов змінюється структура системи, перерозподіляються функції між її окремими елементами.

Одним з найбільш важливих засобів забезпечення високої безвідмовності системи на стадії експлуатації є суворе дотримання умов технологічних процесів. Дотримання встановлених технологічних процесів повинно починатися з вхідного контролю матеріалів і виробів, вживаних в системі, забезпеченні при необхідності якісної заміни матеріалів. У ряді випадків причиною низької безвідмовності випускаються систем може бути забруднене утримання обладнання і робочих місць. Важливим методом підвищення безвідмовності систем є правильна організація виробничого контролю і рівень культури виробництва.

Особливої шкоди якості системи наноситься прихованими виробничими дефектами в результаті порушення технологічного процесу. Зазвичай приховані дефекти мають найбільші технічні труднощі при виробничому контролі.

Поряд з виробничим контролем безвідмовність складних систем може бути істотно підвищена, особливо для початкового періоду експлуатації, проведенням тренувальних випробувань системи (підробітки) в виробничих умовах. Це дозволяє усунути більшість виробничих і прихованих відмов, якщо приробітку системи проходить при великих, в порівнянні з номінальними, навантаженнями.

Правильна організація експлуатації системи є одним з вирішальних факторів забезпечення високої надійності. Велике значення має і своєчасне проведення профілактичних заходів, що дозволяють попередити появу відмов системи в робочий період часу. Одним із сучасних методів профілактики є прогнозування відмов, що дозволяє своєчасно замінити так звані критичні елементи і тим самим виключити



їх відмови. Природно, що повністю виключити відмови в робочий період не вдається, тому необхідно проєктувати систему і правила її експлуатації таким чином, щоб забезпечити мінімальний час відновлення відмовила системи. У зв'язку з цим велике значення має розробка схем автоматичної перевірки і виявлення відмов (системи діагностування).

З експлуатаційних факторів важлива роль в підтримці високої надійності автоматичних систем належить обслуговуючому персоналу, його технічній підготовці, досвіду і іншим якостям.

Велике значення для підвищення надійності системи має організація експлуатації, зокрема постачання систем запасними елементами і матеріалами, технічними описами та інструкціями з експлуатації, організація ремонтних органів і ін.

Таким чином, висока надійність автоматичних систем може бути забезпечена тільки комплексом методів, застосовуваних на всіх фазах створення і експлуатації системи.

### **Контрольні питання**

1. Перелічить основні класи навантажень на системи автоматизації.
2. Характерні відмови систем під впливом механічних навантажень.
3. Характерні відмови систем під впливом електричних навантажень.
4. Якими методами оцінюється надійність нерезервованої системи?
5. Яким чином можна підвищити безвідмовність системи?
6. Назвіть основні фактори якісної експлуатації АСУТП.
7. Види і схеми резервування.



## ЛЕКЦІЯ 23. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУТП

### План

- 23.1 АСУТП як об'єкт метрологічного забезпечення
- 23.2 Загальні принципи організації робіт з метрологічного забезпечення АСУТП
- 23.3 Метрологічна атестація АСУТП

### **23.1 АСУТП як об'єкт метрологічного забезпечення**

Метрологічне забезпечення (МЗ) – це встановлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм для досягнення єдності і необхідної точності вимірювання.

Прийнято розглядати метрологічне забезпечення (МЗ) як органічне поєднання чотирьох груп (основ): наукової основи, технічних і організаційних основ, а також правил і норм МЗ.

Вимірювання фізичних та хімічних величин, які характеризують стан і хід технологічного процесу, є однією з головних функцій АСУТП. Основною метою МЗ є отримання необхідної точності вимірювань в умовах експлуатації систем, а також однаковість способів вираження результатів вимірювань в процесі функціонування АСУТП для можливої їх порівнянності. Всі ці умови повинні виконуватися незалежно від типу системи і її галузевої приналежності.

У відповідності зі стандартами, АСУТП є автоматизованою системою управління для вироблення і реалізації керуючих впливів на технологічний об'єкт управління відповідно до прийнятого критерієм управління. АСУТП включає в себе технологічне обладнання, засоби автоматизації, оперативний персонал (оператори, технологи, диспетчери), які, взаємодіючи в реальному масштабі часу, управляють технологічним процесом по заданих алгоритмах і узагальненому техніко-економічному критерієм при наявності технологічних, економічних, соціальних і екологічних обмежень.

З точки зору МЗ АСУТП можна виділити наступні основні ознаки:

- індивідуальність цільових і алгоритмічних функцій АСУТП одного типу;
- органічний нерозривний зв'язок комплексу технічних засобів вимірювання, регулювання, обчислювальних комплексів, людини-оператора з конкретним технологічним об'єктом управління;
- малосерійне і одноразове виконання для деяких АСУ безперервних технологічних процесів. У той же час виробни, комплектуючі АСУТП, - засоби вимірювань і засоби автоматизації – є серійними виробами, до яких пред'являються загальноприйняті технічні вимоги і які повинні мати технічні умови, передбачені стандартами;
- АСУТП в більшості випадків не проходять стадій макетування,



лабораторної перевірки, періодичних і типових випробувань в повному комплекті, а відразу ж після проєктної розробки комплектуються і монтуються безпосередньо на конкретному технологічному об'єкті управління;

- складові елементи АСУТП – об'єкт управління, засоби вимірювання, канали зв'язку, регулятори, виконавчі механізми, обчислювальні комплекси в більшості випадків віддалені один від одного (іноді на значні відстані), знаходяться в різних умовах експлуатації і схильні до дії різноманітних факторів, що впливають. Ці впливи настільки істотні, що можуть звести до нуля очікувану економічну ефективність від впровадження автоматизованої системи.

Умови експлуатації усіх технічних засобів на реальних об'єктах, як правило, не можуть бути змінені і приведені до визначених, наприклад, нормальним умовам. Це виключає можливість при випробуваннях АСУТП визначати або контролювати ті метрологічні характеристики (МХ) каналів виміру і точнісні характеристики каналів управління, які нормуються на стадії проєктування для нормальних умов. Тому часто ці характеристики АСУТП визначають розрахунковими методами. Ефективність таких розрахунків цілком залежить від достовірності початкової інформації, обґрунтованості методик розрахунку, досвідченості і кваліфікації проєктувальників систем.

Канали АСУТП нерівноцінні по своєму функціональному призначенню. *Найважливішими* є ті, які забезпечують безпечні для обслуговуючого персоналу умови експлуатації і безаварійне протікання технологічного процесу. *Вторинними* за значимістю є канали, що забезпечують задану кількість і якість «найвагоміших» (у економічному плані) матеріальних і енергетичних потоків, що беруть участь у виробництві. При обстеженні ряду АСУТП в металургійній, хімічній і енергетичній промисловості виявилось, що тільки 10 – 15 % каналів являються – найзначимішими і дорожчими, а 90 – 85 % доводиться на «маловагомі».

Розробка метрологічного забезпечення конкретної АСУТП тісно пов'язана з розробкою усіх інших її основних складових і може бути проведена в повному об'ємі тільки за наступних умов: визначенні узагальненого техніко-економічного критерію управління; обґрунтуванні раціонального об'єму первинної інформації, що поступає з об'єкту і забезпечує задану якість продукції; опрацюванню кількісної оцінки величини економічного ефекту, що отримується від впровадження системи управління з урахуванням рівня адекватності об'єктів управління і точнісних і метрологічних характеристик технічних засобів, що входять до складу АСУТП.

Особливу увагу необхідно приділити відпрацювання метрологічного забезпечення АСУТП, коли в її створенні беруть участь спеціалісти декількох підрозділів та організацій, що мають різний науковий і



технічний рівень. Тоді виникають ситуації, при яких різні комплекси системи створюються і працюють відповідно до технічних умов різних розробників і досягнення необхідних точнісних і технічних характеристик системи в цілому ускладнене. Єдиний вихід з цієї ситуації - максимальна увага питанням метрологічного забезпечення на стадії технічного завдання і технічного проєктування системи.

### **23.2 Загальні принципи організації робіт з метрологічного забезпечення АСУТП**

Аналіз АСУТП, як об'єкту МЗ, дозволяє сформулювати деякі загальні принципи організації робіт з метрологічного забезпечення АСУТП.

1. Метрологічне забезпечення АСУТП повинне охоплювати усі види перетворення інформації і сигналів в системах. Це можливо здійснити, базуючись при розробці структурних схем систем при обстеженні об'єкту автоматизації за допомогою атестованих методик виконання вимірів або його моделюванні.

2. Вимоги МЗ АСУТП можна, в основному, розповсюдити на технічні засоби систем і вимірювально-інформаційні канали.

Специфічні труднощі виникають тут при детальнішому розгляді систем, що мають у своєму складі як засоби вимірів, так і пристрої, що не відносяться до них (контролери, комп'ютери та інші комп'ютерні засоби автоматизації), але вимоги метрології поширюються на канали і пристрої, що здійснюють управляючі функції.

3. Метрологічне забезпечення АСУТП повинне містити єдиний комплекс нормованих МХ і показників точності для усіх ланок для системи в цілому, який повинен відбивати випадковий характер погрешностей що виникають в АСУТП, і забезпечувати можливість обґрунтованої оцінки розрахунковим шляхом МХ ланок, а також оцінки показників точності результатів виміру, контролю управління, здійснюваних системою, з урахуванням дії на різні ланки системи різних за характером і величиною впливаючих чинників.

4. Метрологічне забезпечення АСУТП повинне містити три складові частини:

методики проведення робіт;

технічні засоби МЗ;

структуру організації робіт по МЗ, що особливо важливо при метрологічній атестації систем.

При організації робіт по МЗ АСУТП слід більш повно враховувати як об'єктивні характеристики систем, так і деякі особливості їх проєктування і експлуатації, які зводяться до наступного:

1. Так як в ряді випадків не забезпечується єдиний підхід до проблем нормування МХ засобів вимірювань, контролюючих



технологічні процеси і сировину, а також окремих компонентів системи, що призводить до метрологічної несумісності при їх використанні в вимірювальних каналах (ВК) АСУТП, необхідно максимально використовувати відомі засоби вимірювання та агреговані комплекси, що зведе до мінімуму різницю в номенклатурі МХ використовуваних систем вимірювання і методів їх нормування.

2. Оскільки наявні відомості про характеристики вимірюваних величин різних технологічних процесів часто недостатні для науково обґрунтованого проектування системи, то при вирішенні питань застосування конкретних технічних засобів на стадії розробки ТЗ і технічного проекту АСУТП необхідно проводити додаткові дослідницькі роботи по уточненню методик виконання вимірів, а якщо знадобиться, то і їх атестації.

3. У тих випадках, коли методики розрахунку МХ вимірювальних каналів по МХ їх ланок і інші розрахункові методики неможливо застосувати для розрахунку МХ вимірювального каналу АСУТП в цілому, слідує такий розрахунок проводити для окремих частин каналу з подальшим стикуванням для отримання МХ каналу в цілому. При неможливості проведення і таких розрахунків слід визначити МХ експериментально на макетах ПК або в процесі дослідної експлуатації АСУТП.

4. Методики випробувань і перевірки ВК АСУТП мають бути орієнтовані на використання зразкових засобів вимірювання. Браковані засоби мають бути розроблені і атестовані до початку випробувань.

5. Нормативно-технічна документація, що регламентує порядок проведення випробувань будь-якого виду (внутрішніх, зовнішніх), метрологічну експертизу систем і метрологічний нагляд за ними в процесі експлуатації, має бути розроблена як мінімум на рівні стандартів підприємства.

### **23.3 Метрологічна атестація АСУТП**

Метрологічна атестація (МА) систем – дослідження, спрямоване на визначення дійсних МХ цього екземпляра або типу системи в реальних умовах експлуатації складання документу, який засвідчує МХ, визначені в процесі МА.

Відповідно до засадничих рекомендацій підприємство, що експлуатує систему, зобов'язане представити організації, МА, що проводить, відомості про експлуатаційні властивості систем, які повинні враховуватися при організації досліджень МХ конкретних ВК. Найбільш істотними з них є:

характеристики перешкод, що діють на окремі агреговані засоби вимірювання (ЗВ), що входять систему, і способи захисту від них; номенклатура зовнішніх величин що впливають;



наявність штатних (вбудованих в систему) засобів повірки та контролю окремих ВК;

можливості проведення повірки і контролю окремих ВК;

можливості проведення повірки окремих каналів системи перед початком і під час експлуатації;

можливості автоматичного введення поправок на систематичну складову похибки при експлуатації системи; можливість поблочної повірки агрегатних ЗВ.

Дослідженню або метрологічній атестації передують розробка програми МА, яка, як правило, складається з наступних розділів:

мети і задачі МА АСУТП;

вимоги до формування ІК, що підлягають МА;

вимоги до зразковим і допоміжним МІ;

вимоги до технічної документації і експериментальних досліджень ГИК;

методика проведення МА;

порядок організації і розподіл робіт.

Основним результатом, який має бути отриманий в процесі МА, є встановлення реальних МХ, що нормуються і визначуваних для каналу в цілому. Їх можна встановлювати на основі експерименту, а також шляхом розрахунку по МХ агрегатованих ЗВ, що входять в систему.

Одним з найбільш серйозних етапів при проведенні атестації є аналіз наявної на систему технічної документації. Окрім звичайної процедури метрологічної експертизи, необхідно встановити тривалість міжперевірочних інтервалів, міру зручності використання і повноту для споживача експлуатаційної документації, звернувши особливу увагу на можливість МОЗ системи органами відомчої метрологічної служби.

У процесі експериментального дослідження системи вирішуються основні задачі МА. Крім забезпечення поетапного виконання основних вимірювальних процедур, передбачених методиками виконання вимірювань, атестованими заздалегідь відомчої або державної метрологічної службою, необхідно також звернути увагу на:

визначення раціонального обсягу вибірок;

визначення оптимального, в крайньому випадку – мінімальної кількості за діапазоном проведених вимірювань, а також способів апроксимації результатів вимірювань встановлення кількості спостережень в досліджуваних точках діапазону вимірювання ІК;

встановлення вимог до режиму вимірювань і їх послідовності в часі;

встановлення вихідних даних і умов для визначення показників точності ВК;

визначення виду уявлення похибок і способів обробки результатів вимірювань.

Завершивши експеримент, можна провести аналіз МЗ системи за результатами МА, звернувши увагу на експлуатаційну та метрологічну



сумісність агрегованих засобів вимірювання, що входять в систему.

За результатами МА розробляється методика періодичної повірки та вирішуються питання метрологічного нагляду за конкретними вимірвальними каналами (ВК). Методика повинна відповідати ДСТУ. Організація метрологічного нагляду передбачає наступне:

ВК АСУТП, вимірвальна інформація від яких використовується для визначення найважливіших технічних, техніко-економічних показників об'єкту, а також для регулювання параметрів, які визначають якість продукції, що випускається, або оптимальні режими роботи устаткування, повинні проходити державну перевірку.

ВК, які встановлюють факт змін фізичної величини без кількісної оцінки цієї зміни і вважається несуттєвий або такими, що мають низьку точність, може є віднесений до індикаторних. Перевірка таких каналів не проводиться, а їх перелік повинен узгоджуватися з метрологічним органом Держстандарту, а МА, що проведена, затверджуватися головним метрологом підприємства, що експлуатує систему.

ВК, що входять до складу багатоканальних АСУТП і такі, що не відповідають описаним вище, проходять, як правило, відомчу перевірку. Метрологічні дослідження бажано проводити поканально або на представницьких вибірках каналів із обов'язковим урахуванням впливають величин. Досліджувана система повинна мати безперервне напрацювання до початку метрологічної атестації не менше 6 міс, проте технічною документацією можуть бути передбачені й інші терміни напрацювання системи.

### **Контрольні питання**

1. Основні ознаки сучасних АСУТП з точки зору метрологічного забезпечення.
2. Канали АСУТП і оцінка їх метрологічних характеристик.
3. Загальні принципи організації робіт з метрологічного забезпечення АСУТП.
4. Три складові частини метрологічного забезпечення АСУТП.
5. Найбільш суттєві відомості про експлуатаційні властивості систем для розробки програми метрологічної атестації.
6. Які особливості конкретних АСУТП повинні бути враховані при розробці програми метрологічної атестації.
7. Які відомості про роботу системи виявляються в ході проведення експериментальних досліджень під час метрологічної атестації?



## ЛЕКЦІЯ 24. ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА АСУТП

### План

- 24.1 Загальні зауваження. Мета і засоби інформаційної безпеки АСУТП
- 24.2 Безпека периметра мережі
- 24.3 Захист робочих станцій і управління обліковими записами
- 24.4 Служба захисту та поновлення безпеки
- 24.5 Створення резервних копій та відновлення. Моніторинг безпеки та оцінка ризиків
- 24.6 Стандарти інформаційної безпеки АСУТП

### **24.1 Загальні зауваження. Мета і засоби інформаційної безпеки АСУТП**

В даний час рівень безпеки багатьом діючих систем автоматизації залишається невисоким.

Основна мета забезпечення безпеки систем автоматизації - підтримка їх в робочому стані, в першу чергу, відвертанням проникнення стороннього програмного забезпечення – вірусів і іншого шкідливого ПЗ. Ця мета може бути досягнута шляхом дотримання шести основних рекомендацій, розроблених на основі стандартів ISA/IEC/WIB.

Основна мета інформаційної безпеки (ІБ) АСУТП, - підтримувати необхідний рівень безпеки на підприємстві, а також підтримувати безперервність виробництва (порівняйте із задачею, що стоїть в області ІБ перед ІТ-підрозділами – збереження даних, що представляють комерційну цінність, від крадіжок). Основна загроза для ІБ в обох областях - проникнення шкідливого ПЗ в систему, втрата основних даних і працездатності комп'ютерів і комп'ютерних мереж.

Основні шляхи проникнення шкідливого ПЗ в систему:

- використання механізмів передачі даних, таких як файлообмінники, а також FTP;
- використання вразливостей в мережевому ПЗ, що дозволяють шкідливому коду проникати в систему;
- автоматичне копіювання файлів з USB- накопичувачів, DVD, мобільних телефонів і так далі в систему.

Захиститися від цієї загрози можна, виконавши 6 основних рекомендацій. Вони сформульовані на основі стандартів NIST, ISA, а також стандартів промислової ІБ, які зараз знаходяться в процесі інтеграції в єдиний міжнародний стандарт IEC 62443. Вони описують не лише механізми безпеки, призначені для систем управління, але і вимоги до постачальників таких систем. Вже існують системи сертифікації для постачальників систем ІБ для АСУТП.

Перед початком реалізації цих рекомендацій слід реалізувати базові політики безпеки (аналогічні використовуваним в ІТ-службах), які



мають бути погоджені з кожною з 6 рекомендацій, описаних нижче, і бути спрямовані на те, щоб зберігати від шкідливого ПЗ ваші системи управління технологічними процесами.

Інформаційна безпека не може бути досягнута шляхом простого придбання системи управління з потрібними функціями безпеки. Безпека – це навіть не стільки технологія, скільки процес. Усі дії мають бути спрямовані на протидію не лише загрози шкідливого ПЗ але і іншим потенційним атакам на системи управління.

Нижченаведені рекомендації необхідно реалізовувати послідовно, в еволюційній манері, і досягати послідовного поліпшення ІБ протягом часу. Процес еволюції ІБ визначено в моделі зрілості, що міститься в стандарті ІЕС.

## 24.2 Безпека периметра мережі

У першу чергу необхідно реалізувати безпеку периметра комп'ютерної мережі з метою для контролю тих точок, де стороннє ПЗ може проникнути в систему автоматизації виробництва. Як видно з рис. 24.1, в типовій системі управління корпоративні мережі знаходяться в моделі Пердю на рівнях 3 і вище, тоді як мережі систем управління і польові шини - на рівнях 2 і нижче.



Рисунок 24.1 – Архітектура систем управління підприємством у відповідності з моделлю Пердю

Фаєрволи<sup>1</sup> використовуються для внутрішньої сегментації системи

<sup>1</sup> Брандмауер (Brandmauer) або Фаєрвол (Firewall) – це комп'ютерна програма, метою якої є захист комп'ютера від вірусів і хакерських атак. Брандмауер відстежує мережевий трафік, що надходить в



управління і її ізоляції від рівня 3 і інших зовнішніх мереж. Необхідно переконається в тому, що увесь вихідний трафік системи управління, що входить/, зашифрований, і проходить як мінімум через один файрвол.

У рамках системи управління, файрволи необхідно використати для того, що щоб захищати контролери, мережі безпроводних пристроїв і мережі безпеки від робочих станцій рівня 2. Крім того, повинні використовуватися маршрутизатори з портами, що блокуються, для відвертання доступу неавторизованих пристроїв до системи управління. Ці файрволи і маршрутизатори, в комбінації з файрволами рівнів 2 і 3, створюють багатосаровий периметр мережі, з найменшим рівнем довіри присвоєним рівню 3 і найбільшим – рівню 1.

Менш критичні до безпеки і доступності компоненти, такі як сховища історичних даних, повинні встановлюватися на верхніх рівнях ієрархії, з меншим захистом, проте, відповідно і з більше легкий доступ - так, що персонал зміг вільно дістає доступ до необхідний дані і вносить зміна при необхідності.

Як тільки файрволи і комутатори будуть встановлені, починається їх підтримка, яка повинна тривати упродовж усього життєвого циклу, щоб запобігти деградації ефективності. Правила файрволів повинні постійно оновлюватися, для відображення змін в ІТ і системах управління, а також для захисту від можливих нових загроз. Невживані порти повинні постійно перевірятися на предмет того, що вони, як і раніше, заблоковані.

### **24.3 Захист робочих станцій и управління обліковими записами**

Наступний крок передбачає захист робочих станцій системи управління, з тим, щоб утруднити їх зараження шкідливим ПЗ. Для цього є п'ять основних дій.

1. Треба застосувати спеціальний шаблон від Center for Internet Security (CIS) для надання політик на робочій станції.

2. Робочим станціям мають бути призначені операторські або інженерні функції, це означає, що усі застосування, послуги і порти, які не потрібні для їх підтримки, мають бути видалені або деактивовані. Це робиться для того, щоб їх уразливості (відомі і невідомі) не можна було використати.

3. Повинно бути встановлено антивірусне ПЗ для виявлення і видалення шкідливого ПЗ, ще до того, як воно може заразити робочу станцію. Вірусні бази даних завжди треба підтримувати в найактуальнішому стані.

---

операційну систему, та допомагає зупинити шкідливі програми, які намагаються отримати доступ до особистої інформації користувача.



4. Система має бути конфігурована так, щоб доступ до важливих файлів був тільки у авторизованих користувачів. На жаль, частенько, за умовчанням усі користувачі користуються правами адміністратора на робочій станції. Користувачі мають бути ретельно проаналізовані, і кожному має бути наданий доступ тільки до тих файлів / директоріям, які йому потрібні для роботи.

5. USB- порти, DVD- приводи мають бути заблоковані, за винятком тих моментів, коли вони використовуються у виробничих цілях. Користувачам потрібно постійно нагадувати, що переносні засоби зберігання інформації – один з найбільш поширених способів зараження систем. Нібито «втрачена» десь на парковці чи у крамниці флешка - один з багатьох сценаріїв підкидання зараженого носія співробітникові компанії, в надії, що той підбере її, і захоче перевірити вміст на робочому комп'ютері.

6. Регулярне перезавантаження робочої станції для захисту від вірусів, які резидентно мешкають в оперативній пам'яті. Деякі з досить витончених і ефективних кібератак були здійснені за допомогою саме такого ПЗ, яке об'єктивно складно виявити. Робочі станції, що стають метою таких атак, зазвичай працюють в режимі 24 / 7. Перезавантаження цих робочих станцій, коли дозволяє обстановка, дозволить усунути цей тип шкідливого ПЗ.

#### **24.4 Служба захисту та поновлення безпеки**

*Служба захисту.* Користувачі повинні отримувати тільки ті права, які їм потрібні; їх паролі повинні бути досить довгими і включати 3 з 4 наступних елементів: символи в верхньому регістрі, нижньому, цифри, спеціальні символи. Обмежений набір прав зменшить можливості чужорідного ПЗ інфікувати призначену для користувача програму, бо використання прав цього користувача для здійснення шкідливих дій – дуже звичайна техніка для такого роду атак.

Використання складних паролів значно ускладнює процес їх вгадування для хакерів. Крім того, повинні бути налаштовані політики регулярного старіння паролів, а старі паролі, в усякому разі, три останніх, не повинні допускатися системою для використання в якості чергового. Захист паролів не тільки захищає системи від зараження шкідливим ПЗ, але і не дає хакерам входити в систему під чужим ім'ям.

Якщо шкідливе ПЗ діє в будь-якій програмі користувача, і у нього виходить отримати доступ до паролю адміністратора, це ПЗ зможе розширити права даної програми, або запустити іншу програму від імені адміністратора. Ці техніки широко використовуються шкідливим ПЗ для розширення своїх прав.

*Своєчасне оновлення всіх оновлень безпеки і для ОС, і для системи управління.* Ці оновлення усувають уразливості, які можуть



бути використані шкідливим ПЗ. В Інтернеті можна знайти безкоштовні інструменти, які допоможуть хакерам перевірити робочу станцію на предмет вразливостей, виявити їх і заразити робочу станцію, отримавши доступ до оболонки cmd.exe. Як варіант, інструмент може просто дозволити завантажити виконуваний код на робочу станцію і запустити його. Звичайно, оновлення не повинні переривати роботу основного ПЗ робочої станції. Сертифіковані постачальники обов'язково перевіряють роботу всіх оновлень безпеки на своїх системах.

#### **24.5 Створення резервних копій та відновлення. Моніторинг безпеки та оцінка ризиків**

*Розробка і реалізація плану резервного копіювання та відновлення.* Ефективний план дозволить відновити дані і ПЗ інфікованої системи до неінфікованої стану. Від сертифікованих виробників потрібно мати стратегію копіювання і відновлення, яка дає чіткі рекомендації, коли і як відновлювати систему до стабільного стану, навіть якщо немає ознак зараження. Це дуже важливо, так як шкідливе ПЗ часто «ховається» від виявлення і може перебувати в «сплячому» стані до потрібного моменту.

Ця рекомендація включає моніторинг системи на предмет підозрілих активностей і оцінку ризиків. Додатки для моніторингу безпеки перевіряють файли, копії БД та ПЗ робочих станцій, файрволів, комутаторів і інших пристроїв на предмет наявності стороннього ПЗ. Деякі застосування перевіряють мережевий трафік, використання процесора, пам'яті, на предмет наявності яких-небудь аномалій. За відсутності додатків автоматизованого моніторингу, журнали подій і мережевого трафіку необхідно перевіряти вручну, на предмет, приміром, несподіваного зростання мережевого трафіку, особливо в нетиповий час. Оцінка ризиків повинна здійснюватися під час розробки, ще до передачі системи замовникові, а також при здійсненні підтримки системи. Це дозволить переконатися, що внесені зміни не привели до послаблення захисту системи.

*Дії, які можна зробити після оцінки ризиків:* введення нових правил файрвола, блокування нових портів комутатора, ефективніші політики паролів, деінсталяція непотрібного ПЗ, ефективніші процедури управління під'єднуванням зовнішніх пристроїв, таких як USB-накопичувачі.



## 24.6 Стандарти інформаційної безпеки АСУТП

У минулому цілий ряд різних груп працювали в незалежному порядку над створенням стандартів безпеки. Тепер же ці групи працюють разом над створенням одного загального стандарту, який сильно полегшить впровадження і відповідність.

ISA запустила проєкт ISA99, Industrial Automation and Control System Security (Безпека систем промислової автоматизації і управління), 15 років тому, з тим щоб створити повноцінний набір стандартів безпеки для автоматизації виробництва. Результат роботи був поданий для стандартизації в IEC як IEC 62443.

Паралельно, International Instrument Users' Association, що називається також WIB, розробила стандарт безпеки для кращих практик виробників систем управління. Він доповнює набір ISA – 99 і також був прийнятий для стандартизації в серії ISA – 99/IEC 62443.

Також паралельно було розроблено два стандарти сертифікації безпеки для рівнів кінцевих пристроїв: ISA SecureDevice і Wurldtech's Achilles Communication Certification. Ці стандарти також інтегруються в серію ISA - 99 IEC 62443.

В цілому, галузь йде у напрямі стандарту IEC 62433. Він забезпечить дуже великий набір вимог в області промислової IT-безпеки, включаючи стандарти для організацій, систем управління, компонентів, процесів впровадження і підтримки. Існуючі програми сертифікації продовжать своє існування, проте, орієнтуватимуться на стандарти IEC 62443, а не на свої власні специфікації.

Промислова IT-безпека – це не лише програмне і апаратне забезпечення. Персонал інтегратора і експлуатаційний персонал повинні сприяти поширенню розуміння принципів безпеки усіма співробітниками, а також підтримувати безпеку системи управління на необхідному рівні.

Стандарти, що з'являються, зливаються з IEC 62443, диктують вимоги до виробників систем і компонентів управління, а також до системних інтеграторів. У контексті IEC 62443 програми безпеки проходять еволюційний процес, що дозволяє їм досягати зрілості.

Нарешті, цілий ряд виробників пройшли сертифікаційний процес, що відбиває їх вірність принципу управління безпекою систем. Використання послуг і продукт сертифікованих виробників і інтеграторів дозволяє зменшувати витрати і ризики, а також швидше забезпечувати відповідність вимогам стандартів – і на етапі впровадження, і на різних етапах життєвого циклу систем автоматизації.



## Контрольні питання

1. Основна мета інформаційної безпеки АСУТП. Засоби інформаційної безпеки.
2. Основні шляхи проникнення шкідливого ПО в систему.
3. Яким чином реалізується безпека периметра мережі?
4. Архітектура систем управління підприємством у відповідність з моделлю Пердью.
5. Для чого потрібне періодичне перевантаження робочих станцій, працюючих в режимі «24/7» ?
6. Основні дії для захисту робочих станцій від шкідливого ПО.
7. Для чого розробляється і реалізується план резервного копіювання і відновлення?
8. Які стандарти інформаційної безпеки Ви знаєте?



## ВИСНОВКИ

Сучасні АСУТП є багаторівневими ієрархічними системами управління технологічними процесами, інтегрованими в загальну автоматизовану систему управління підприємством. Успіх в розробці і подальшій експлуатації системи залежить від правильного вибору і глибини опрацювання усіх видів забезпечення, охоплення усіх інформаційних і управляючих задач, що стоять перед системою, від кваліфікації персоналу служб автоматизації.

При проектуванні АСУ ТП необхідно закладати перспективні інженерно-технічні рішення, що відповідають сучасним тенденціям в розвитку систем автоматизації, що дозволяють проводити модернізацію і розширення системи. Апаратні і програмні засоби повинні забезпечувати відкритість системи до засобів інших виробників, що випускають свою продукцію відповідно до рекомендацій міжнародних організацій, що координують роботи в області автоматизації технологічних процесів.



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобух А. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: навч. посіб. Гриф МОН України. – Х. : ХНАМГ. 2006. 185 с.
2. Мікропроцесорні засоби в автоматизованих системах керування технологічними процесами: підручник / Бабіченко А. К. та ін.; за ред. Бабіченка А. К. Харків: Вид-во ТОВ «Водний Спектр Джі-ЕМ-Пі». 2016. 440 с.
3. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів: навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 20 18. 79с.
4. Карташов В.В. Посібник з лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 149 с.
5. Dunn, William C. Fundamentals of industrial instrumentation and process control. McGraw-Hill Education, 2018. 338 p.
6. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт: підручник для студентів ВНЗ / Бубликов А.В. та ін. Дніпропетровськ : НГУ, 2012. 303 с.
7. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. – К.: Ліра К, 2020. 594 с.
8. Автоматизація виробничих процесів / Ельперін І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М., Швед С.М. Київ: Ліра К, 2021. 378 с.
9. Ian Barkin , Jochen Wirtz , Pascal Bornet. Intelligent Automation : Learn how to harness Artificial Intelligence to boost business & make our world more human. 2021. 432 с.

### *Web-ресурси*

- 1 <https://appau.org.ua>
- 2 <https://asu.in.ua/>
- 3 <https://www.uaautomation.com>
- 4 <https://www.pcspecialist.co.uk>
- 5 [optimal-ltd.co.uk/](https://optimal-ltd.co.uk/)



## Додаток А

### Історія розвитку автоматизації в промисловості

Рік	Подія
1756	Н.І. Повзунов - поплавковий регулятор рівня води в котлі парової машини
1784	Д. Уатт - відцентровий регулятор швидкості парової машини
1868	Д. Максвелл - дослідження стійкості замкнутої системи регулювання парової машини з регулятором Уатта
1878	І.А. Вишнеградський - робота «Про загальну теорію регуляторів»
Кінець XIX-початок XX століття	Індустріалізація, Світові війни. Роботи А.М. Ляпунова, А. Гурвіца, А. Стодоли, І.Є. Жуковського, Г. Найквіста.
30-і - 40-і роки XX століття	Принцип зворотного зв'язку, ПІД-регулятор, частотні методи аналізу і синтезу систем, локальні системи контролю, регулювання і управління (ЛСКРiУ)
50-і роки XX століття	Централізовані систем контролю, регулювання і управління (СЦКРiУ), розробка теорії комп'ютерного управління. м. Порт-артур (штат Техас) - АСУТП нафтоперегінним процесом з ЕОМ, працюючою в режимах «порадник оператора»
1959	
1962	Англійська компанія Imperial Chemical Industries представила концепцію безпосереднього (прямого) цифрового управління (ПЦУ або НЦУ технічній літературі, Direct Digital Control - DDC в англійській літературі).
1968	General Motors – перший PLC
1969	перша ЛВС ARPANET (США)
1986	Локальна обчислювальна мережа GACHET.
1977	Allan Bradley – ПЛК на базі мікропроцесору Intel 8080
1975	Перші інструментальні засоби для створення розподілених систем управління (DCS) компаній Honeywell (система TDC 2000) і Yokogawa (система CENTUM)
1979	Компанія Fisher & Porter представила свою систему DCI-4000, а Invensys систему SPECTRUM. Bristol Babcock надав свої універсальні контролери UCS 3000.
1980	У 1980 році компанія Bailey представила систему NETWORK 90, а компанія Alfa Laval систему SattLine.
<b>TO BE CONTINUED</b>	