



Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра автоматизації
технологічних процесів і
виробництв

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового проектування

з курсу

Проектування систем автоматизації

Тернопіль 2025

Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" /Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П., Тернопіль: ТНТУ, 2025 - 128 с.

Методичні вказівки складені згідно із робочою програмою курсу "Проектування систем автоматизації" для студентів напряму підготовки: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». В методичних вказівках наведено правила та рекомендації з розв'язання задач розроблення нових і модернізації існуючих систем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій із застосуванням сучасних програмно-технічних засобів та інформаційних технологій. Також приділено увагу вибору технічних засобів автоматизації, розробленню прикладного програмного забезпечення різного призначення. Наведено загальні вимоги до структури, обсягу курсового проекту/роботи, а також правила його оформлення.

Методичні вказівки розглянуто й затверджено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв (протокол № 11 від 21.03.2025 р.)

Методичні вказівки рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії ТНТУ, протокол № 7 від 4 квітня 2025 року.

ЗМІСТ

Зміст	3
1. Загальні положення.....	6
1.1. Мета та задачі курсового проектування	6
1.2. Вибір теми курсового проекту у випадку теми за індивідуальним завданням.....	6
1.3. Вимоги до курсового проекту.....	6
1.4. Етапи курсового проектування.....	7
1.5. Захист курсового проекту	7
1.6. Структура курсового проекту	7
1.7. Вимоги до змісту структурних елементів пояснювальної записки	8
2. Розробка функціональних схем систем автоматизації.....	11
2.1. Завдання при створенні функціональних схем автоматизації.....	11
2.2. Загальні принципи	11
2.3. Етапи розробки функціональних схем.....	12
2.4. Аналіз процесів та визначення цільових параметрів.....	13
2.5. Попередній вибір засобів реалізації проекту АС.....	13
3. Вибір типу структури системи регулювання.	14
3.1. Типові закони регулювання	14
3.2. Визначення структури об'єкту керування.....	14
3.3. Незалежне регулювання	16
3.4. Зв'язане керування.....	17
3.5. Інваріантність систем	18
3.6. Каскадні САР.....	18
3.7. Регулювання об'єктів з запізненням	21
3.8. Вибір регуляторів.....	22
4. Вибір програмованих логічних контролерів та регуляторів	24
4.1. Загальні положення.....	24
4.2. Характеристики ПЛК.....	24
4.2.1 Характеристики процесора ПЛК.....	24
4.2.2 Характеристики периферійної частини ПЛК.....	25
4.2.3. Характеристики каналів вводу і виводу контролерів.....	25
4.3. Класифікація модулів вводу-виводу ПЛК.....	26
4.4.1. Модулі аналогового вводу	26
4.4.2. Модулі аналогового виводу	26
4.4.3. Модулі дискретного вводу.....	26
4.4.4. Модулі дискретного виводу.....	26
4.4.5. Канальність модулів	27
4.4.6. Фізична реалізація модулів та комутації	27
4.4. Рівні управління ПЛК.....	27
4.5. Розташування модулів.....	27
4.6. Розширення можливостей	27
4.7. Умови експлуатації ПЛК.....	28
4.8. Комунікаційні можливості контролерів.	28
4.9. Програмування ПЛК.....	29
4.9.1. Стандарт ІЕС 61131-3.....	29
4.9.2. Мова LD	30
4.10. Питання, що висвітлюють при виборі ПЛК	31
5. Вибір вимірювальних засобів	32
5.1. Загальні положення.....	32
5.2. Інтерфейси вихідних сигналів вимірювальних приладів.....	32
5.3. Аналогові інтерфейси ПВП.....	33
5.3.1. Струмовий вихідний сигнал	33

5.3.2. Спеціальні сигнали	34
5.4. ПВП із цифровим вихідним сигналом	35
5.4.1. Дискретний вихідний сигнал	35
5.4.2. Мережі давачів та цифрові інтерфейси	35
5.4.3. ПВП з струмовою петлею (CL)	35
5.4.4. Інтерфейс з RS 232	36
Інтерфейс RS 485	36
5.5. Нормування похибки каналу виміру	37
6. Вибір виконавчих пристроїв	39
6.1. Загальні визначення	39
6.2. Класифікація виконавчих пристроїв	41
6.3. Вибір ВП	41
6.4. Обґрунтування вибору	42
7. Вибір промислових мереж та вибір засобів комунікації	43
7.1. Вибір структури інформаційної мережі	43
7.1.1. Мережева архітектура	44
7.2. Протоколи обміну інформацією	45
7.3. Огляд стандартів шини	48
7.3.1. PROFIBUS	49
7.3.2. P-NET	50
7.3.3. WorldFIP	50
7.3.4. Протокол MODBUS	50
7.3.5. Foundation - Fieldbus	51
7.3.6. INTERBUS-S	51
7.4. Порівняння характеристик поширених промислових шин	52
7.5. Мережі нижнього рівня	52
7.5.1. AS -інтерфейс	52
7.5.2. CAN - мережа	54
7.5.3. BITBUS	57
7.5.4. HART - протокол	58
7.5.5. FIP	59
7.5.6. Мережа Genius	60
7.5.7. Мережа DH+	60
7.5.8. SDS Honeywell	61
7.5.9. Інтерфейс Foundation Fieldbus та Profibus	61
7.6. Вибір промислової мережі	62
8. Проектування інформаційного забезпечення та SCADA систем	64
8.1. Схема інформаційних потоків	64
8.2. Концептуальне (інфологічне) проектування	65
8.4. Системи SCADA	67
8.5. Людино-машинний інтерфейс	69
8.6. Розробка екранних форм АС	71
8.7. Вимоги до SCADA	73
8.8. Огляд програмних комплексів SCADA	74
8.8.1. Factory Suite	75
8.8.2. Система GENESIS	76
8.8.3. Пакет Genie	77
8.8.4. TraceMode	78
8.8.5. Система управління підприємством Factory Link ECS	78
8.8.6. CODESYS	79
8.8.7. InfinityLite	80
8.9. Вибір системи SCADA	82

8.10. Програмування SCADA-системи	83
9. Проектування програмного забезпечення	85
9.1. Основні шаблони проектування програмного забезпечення та їх класифікація	85
9.2. Основні шаблони (Fundamental)	85
9.3. Породжуючі шаблони	86
9.4. Структурні шаблони	87
9.5. Поведінкові шаблони проектування	88
9.6. Шаблон стану (State) та автоматне програмування	89
Визначення інтерфейсу взаємодії між сутностями	91
10. Оцінювання результатів проектування	92
10.1. Основні положення теорії надійності	92
10.2. Особливості забезпечення надійності АС	94
10.3. Показники надійності АСК	95
10.4. Вимоги по зовнішніх впливах	95
10.4.1. Загальні вимоги	95
10.4.2. Кліматичні чинники	96
10.4.3. Біологічні чинники	97
10.4.4. Механічні впливи	97
10.5. Оцінювання проекту	98
Додаток Д1. Правила оформлення курсового проекту	101
Д1.1. Формати графічних конструкторських документів	101
Д1.2. Основні написи і порядок їх заповнення	102
Д1.3. Загальні вимоги до пояснювальної записки	103
Д1.4. Будова пояснювальної записки	103
Д1.5. Нумерація складових частин	104
Д1.6. Викладення тексту записки	104
Д1.7. Подання формул і рівнянь	105
Д1.8. Правила написання позначень і найменувань фізичних величин	106
Д1.9. Оформлення ілюстрацій	107
Д1.10. Побудова таблиць	107
Д1.11. Оформлення приміток і посилань	108
Д1.12. Оформлення додатків	109
Д1.13. Оформлення переліку посилань	109
Д1.14. Оформлення посилань:	111
Додаток 2 . Варіанти функціональних схем технологічних процесів неперервного виробництва	112
Список літератури	127

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1. Мета та задачі курсового проектування

Курсовий проект з дисципліни «Проектування систем автоматизації» - це кінцевий результат розробки нових чи модернізації існуючих виробничих систем на основі використання засобів автоматизації. Проектування виконує студент самостійно під керівництвом викладача протягом установленого терміну в одному семестрі у відповідності до технічного завдання. Проектування реалізується на основі набутих знань і вмінь.

У процесі курсового проектування розроблюється сукупність документів - пояснювальна записка, креслення, схеми, що виконуються з обов'язковим дотриманням чинних державних стандартів. Ці методичні вказівки встановлюють мету, завдання та порядок виконання курсового проекту, зміст та обсяг його окремих частин, правила оформлення текстової і графічної документації.

Мета курсового проектування:

- ◇ закріплення, поглиблення та узагальнення теоретичних знань у галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій;
- ◇ розвиток навичок практичного застосування знань в галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій;
- ◇ самостійне та колективне розв'язання конкретних фахових задач проектування;
- ◇ уміння користуватися відповідною довідковою літературою, державними стандартами;
- ◇ використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій.

1.2. Вибір теми курсового проекту у випадку теми за індивідуальним завданням

У випадку якщо студент обирає тему самостійно за індивідуальним завданням, її вибір здійснюється так, щоб забезпечити комплексне рішення автоматизації на конкретному підприємстві, із котрим буде співпрацювати студент. У такому випадку тематика курсового проекту може бути пов'язана із рішенням важливої задачі і полягати у розробці системи:

- 1) для автоматизації неперервного чи перервного технологічного процесу;
- 2) для автоматизації транспортно-завантажувальних операцій;
- 3) для контролю та діагностики технологічного обладнання;
- 4) для контролю та управління роботами чи робото-технологічними комплексами;
- 5) для вирішення задач управління інформаційними потоками;
- 6) для вирішення задач з автоматичного опрацювання та генерації нових даних чи знань;
- 7) тощо.

У такому випадку, тематика курсового проектування має бути узгоджена із темою дипломного проектування студента і зазвичай має бути сформульована наступним чином: «Автоматизація технологічного процесу виробництва [назва продукції] на базі [назва базового технологічного обладнання] на підприємстві [назва підприємства]».

У випадку коли студент обирає тему самостійно, він повідомляє викладачу про обрану тему та представляє наявні вихідні дані для проектування на протязі перших 4 тижнів навчання. У випадку коли студент не обирає тему курсового проекту самостійно він отримує тему для проектування із методичних вказівок згідно варіанту, вказаного викладачем.

1.3. Вимоги до курсового проекту

Основні вимоги до курсового проекту

- 1) одержання прогресивних технічних рішень;
- 2) володіння особливостями здійснення технологічного процесу та оптимальний вибір необхідного обладнання;
- 3) мінімізація складу елементів при забезпеченні заданої продуктивності та якості;
- 4) оптимальний вибір сучасних систем керування;

- 5) алгоритмізація та розробка керуючих програм із використанням сучасних технологій, у тому числі, за потреби, із використанням штучного інтелекту;
- б) виконання вимог чинних державних стандартів.

1.4. Етапи курсового проектування

Курсове проектування містить такі етапи:

- ◇ визначення теми і оформлення завдання на курсове проектування;
- ◇ безпосереднє виконання курсового проекту;
- ◇ оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу;
- ◇ захист курсового проекту.

Завдання на курсове проектування видається за підписом керівника, датується днем видачі та реєструється у журналі обліку роботи викладача. Для студентів заочної та дистанційної форм навчання можлива видача завдань електронною поштою та/або через «Скриньку для завдань» відповідного електронного навчального курсу (ЕНК).

Кафедра розробляє графіки консультацій - групових чи індивідуальних, які після їх затвердження поміщують на стендах кафедри та/або у відповідному ЕНК та доводять до відома студентів.

Студент не рідше одного разу у два тижні зобов'язаний інформувати керівника про виконану роботу. Керівник повинен розвивати у студентів творчі навички. Необхідно пам'ятати, що відповідальність за всі прийняті в курсовому проекті (роботі) рішення несе автор - студент. Виконаний проект підписує студент, файли головних розділів пояснювальної записки розміщає у скриньці для завдань ЕНК і після дозволу керівника він допускається до захисту.

Якщо керівник проекту не допускає студента до захисту, то це питання обговорюється на засіданні кафедри у його присутності.

1.5. Захист курсового проекту

Захист курсового проекту - це форма перевірки якості його виконання. Захист відбувається перед комісією у складі двох-трьох викладачів за участю керівника та студентів групи.

Під час захисту студент робить доповідь (тривалість 4-6 хв.) по суті проекту та відповідає на запитання. Для демонстрації графічного матеріалу застосовуються мультимедійні засоби та можуть використовуватись різні презентаційні програми. При цьому студент може використовувати додаткові ілюстративні матеріали, технічні розробки, які відображають суть проекту.

Якість проекту та його захист оцінюється за системою «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно». Студент, який не подав до захисту курсовий проект у встановлений графіком термін або не захистив його з позитивною оцінкою, вважається таким, що має академічну заборгованість, яку він повинен ліквідувати в установленому порядку.

Захищений курсовий проект зберігається на кафедрі протягом одного року.

1.6. Структура курсового проекту

Курсовий проект це сукупність технічних документів: пояснювальної записки, креслень, схем, ілюстративного матеріалу, які виконуються з обов'язковим дотриманням вимог чинних стандартів. Структура курсового проекту наступна:

- ◇ титульний аркуш;
- ◇ реферат;
- ◇ технічне завдання на виконання курсового проекту ;
- ◇ пояснювальна записка;
- ◇ графічна частина.

Для пояснювальної записки рекомендується така структура:

- ◇ зміст;
- ◇ вступ;
- ◇ 1 огляд літератури;

- ◇ 2 конструкторсько-технологічна частина;
- ◇ 3 розробка та використання програмного забезпечення;
- ◇ висновки та рекомендації;
- ◇ перелік умовних позначень (за потреби);
- ◇ перелік посилань;
- ◇ додатки.

Склад графічної частини визначає технічне завдання, і у неї можуть входити такі види креслень:

- ◇ загальний вигляд або планувальне креслення автоматизованої системи;
- ◇ креслення нестандартного обладнання, що використовується у системі;
- ◇ принципові (електричні, гідравлічні, кінематичні) схеми частин системи, що розробляються ;
- ◇ циклограми та блок-схеми роботи (за потреби);
- ◇ аналіз стійкості роботи (за потреби);
- ◇ структурні схеми, у тому числі схеми організації даних системи;
- ◇ схеми автоматизації системи;
- ◇ алгоритми роботи системи;
- ◇ екранні форми та інтерфейси користувача системи;
- ◇ тощо.

1.7. Вимоги до змісту структурних елементів пояснювальної записки

Реферат пояснювальної записки призначено для ознайомлення зі змістом курсового проекту. Він має бути стислим, але інформативним, і містити відомості, які дозволяють мати певне уявлення про проект, що розглядається. Реферат повинен містити:

- ◇ відомості про обсяг пояснювальної записки, кількість ілюстрацій, таблиць,
- ◇ додатків, літературних джерел;
- ◇ основний текст реферату;
- ◇ перелік ключових слів (словосполучень).

Текст реферату має відображати подану у пояснювальній записці інформацію у такій послідовності:

- ◇ об'єкт дослідження або розробки;
- ◇ мета роботи, методи дослідження, технічні та програмні засоби;
- ◇ основні конструктивні, технологічні та інші характеристики та показники;
- ◇ результати та їх новизна, значущість роботи та висновки;
- ◇ рекомендації щодо використання результатів роботи, галузь застосування та ступінь впровадження;
- ◇ прогностичні припущення про розвиток об'єкта дослідження або розробки.

Реферат виконують на одній сторінці пояснювальної записки. Перелік ключових слів (словосполучень), що є визначальними для розкриття суті курсового проекту, наводять після основного тексту реферату. Цей перелік повинен містити від 5 до 15 слів (словосполучень), надрукованих великими літерами в називному відмінку через кому.

Зміст пояснювальної записки розміщують безпосередньо після реферату, починаючи з нової сторінки.

До змісту включають заголовки структурних елементів пояснювальної записки: вступ, реферат, послідовно назви (заголовки) усіх розділів, підрозділів; висновки та рекомендації; перелік умовних позначень; перелік посилань; назви додатків. Справа наводять номери сторінок, з яких починається зазначений матеріал.

Вступ – важлива складова пояснювальної записки. Він орієнтує на подальше розкриття теми проекту і містить усі необхідні її кваліфікаційні характеристики. Вступ повинен мати обсяг 2-3 сторінки і починається з нового аркуша.

У вступі відображаються:

- ◇ актуальність, наукове та практичне значення обраної теми проекту;
- ◇ мета та завдання курсового проектування;

- ◇ об'єкт та предмет розгляду;
- ◇ посилання на відповідні нормативні документи;
- ◇ положення, які виносяться на захист.

Основна частина пояснювальної записки складається з трьох розділів.

Перший розділ вміщує аналіз структур сучасних вирішень автоматизації технологічних процесів у розглядуваній галузі та їх системну класифікацію.

Другий розділ має висвітлити наступні питання:

1) Характеристика виробу та його призначення:

- ◇ аналіз умов роботи виробу, матеріалу та його властивостей;
- ◇ аналіз конструктивних особливостей виробу та технологічних особливостей його виготовлення;
- ◇ аналіз технічних умов на виготовлення виробу.

2) Розробка технологічного процесу виготовлення виробу:

- ◇ вибір методу одержання вихідного напівфабрикату та техніко-економічні розрахунки при його виборі;
- ◇ вибір методу, виду обробки та обладнання для забезпечення заданої якості, точності, продуктивності і обсягу виробництва в умовах автоматизації;
- ◇ визначення оптимальної структури технологічних операцій;
- ◇ вибір оснастки та обладнання для реалізації технологічних операцій та вимірювання і контролю.

3) Проектування та розрахунок оснастки для забезпечення процесу виготовлення виробу в умовах автоматизованого виробництва.

4) Технічне нормування розробленого технологічного процесу автоматизованого виробництва.

5) Техніко-економічне обґрунтування та вибір варіанту компоновання проекрованої автоматизованої виробничої системи.

- ◇ вибір варіантів компоновання автоматизованої виробничої системи;
- ◇ розрахунок продуктивності варіантів автоматизованих виробничих систем і їх оцінка з позицій теорії надійності;
- ◇ укрупнений розрахунок капітальних затрат по варіантах компоновання;
- ◇ вибір оптимального компоновального рішення автоматизованої виробничої системи;
- ◇ розробка структури, компоувальної схеми, циклограми та алгоритму роботи автоматизованої виробничої системи.

6) Аналіз вихідних даних на проектування, базового варіанту виробничої системи, результатів розробки технології автоматизованого виробництва і розробка технічного завдання на проектування.

7) Підбір серійного обладнання, уточнення компоновання автоматизованої виробничої системи та розрахунок її технічних характеристик на основі паспортних даних серійного обладнання.

8) Обґрунтування необхідності проектування, вимог і технічних показників нестандартного обладнання, що входить в автоматизовану виробничу систему.

9) Вибір, розрахунок та опис принципових структурних кінематичних та (або) гідравлічних (пневматичних) схем одиниць нестандартного обладнання.

10) Проектування та розрахунок приводів, вузлів та деталей окремих одиниць обладнання:

- ◇ методика розрахунку;
- ◇ вибір конструктивної схеми;
- ◇ визначення вихідних даних для розрахунку;
- ◇ результати розрахунку;
- ◇ аналіз результатів розрахунку і прийняття основних конструктивних параметрів проектованого обладнання;

- ◇ розробка складальних креслень та загальних виглядів проєктованих одиниць обладнання.

11) Обґрунтування та вибір типу схеми керування автоматизованою виробничою системою.

12) Розробка функціональної та електричної принципової схем системи керування, розробка печатних плат функціональних вузлів (модулів) системи, розробка складальних креслень плат системи керування автоматизованою виробничою системою.

13) Розробка принципів електричних схем спражень (інтерфейсів) системи керування з технологічним обладнанням, розробка печатних плат і складальних креслень схем спражень.

14) Розробка схем електричних з'єднань системи керування і автоматизованої виробничої системи в цілому.

15) Розробка загального вигляду системи керування.

16) Розробка загального вигляду автоматизованої виробничої системи.

У **третьому** розділі подається інформація у наступному порядку:

1) Розробка програм для проведення проєктувальних розрахунків з використанням ПЕОМ:

- ◇ алгоритм розрахунку;
- ◇ структура програмного забезпечення;
- ◇ вихідні дані для обчислень і ідентифікація змінних;
- ◇ порядок використання програми.

2) Розробка керуючих програм для систем програмного керування:

- ◇ алгоритм керуючої програми;
- ◇ структура керуючої програми;
- ◇ інструкція по вводу і запуску керуючої програми.

За результатами виконання курсового проєкту (роботи) студент має зробити висновки та дати рекомендації. Ця частина записки є завершальною, зумовленою логікою виконаного курсового проєктування, і своєрідним синтезом накопиченої в основній частині пояснювальної записки технічної інформації.

Усі прийняті у пояснювальній записці мало поширені умовні позначення, символи, одиниці, скорочення та терміни пояснюють у відповідному переліку, який розпочинається з нової сторінки перед списком посилань. У переліку посилань наводять усі використані під час курсового проєктування літературні джерела.

У додатках наводять, як правило, технологічну документацію, технічне завдання на проєктування, специфікації та переліки елементів, файли програм, результати комп'ютерних розрахунків, інструкції, методики, акти впровадження результатів курсового проєктування та інші матеріали. Додатки оформляють як продовження основної частини пояснювальної записки і розміщують у порядку згадування в основному тексті.

Пояснювальну записку оформляють в одному примірнику у зброшурованому вигляді із щільно скріпленими листами.

2. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Завдання при створенні функціональних схем автоматизації

При розробці функціональних схем автоматизації технологічних процесів вирішуються наступні задачі:

- ◇ отримання первинної інформації про стан технологічного процесу та обладнання;
- ◇ безпосередній вплив на технологічний процес для керування ним;
- ◇ стабілізація технологічних параметрів процесу;
- ◇ контроль та реєстрація технологічних параметрів процесів і стану технологічного обладнання.

Зазначені завдання вирішуються на підставі аналізу умов роботи технологічного обладнання, виявлених законів і критеріїв керування об'єктом, а також вимог, що ставляться до точності стабілізації, контролю та реєстрації технологічних параметрів, до якості регулювання та надійності.

Функціональні завдання автоматизації, як правило, реалізуються за допомогою технічних засобів, що включають в себе: відбірні пристрої, засоби отримання первинної інформації, засоби перетворення і переробки інформації, засоби представлення та видачі інформації обслуговуючому персоналу, комбіновані, комплектні і допоміжні пристрої. Результатом складання функціональних схем є:

- 1) вибір методів вимірювання технологічних параметрів;
- 2) вибір основних технічних засобів автоматизації, що якнайповніше відповідають поставленим вимогам та умовам роботи об'єкту автоматизації;
- 3) визначення приводів виконавчих механізмів регулювальних та запірних органів технологічного обладнання, що керується автоматично або дистанційно;
- 4) розташування засобів автоматизації на щитах, пультах, технологічному обладнанні й трубопроводах та визначення способів подачі інформації про стан технологічного процесу та обладнання.

Під час розробки функціональної схеми визначають:

- 1) доцільний рівень автоматизації технологічного процесу;
- 2) принципи організації контролю та управління технологічним процесом;
- 3) технологічне обладнання, кероване автоматично, дистанційно або в обох режимах за завданням оператора;
- 4) перелік та значення контрольованих та регульованих параметрів;
- 5) методи контролю, закони регулювання та управління;
- 6) рівень автоматичних захистів та блокування автономних схем управління технологічними агрегатами;
- 7) комплект технічних засобів автоматизації, вид енергії передачі інформації;
- 8) місця розміщення апаратури на технологічному обладнанні, на щитах та пультах управління.

Основні труднощі розробки:

- 1 під час розробки системи регулювання розглядають модель замість реального об'єкта,
- 2 необхідність урахування взаємозв'язку властивостей засобів управління (наприклад, регуляторів) із властивостями моделі;
- 3 відсутність інформації про характеристики збурюючих впливів (в основному).

2.2. Загальні принципи

Сучасний розвиток усіх галузей промисловості характеризується великою різноманітністю технологічних процесів, що мають місце в них. Практично не є обмеженими і умови їх функціонування та вимоги з керування та автоматизації. Однак, базуючись на досвіді проектування систем керування та автоматизації, можна сформулювати деякі загальні принципи, якими слід керуватися при розробці функціональних схем автоматизації:

- 1) Рівень автоматизації технологічного процесу в кожен період часу повинен визначатися не тільки доцільністю впровадження певного комплексу технічних засобів і

досягнутим рівнем науково-технічних розробок, а й перспективою модернізації і розвитку технологічних процесів. Повинна зберігатися можливість нарощування функцій керування.

2) При розробці функціональних та інших видів схем автоматизації та виборі технічних засобів слід враховувати:

- ◇ вид і характер технологічного процесу, умови пожежної безпеки, агресивність і токсичність стосовно до навколишнього середовища тощо;
- ◇ параметри та фізико-хімічні властивості вимірюваного середовища;
- ◇ відстань від місць встановлення датчиків, допоміжних пристроїв, виконавчих механізмів, приводів машин і запірних органів до пунктів керування і контролю;
- ◇ необхідну точність і швидкодію засобів автоматизації.

3) Система автоматизації технологічних процесів повинна будуватися, як правило, на базі засобів автоматизації та обчислювальної техніки, що випускаються серійно. Необхідно прагнути до застосування однотипних засобів автоматизації і переважно уніфікованих систем, які характеризуються простотою поєднання, взаємозамінністю і зручністю компонування на щитах керування. Використання однотипної апаратури дає значні переваги при монтажі, наладці, експлуатації, забезпеченні запасними частинами тощо.

4) Як локальні засоби збору та накопичення первинної інформації, вторинні прилади, регулювальні та виконавчі пристрої слід використовувати переважно прилади та засоби автоматизації Державної системи промислових приладів (ДСП).

5) У випадках, коли функціональні схеми автоматизації не можуть бути реалізовані на базі лише серійної апаратури, в процесі проектування видаються відповідні технічні завдання на розробку нових засобів автоматизації.

6) вибір засобів автоматизації, що використовують допоміжну енергію (електричну, пневматичну і гідравлічну), визначається умовами пожежної безпеки та вибухонебезпечності об'єкту автоматизації, агресивності навколишнього середовища, вимогами до швидкодії, дальності передачі сигналів інформації та керування тощо.

7) кількість приладів, апаратури управління і сигналізації, яка встановлюється на оперативних щитах і пультах, має бути обмежена. Надлишок апаратури ускладнює експлуатацію, відволікає увагу обслуговуючого персоналу від спостереження за основними приладами, що визначають перебіг технологічного процесу, збільшує вартість устаткування і терміни монтажних та налагоджувальних робіт. Прилади й засоби автоматизації допоміжного призначення доцільніше розміщувати на окремих щитах, розташованих у виробничих приміщеннях поблизу технологічного обладнання.

Перераховані принципи є загальними, але не вичерпними для всіх випадків, які можуть зустрітися в практиці проектування систем автоматизації технологічних процесів. Однак для кожного конкретного випадку їх слід мати на увазі при розробці технічного завдання на автоматизацію об'єкта проектування.

2.3. Етапи розробки функціональних схем

Наближений типовий план роботи із складання функціональних схем є наступним:

1 Аналіз процесів (наприклад: технологічних процесів), що відбуваються у устаткуванні, котрий потрібно автоматизувати.

2 Визначення цільового параметру $W()$ системи котрий необхідно підтримувати оптимальним та меж його зміни.

3 Розробка математичної моделі системи та ідентифікація її параметрів.

4 Виділення робочих параметрів системи Y_i ($i=1..N$), котрі необхідно підтримувати чи регулювати для отримання потрібного значення цільового параметру $W()$. Також можна здійснити виділення основних збуджуючих факторів, що впливають на систему. Наприклад, для отримання заданої продуктивності і якості продукції температура має знаходитись у межах $50-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, тиск у межах $1.2 - 1.5\text{ атм}$, тощо.

5 Виявлення керуючих впливів X_k ($k=1..M$) завдяки котрим можна регулювати робочі параметри системи Y_i . Зазвичай прагнуть зробити так щоб керуючий вплив X_k впливав лише на один робочий параметр Y_i . (Принцип незалежного регулювання.)

6 Вибір типу структури системи регулювання. Попереднє створення контурів керування.

7 Вибір каналів регулювання, оцінка незалежності регулювання (інваріантності по каналам).

8 Вибір типу регулятора, закону регулювання,

9 Вибір давачів для контролю обраних робочих параметрів системи Y_i та контрольних параметрів C_i .

10 Вибір регулюючих органів для створення керуючих впливів.

11 Вибір обладнання, що здійснює регулювання: промислових контролерів, регуляторів.

12 Вибір варіанта розміщення елементів системи.

Зрозуміло, що цей план не є єдиним можливим варіантом і не покриває усіх можливих варіантів, проте він може стати наближенням до практичної розробки системи.

2.4. Аналіз процесів та визначення цільових параметрів

На етапі аналізу процесів та визначення цільових параметрів уточнюються статичні та динамічні властивості технологічного об'єкта, складається його математична модель у вигляді диференціальних рівнянь, що описують статичні та динамічні властивості технологічного об'єкта по різних каналах проходження збурюючих та керуючих впливів.

Аналіз процесів та визначення цільових параметрів слід проводити у тісній співпраці із технологами та замовниками системи. Зазвичай представники замовника краще всіх володіють інформацією про основні технологічні параметри системи, котрі необхідно підтримувати у заданих межах, межі їх зміни, а також основні цільові параметри, що необхідно досягнути.

Якщо математичний опис технологічного об'єкта невідомий, можна скористатися часовими або частотними характеристиками, отриманими експериментально на аналогічному технологічному об'єкті. Як виключення (наприклад, у рамках курсового проектування), аналіз можна проводити самостійно, розглянувши та проаналізувавши аналогічні за призначенням чи типові системи керування та регулювання, котрі відносяться до цієї ж чи аналогічної галузі виробництва.

2.5. Попередній вибір засобів реалізації проекту АС

Завданням вибору засобів реалізації проекту АС є аналіз варіантів, вибір компонентів АС та аналіз їх сумісності. Конкретні типи засобів автоматизації вибирають з урахуванням особливостей технологічного процесу та його параметрів.

В першу чергу беруть до уваги такі фактори, як пожежа та вибухонебезпечність, агресивність та токсичність середовища, кількість параметрів, що беруть участь в управлінні, та їх фізико-хімічні властивості, дальність передачі сигналів інформації та управління, необхідні точність та швидкодія. Ці фактори визначають вибір методів вимірювання технологічних параметрів, необхідні функціональні можливості регуляторів та приладів (закони регулювання, показ, запис тощо), діапазони вимірювання, класи точності, вид дистанційної передачі і т.д.

Конкретні прилади та засоби автоматизації слід підбирати за довідковою літературою, виходячи з таких міркувань:

- ◇ для контролю та регулювання однакових параметрів технологічного процесу необхідно застосовувати однотипні засоби автоматизації, що випускаються серійно. При цьому потрібно віддавати перевагу приладам та засобам автоматизації відомих виробників;
- ◇ при великій кількості однакових параметрів рекомендується застосовувати багатоточкові прилади;
- ◇ клас точності приладів має відповідати технологічним вимогам;
- ◇ для автоматизації технологічних апаратів з агресивними середовищами необхідно передбачати встановлення спеціальних приладів, а у разі застосування приладів у нормальному виконанні потрібно захищати їх.

3. ВИБІР ТИПУ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ.

3.1. Типові закони регулювання

У ПІД-алгоритмах найчастіше використовуються П- ПІ- ПІД- закони регулювання.

Передатна функція П - закону регулювання: $W_P(s) = K_1$.

Модуль, що реалізує цей тип алгоритму, створює керуючий сигнал пропорційний величині помилки (що більше помилка E , тим більше сигнал Y).

Цей закон є найбільш простим. Однак, якщо коефіцієнт підсилення П- закону K_1 є невеликим, а це найчастіше спостерігається в системах із запізненням, то такий регулятор не забезпечує високої точності регулювання, із за великої величини статичної помилки.

Якщо $K_1 > 10$, то П - алгоритм прийнятний, а якщо $K_1 < 10$, рекомендується перейти до закону з інтегральною складовою.

ПІ - закон це пропорційно-інтегральний закон. Він є поєднанням П- та І- складових.

Передатна функція ПІ- закону регулювання:

$$W_{PI}(s) = K_1 + K_2 / s.$$

Він є найпоширенішим на практиці законом регулювання і має наступні переваги:

- 1) забезпечує нульову статичну помилку регулювання;
- 2) досить простий у налаштуванні, так як налаштовуються лише два параметри (коефіцієнт посилення K_1 та постійна часу інтегрування $T_i = 1/K_2$). За таким законом управління є можливість оптимізації величини відношення $K_1/T_i > \min$, що забезпечує управління з мінімально можливою середньоквадратичною помилкою регулювання;
- 3) має малу чутливість до шумів у каналі вимірювання (на відміну, наприклад, від ПД- типу).

ПІД- закон регулювання — це пропорційно-інтегрально-диференціальний закон.

Передатна функція ПІД- закону регулювання:

$$W_{PID}(s) = K_1 + K_2/s + K_3 s.$$

Цей алгоритм використовується досить часто, оскільки він поєднує в собі переваги всіх трьох типів. Однак слід враховувати те, що ці переваги реалізуються тільки при оптимальних налаштуваннях, коли налаштовуються всі три параметри K_1 K_2 і K_3 .

Зі збільшенням запізнення в САР різко зростають негативні фазові зрушення, що знижує ефект дії диференціальної складової алгоритму.

Крім цього, наявність шумів у каналі вимірювання в системі з ПІД-регулятором призводить іноді до значних випадкових коливань керуючого сигналу регулятора, що збільшує дисперсію помилки регулювання та знос виконавчого механізму.

Тому загальні рекомендації такі: для об'єктів регулювання відносно малим рівнем шумів і величиною запізнення $\tau > 0,2T$ слід вибирати ПІД- алгоритм. Для таких об'єктів ПІД- алгоритми дозволяють забезпечити задовільну якість регулювання, досить малий час виходу на режим і невисоку чутливість до зовнішніх збурень.

Однак слід брати до уваги те, що при неточному завданні коефіцієнтів налаштування ПІД-алгоритм може давати гірші показники, ніж двопозиційний релейний регулятор і навіть перевести об'єкт управління в режим автоколивань.

Для типових модулів (програм ПЛК). реалізують П-, ПІ-, ПІД-алгоритми, відомі найпростіші аналітичні та табличні методи налаштування.

3.2. Визначення структури об'єкту керування

Вибір структури системи регулювання слід почати із розбиття об'єкту регулювання за диференціальними рівняннями або графічними характеристиками (часовими або частотними) на елементарні ланки, що мають один вхід та один вихід.

У багатьох випадках об'єкт регулювання є багатовимірним, на котрий можна впливати за різними каналами і котрий має кілька вихідних параметрів, що необхідно підтримувати у заданих межах. Під багатозв'язними об'єктами розуміють об'єкти з кількома входами та виходами, що взаємно пов'язані між собою. Однак типовий регулятор має всього один вхід і вихід, тому виникає питання вибору структури системи регулювання, котра дозволить обробляти кілька входів і виходів.

Часто між регульованими (керованими) величинами існують взаємні зв'язки, зумовлені наявністю загальних вхідних впливів, зміна кожного з яких призводить до зміни не однієї, а кількох вихідних величин. Такі зв'язки називають часто перехресними.

Приклад багатозв'язного об'єкта показаний на рис. 1. Витрата газу на виході апарата, тиск у якому підтримується постійним за допомогою регулятора тиску, регулюється регулятором витрати. Збурюючі впливи в системі регулювання витрати газу, що призводять до його збільшення або зменшення, впливають на тиск. Аналогічно збурюючі впливи, в контурі тиску можуть впливати на роботу контуру регулювання витрати газу: при зменшенні тиску витрата газу буде прагнути зменшитися, а при збільшенні - збільшиться.

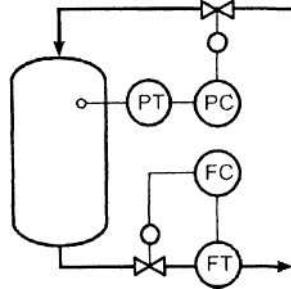


Рис. 1. Приклад регулювання об'єкта із взаємо пов'язаними параметрами

Розглянемо приклад технологічного об'єкта, у якому потрібно підтримати на заданому рівні два параметри (y_1 та y_2). Для управління використовують два керуючі впливи (x_1 та x_2). В процесі роботи на об'єкт, також надходять зовнішні збурюючі впливи, (d_1 і d_2). Алгоритмічна структурна схема, зображена на рис. 2 складається з ланок трьох видів: ланки з одним вхідним і одним вихідним сигналом [ланки 1 та 2 з передавальними функціями $W_1(s)$ та $W_2(s)$]; ланки з двома або кількома вхідними сигналами та одним вихідним(3); ланки з двома або кількома вхідними сигналами та кількома вихідними сигналами (ланка 4). При цьому вхідні сигнали впливають на значення кількох вихідних. Ланки з кількома вхідними та вихідними сигналами мають кілька каналів проходження сигналів з різними передавальними функціями.

Для створення однозначної і більш простої схеми ланки з кількома входами та виходами замінюють більш простими з одним входом та виходом виділяючи передавальну функцію з кожного входу на вихід окремо, а на виходах відповідних блоків ставлять суматори.

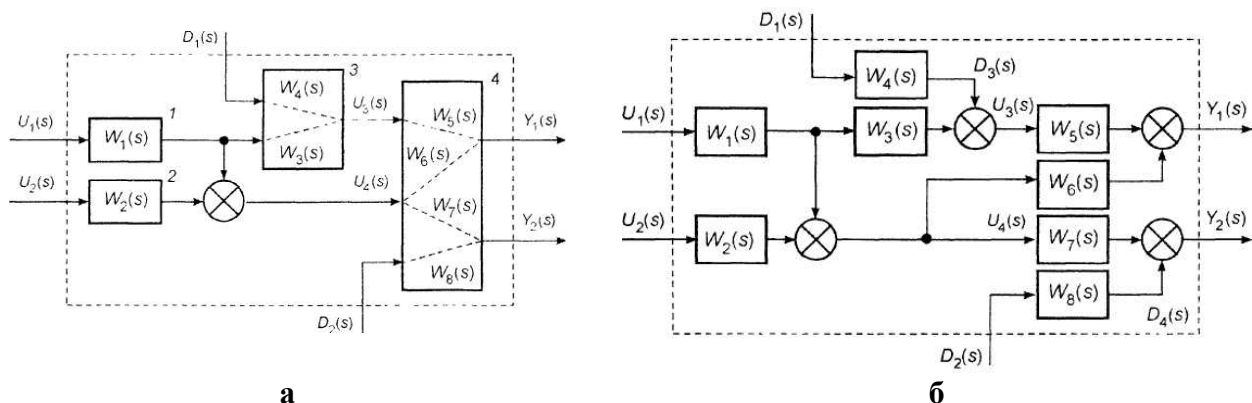


Рис. 2 Приклад початкової структури об'єкта регулювання (а) та її представлення у вигляді типових динамічних ланок (б)

Для управління багатозв'язними об'єктами використовують багатоконтурні системи регулювання, що представляють сукупність множини контурів регулювання, об'єднаних, по крайній мірі, перехресними зв'язками об'єкта керування.

Існує два різних підходи до керування багатозв'язними об'єктами:

1 Незалежне керування - кожний контур вважається таким, що працює незалежно від інших, а впливом одного контуру на інший нехтують, вважаючи його малим. У випадку коли вплив не є малим через взаємодію контурів, керуючий вплив одного контуру стає

збурюючим впливом для інших, що може призвести до автоколивань або погіршення якості перехідних процесів.

2 Зв'язане керування - кожен регулятор крім основного керуючого впливу видає також коректуючі впливи, що використовуються іншими регуляторами для корекції впливу контурів між собою.

3.3. Незалежне регулювання

Найбільш простим методом є незалежне регулювання. У методі кожен параметр регулювання має свою систему регулювання, а автоматична система складається з кількох слабо пов'язаних контурів. Причому об'єкти регулювання цих систем у більшості випадків конструктивно та технологічно не виділяються з реального об'єкта автоматизації. Природно, що локальні САР реального об'єкта автоматизації взаємодіють між собою через об'єкт керування. Якщо параметри, що регулюються слабо пов'язані між собою, або сильно відрізняються за характерними сталими часу, то один канал регулювання не буде впливати на інший система буде виконувати свої функції, а вплив одного каналу на інший можна вважати несуттєвим.

Незалежне керування - кожний контур вважається таким, що працює незалежно від інших, а впливом одного контуру на інший нехтують, вважаючи його малим. У випадку коли вплив не є малим через взаємодію контурів, керуючий вплив одного контуру стає збурюючим впливом для інших. Щоб компенсувати збурення, кожен із зв'язаних контурів змінює керуючий вплив, створюючи тим самим збурення для першого і всіх інших пов'язаних контурів. Виникає процес, званий "розгойдуванням", який при сильному зв'язку між контурами може призвести до появи в багатоконтурній системі регулювання коливань (зазвичай низькочастотних). Однак у випадку коли вплив одного контуру на інший малий цей метод використовується на практиці.

З схеми на рис. 2 видно, що одним і тим самим вихідним параметром об'єкта можна керувати різними вхідними каналами. Основна задача полягає в тому, який із вхідних параметрів (каналів) слід вибирати. При виборі потрібного каналу керування виходять з таких міркувань:

1) З усіх можливих регулюючих впливів вибирають такий потік речовини або енергії, що подається в об'єкт або відводиться з нього, мінімальна зміна якого викликає максимальну зміну регульованої величини, тобто коефіцієнт посилення по обраному каналу повинен бути максимально максимальним. Тоді, даним каналом, можна забезпечити більш точне регулювання.

2) Діапазон допустимої зміни керуючого сигналу повинен бути достатній для повної компенсації максимально можливих збурень, що виникають у даному технологічному процесі, тобто повинен бути запас потужності управління в даному каналі.

3) Вибраний канал повинен мати сприятливі динамічні властивості, тобто запізнення τ і відношення τ/T , де T - постійна часу об'єкта повинні бути по можливості меншими. Крім того, зміна статичних та динамічних параметрів об'єкта вибраним каналом при зміні навантаження або в часі повинні бути незначними.

4) Вибраний канал регулювання має бути узгоджений з технологічним регламентом ведення процесу.

Нехай, наприклад, (рис. 2) вхідний вплив u_1 , значно сильніше впливає на вихідну величину y_1 , ніж на y_2 , а u_2 має значно більший вплив на y_2 . У цьому випадку об'єкт управління представляють двома каналами управління (рис. 3). Збурюючі впливи d_3 та d_5 каналу управління, представленого на рис. 3 а визначаються виразами:

$$d_3(\tau) = \mathcal{F}^{-1}[D_1(s) \cdot W_4(s)]; \quad d_5(\tau) = \mathcal{F}^{-1}[U_2(s) \cdot W_2(s)].$$

де $D_1(s)$ та $U_2(s)$ - зображення по Лапласу збурюючого впливу $d_1(\tau)$, та керуючого впливу $u_2(\tau)$. Збурюючі впливи другого каналу керування представленого на рис. 3, б, визначаються виразами:

$$d_4(\tau) = \mathcal{F}^{-1}[D_2(s) \cdot W_1(s)]; \quad d_6(\tau) = \mathcal{F}^{-1}[U_1(s) \cdot W_1(s)]$$

де $D_2(s)$ та $U_1(s)$ - зображення за Лапасом збурюючого впливу $d_2(\tau)$ та керуючого впливу $u_1(\tau)$ відповідно.

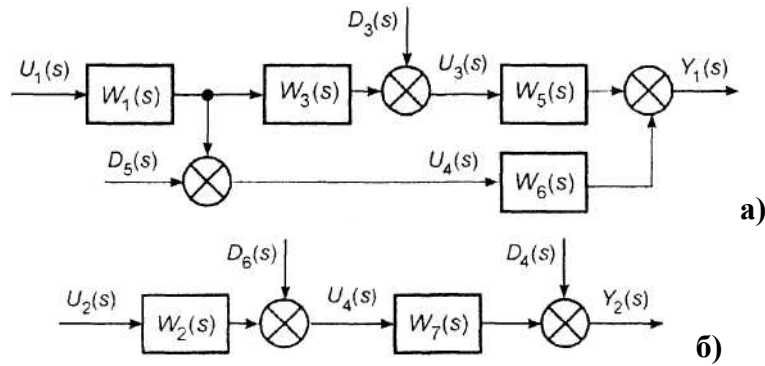


Рис. 3 Канали управління об'єктом регулювання: а - керуючий вплив u_1 - вихідний параметр y_1 , б - керуючий вплив u_2 - вихідний параметр y_2

3.4. Зв'язане керування

При зв'язаному керуванні кожен регулятор крім основного керуючого впливу видає також впливи корекції, що використовується для корекції впливу контурів між собою. У границі корекція має бути такою, щоб зробити контури повністю незалежними. Отже крім основних регуляторів з передавальними функціями $W_{p1}(s)$ та $W_{p2}(s)$, у систему зв'язаного регулювання вводять додаткові динамічні компенсатори з передатними функціями $W_{k1}(s)$ та $W_{k2}(s)$. Причому передавальні функції компенсаторів підбирають так, щоб компенсувати вплив одного контуру на інший.

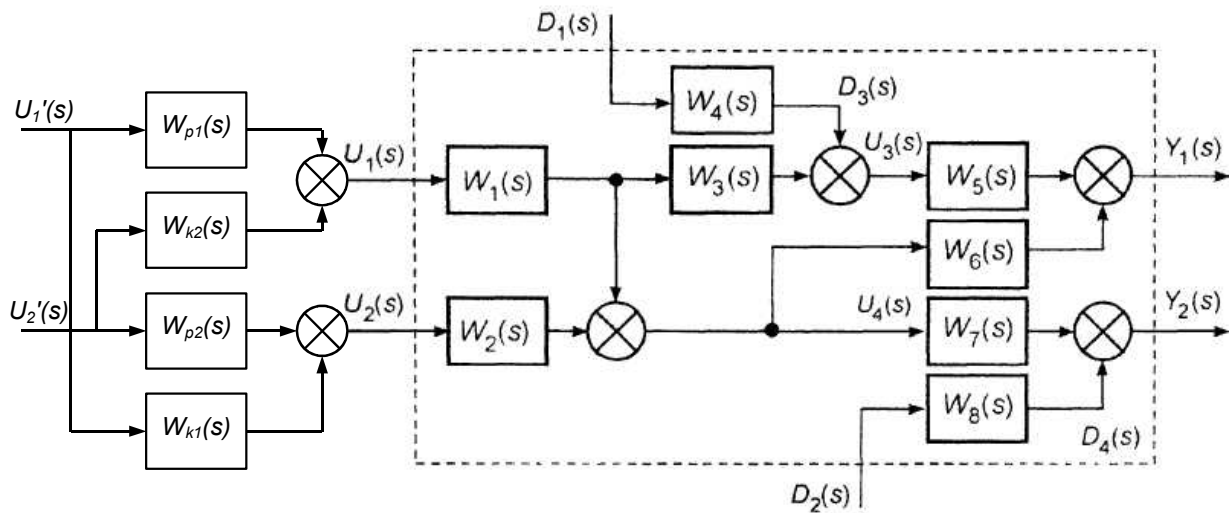


Рис. 4. Зв'язане керування (а) структурна схема (б) отримані канали

На рис. 4 показано використання таких компенсаторів. Умову зв'язаного керування можна записати як умову, що передавальні функції з входу $U_1'(s)$ на вихід $Y_2(s)$ та з входу $U_2'(s)$ на вихід $Y_1(s)$ тотожно рівні 0. З даної структурної схеми випливає, що

$$W_{12}(s) = \frac{Y_2(s)}{U_1'(s)} = W_{p1}(s) W_1(s) W_7(s) + W_{k1}(s) W_2(s) W_7(s) = 0$$

$$\text{Звідки } W_{k1}(s) = -\frac{W_{p1}(s) W_1(s)}{W_2(s)}$$

аналогічно

$$W_{21}(s) = \frac{Y_1(s)}{U_2'(s)} = W_{k2}(s) W_1(s) (W_3(s) W_5(s) + W_6(s)) + W_{p2}(s) W_2(s) W_6(s) = 0$$

звідки

$$W_{k2}(s) = - \frac{W_{p2}(s) W_2(s) W_6(s)}{W_1(s) (W_3(s) W_5(s) + W_6(s))}$$

Зрозуміло, що необхідно перевірити отримані передавальні функції компенсаторів на фізичну реалізованість та робастість. У випадку коли компенсатор складно фізично реалізувати можна спробувати обрати інший регулятор, або ввести додаткові контури регулювання для компенсації взаємного впливу контурів.

3.5. Інваріантність систем

Для більшості промислових об'єктів характерні значне запізнення, велика інерційність та значні збурюючі впливи. В таких випадках навіть за оптимальних налаштувань регуляторів одноконтурні САР не здатні забезпечити необхідну якість регулювання. Тому при проектуванні широко використовується принцип інваріантності (незалежності) локальних систем по відношенню до найбільш характерних збурюючих впливів. Наведений у попередньому підрозділі приклад є застосуванням такого принципу. Сутність інваріантних систем регулювання, у тому, щоб поряд з природним проходженням збурюючого впливу, на об'єкті створюється штучний компенсуючий вплив за допомогою динамічного компенсатора (або додаткового регулятора), що дає такий же ефект за величиною, як і збурюючий вплив, але протилежний за знаком. Це повністю нейтралізує небажаний вплив збурення. Так буде синтезована нечутлива, чи інваріантна, до цього збурюючого впливу система регулювання.

У інваріантні системи регулювання крім звичайного регулятора, входять допоміжні керуючі пристрої, що носять назву динамічних компенсаторів чи додаткових регуляторів. За допомогою принципу інваріантності легко здійснити компенсацію збурюючих впливів між локальними САР, що забезпечує роботу в оптимальному стійкому режимі та підвищує надійність і якість роботи об'єкту. Часто також відомі найбільш характерні збурюючі впливи, що надходять на об'єкт управління. Наприклад для забезпечення необхідної якості управління можна, встановити давачі найбільших збурюючих впливів і здійснювати регулювання враховуючі і компенсуючі найбільші з них. У такому випадку регулятор буде реагувати на збурення у момент їх надходження, а не після їх впливу на об'єкт.

Спільне використання в комбінованих САР регулювання по відхиленню та збурювальному впливу дозволяє отримати високоякісні та швидкодіючі системи регулювання. На рис. 5 наведено схему комбінованої системи регулювання температури в хімічному реакторі. Вплив основного збурюючого впливу, (зміни витрати компонента А) нейтралізується динамічним компенсатором 2, що працює за принципом компенсації основного збурюючого впливу. Вплив інших збурень (наприклад, зміна витрати компонента, зміна температури навколишнього середовища та ін.) нейтралізується регулятором 6, що реагує на відхилення від заданого $t_{зд}$ поточного значення температури з давача 5.

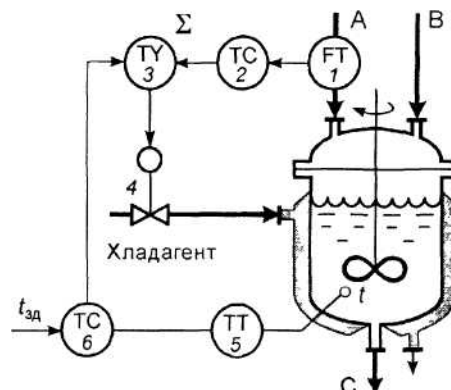


Рис. 5. Комбінована схема регулювання температури в хімічному реакторі з мішалкою
 1 - перетворювач витрати, 2 - динамічний компенсатор, 3 - сума тор, 4 - виконавчий пристрій, 5 - датчик температури, 6 - регулятор температури

3.6. Каскадні САР

У каскадних системах регулювання при регулюванні основної технологічної величини в об'єкті з великим запізненням використовують також допоміжні проміжні

величини, що реагують на зміну основних збурюючих впливів об'єкта та керуючого впливу з меншим запізненням. У таких випадках стабілізація допоміжних проміжних величин сприяє більш якісному регулюванню основної технологічної вихідної величини. Каскадна система регулювання хіміко-технологічних об'єктів складається з кількох (найчастіше двох) контурів, кожен із яких регулює свою величину.

У двоконтурну каскадну систему регулювання входять два регулятори: основний (у зовнішньому контурі) з передатною функцією $W_{p1}(s)$, призначений для стабілізації основної технологічної вихідної величини, і допоміжний (у внутрішньому контурі) з передатною функцією $W_{p2}(s)$, призначений для стабілізації допоміжної проміжної величини y_1 . Вихідний сигнал основного регулятора є завданням допоміжного регулятора.

Застосування каскадних схем управління ефективно тільки в тому випадку, коли запізнення в контурі регулювання основної технологічної вихідної величини значно більше, ніж у контурі регулювання допоміжної проміжної величини y_1 . Тому призначення регуляторів визначає вибір законів регулювання.

Закон регулювання основного регулятора повинен містити інтегральну складову, щоб підтримувати основну технологічну вихідну величину на заданому значенні.

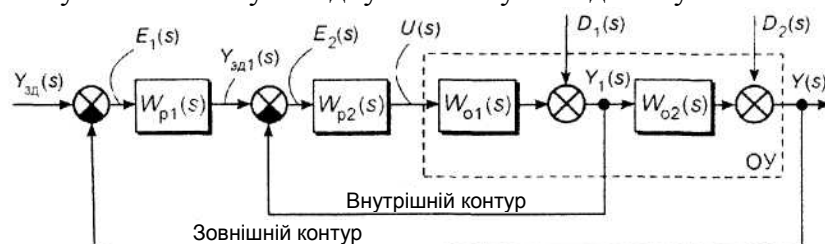


Рис. 6. Структурна схема двоконтурної каскадної системи регулювання

Допоміжний контур повинен мати підвищену швидкодію. У ньому доцільно використати пропорційний закон регулювання. Приклад структурної схеми двоконтурної каскадної системи регулювання показано на рис. 6. В об'єкті регулювання (частина схеми, у пунктирній рамці) на основну технологічну вихідну величину y і допоміжну проміжну величину y_1 впливають керуюча величина та основне збурення d_1 . Також на неї може також діяти невеликий збурюючий вплив d_2 .

Двоконтурна каскадна система регулювання має внутрішній (стабілізує) контур регулювання та зовнішній контур корекції. Внутрішній контур призначений регулювання допоміжної проміжної величини y_1 , а зовнішній — регулювання основної технологічної вихідної величини y . Внутрішній контур регулювання має швидкодію, а зовнішній контур регулювання є більш інерційним. У внутрішній контур входить об'єкт регулювання з передатною функцією $W_{o1}(s)$ (канал регулювання $\rightarrow y_1$) і стабілізуючий регулятор з передавальною функцією $W_{p2}(s)$. Зовнішній контур регулювання складається з об'єкта регулювання з передавальною функцією $W_{o2}(s)$ і основного регулятора з передавальною функцією $W_{p1}(s)$.

Застосовують різні типи двоконтурних каскадних САР, відрізняючи їх за законами управління: П-ПІ, ПІ-ПІ, ПІ-ПІД (перший регулятор - допоміжний у внутрішньому контурі, а другий - основний у зовнішньому контурі).

Збурюючий вплив d_1 змінює спочатку допоміжну проміжну величину y_1 а потім - основну y , тому внутрішній контур регулювання швидше вступає в роботу і виробляє керуючий вплив, частково компенсує відхилення. Некомпенсоване відхилення вихідної величини y від заданого значення $y_{зд}$ приводить в дію зовнішній контур регулювання, який поступово зводить відхилення до нуля. Збурюючий вплив d_2 на основну технологічну вихідну величину y пригнічується зовнішнім контуром регулювання.

При реалізації каскадних систем регулювання слід враховувати, що багатьох технологічних об'єктів на допоміжну проміжну величину y_1 накладаються обмеження (наприклад, температура не має перевищувати гранично допустимого значення). Це означає, що на вихідний сигнал $y_{1зд}$ основного регулятора, що є завданням для допоміжного регулятора, також накладається обмеження і в систему регулювання необхідно вводити

пристрої для обмеження величини завдання допоміжному (внутрішньому) регуляторові.

Прикладом може бути двоконтурна каскадна система стабілізації температури рідини на виході кожухо-трубного теплообмінника (рис. 7, а), що являє собою інерційний об'єкт з великим запізненням. В даному випадку застосування одноконтурної системи регулювання температури зазвичай не забезпечує високої якості регулювання, тому в схему вводять допоміжний стабілізуючий контур з регулятором витрати гріючої пари. Маючи велику швидкодію, цей контур компенсує зміни як витрати, так і тиску нагрівальної пари. Інші збурюючі впливи (наприклад, зміна температури рідини, що нагрівається на вході в теплообмінник) компенсуються основним регулятором температури 5.

На рис. 7 б зображена двоконтурна каскадна система стабілізації температури рідини на виході кожухо-трубного теплообмінника, в яку введений допоміжний стабілізуючий контур з регулятором тиску пари 2 в міжтрубному просторі.

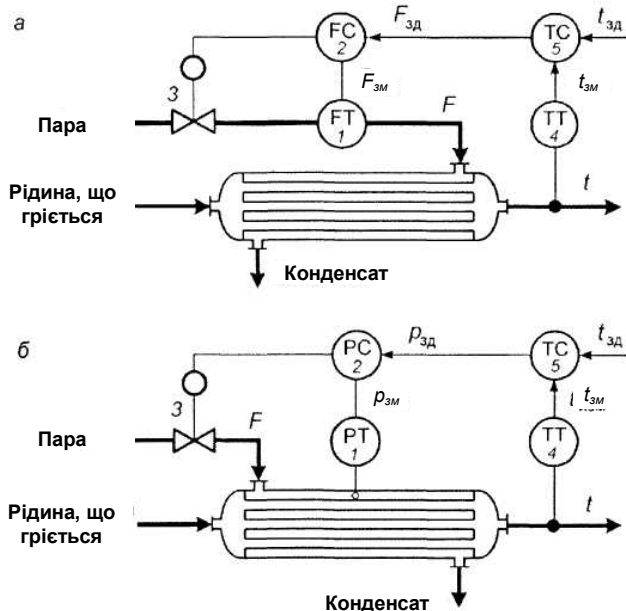


Рис. 7 Каскадна система регулювання температури рідини на виході кожухотрубного теплообмінника. Допоміжні проміжні параметри - витрата пари, що гріє (а), тиск пари в міжтрубному просторі (б) 1 - датчик проміжної параметра, 2 - допоміжний (відомий) регулятор, 3 - виконавче обладнання, 4 - нормуючий перетворювач температури 5 - основний (ведучий регулятор)

До розрахунку двоконтурних каскадних систем регулювання входить визначення налаштувань основного (зовнішнього) та допоміжного (внутрішнього) регуляторів.

Вибір типів основного та допоміжного регуляторів двоконтурних каскадних САР, а також визначення оптимальних значень їх налаштовувальних параметрів є складнішим завданням, ніж у випадку одноконтурних САР. Природно, що параметри основного і допоміжного регуляторів взаємозалежні. Але якщо інерційність стабілізуючого контуру значно нижча за інерційність коригувального контуру, тобто перехідний процес у стабілізуючому контурі закінчується набагато раніше, ніж у коригувальному контурі, то вибір регуляторів і розрахунок параметрів їх налаштування можна проводити незалежно, як для двох одноконтурних САР.

Застосування допоміжного контуру регулювання призводить до значного підвищення якості регулювання основної технологічної величини. Для ілюстрації цього на рис. 8 наведено перехідні характеристики каскадної системи з П - П І-регуляторами (крива 1) та одноконтурної системи з ПІ-регулятором (крива 2), отримані при однаковому збурюючому впливі d_1 на один і той же об'єкт. І в тому, і в іншому випадку відсутня статична помилка регулювання, а перехідні процеси мають коливальний характер. У той же час при використанні каскадної системи регулювання максимальна помилка знижується в кілька разів, і час перехідного процесу має менше значення в порівнянні з одноконтурною

системою регулювання.

Якість регулювання суттєво покращується зі зменшенням співвідношення часу запізнення у внутрішньому та зовнішньому контурах. Тому якщо є можливість вибору допоміжної проміжної величини, то перевагу віддають тій, для якої запізнення у внутрішньому контурі буде мінімальним.

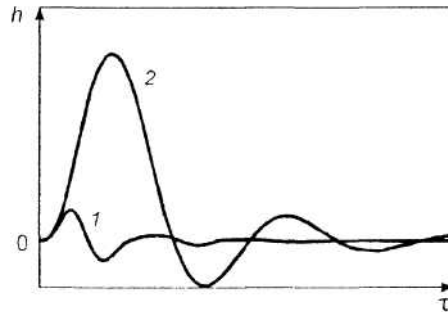


Рис. 8. Перехідні процеси САР. 1 - каскадний (П-ІІІ система). 2 одноконтурної (П-регулятор)

3.7. Регулювання об'єктів з запізненням

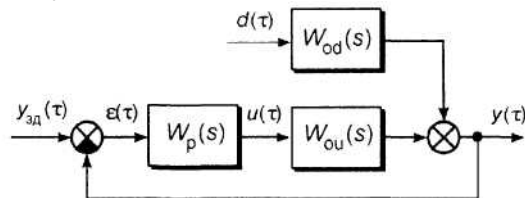


Рис. 9. Система регулювання

Для деяких об'єктів характерне запізнення. Об'єкти можуть мати запізнення каналами збурення та керування. Виразимо передатну функцію системи регулювання по каналу збурення, через передавальні функції об'єкта і регулятора (рис. 9):

$$W_d(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{W_{od}^*(s)}{1 + W_p(s)W_{ou}^*(s)},$$

де передавальні функції $W_{od}^*(s)$ та $W_{ou}^*(s)$ відповідають об'єкту без запізнення.

Тепер нехай є запізнення у каналі збурення і $W_{od}(s) = W_{od}^*(s) \cdot e^{-\tau_{зап}s}$, то передавальна функція системи регулювання рівна:

$$W_d(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{W_{od}^*(s) \cdot e^{-\tau_{зап}s}}{1 + W_p(s)W_{ou}^*(s)}$$

Отже якщо запізнення наявно у каналі збурення, то перехідний процес лише зміщується на час $\tau_{зап}$ не змінюючи своєї форми, а стійкість системи не змінюється.

Якщо ж запізнення наявно у каналі регулювання, то передавальна функція об'єкту регулювання стане рівною

$$W_{ou}(s) = W_{ou}^*(s) \cdot e^{-\tau_{зап}s}$$

і передавальна функція системи зміниться на таку:

$$W_d(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{W_{od}^*(s)}{1 + W_p(s)W_{ou}^*(s)e^{-\tau_{зап}s}}.$$

Отже запізнення у каналі регулювання спотворює передавальну функцію системи і ускладнює регулювання об'єкту. Як показує практика стійкість та швидкодія САР з передатною функцією зменшуються, одночасно погіршується точність та якість регулювання.

Якщо об'єкт має запізнення, то за допомогою звичайних регуляторів важко досягти високої якості регулювання. Максимальне допустиме значення коефіцієнта підсилення виявляється недостатнім, так як запізнення вносить велике відставання по фазі ще до того, як достатньо починає проявлятися демпфуючий вплив інерційних елементів.

Щоб забезпечити високу якість перехідного процесу, використовують спеціальні регулятори (наприклад, регулятор Сміта, регулятори з прогнозованою моделлю) та інші спеціальні алгоритми, здатні забезпечити компенсацію запізнення в об'єкті. Запропоновано багато методів, що передбачають використання інформації про величину запізнення $\tau_{\text{зап}}$, що дозволяє регулятору вводити точніший коригуючий вплив у порівнянні з регулятором, який сприймає лише сигнал помилки.

Часто для управління об'єктами з розподіленими параметрами застосовують САР з додатковим імпульсом по похідній з проміжної точки об'єкта (апарата), подаючи його на вхід регулятора, що дає для регулятора випереджуючий сигнал і регулятор починає діяти раніше, ніж основна величина керована (температура або склад) на виході об'єкта встигне відхилитися від заданого значення. Інший типовий варіант – використання регулятора (предиктора) Сміта.

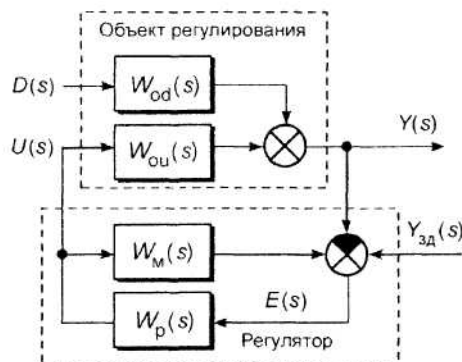


Рис. 10. Структурна схема САР з регулятором Сміта

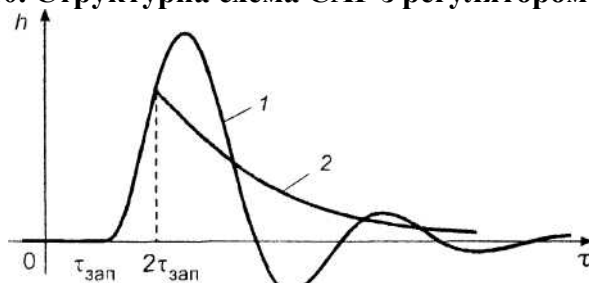


Рис. 11. Перехідні характеристики у САР 1- з ІІІ регулятором, 2-с регулятором Сміта

Принципова структурна схема системи з регулятором Сміта наведена на рис. 10. Коректуюча ланка $W_4(s)$ підбирається так, щоб передавальна функція по каналу керування для об'єкта з запізненням $W_{ou}^*(s) \cdot \exp(-\tau_{\text{зап}} s)$ була такою ж як і у об'єкта без запізнення $W_{ou}^*(s)$: , тобто у випадку точної компенсації ланка корекції у регуляторі Сміта повністю б нейтралізувала б запізнення.

$$\frac{E(s)}{U(s)} = W_m(s) - W_{ou}^*(s) e^{-\tau_{\text{зап}} s} = W_{ou}^*(s).$$

Із рівності отримаємо вираз для передавальної функції коректуючої ланки

$$W_m(s) = W_{ou}^*(s) (1 + e^{-\tau_{\text{зап}} s})$$

Порівнюючи перехідні характеристики в САР з ІІІ-регулятором та з регулятором Сміта (рис. 11), легко побачити перевагу САР з регулятором Сміта. До недоліків регулятора Сміта відносять складність налаштування коригувальної ланки, викликану, насамперед, відсутністю точних динамічних і статичних характеристик об'єкта. Застосування регуляторів з компенсацією запізнення доцільно при відношенні $\tau_{\text{зап}}/T > 0,5 \dots 0,7$.

3.8. Вибір регуляторів

Для кожного об'єкта управління необхідно застосовувати регулятори з відповідним алгоритмом та законом регулювання. Відомо, що у динаміку регулювання (зокрема, часу регулювання t_p) найбільше впливає величина відношення запізнення до постійної часу

об'єкта $\tau_{\text{зап}}/T$. Ця величина часто характеризує ступінь проблемності регулювання об'єкта.

При визначенні мінімально можливого часу регулювання t_p для різних законів регулювання та типів регуляторів при їх налаштуванні можна керуватися рекомендаціями щодо вибору закону регулювання, наведеними у таблиці вибору регулятора (табл. 1).

У цій таблиці наведено рекомендації, виходячи з величини відношення запізнення $\tau_{\text{зап}}$ до постійного часу об'єкта T .

Якщо $\tau_{\text{зап}}/T < 0,2$, можна вибрати релейний, безперервний чи цифровий регулятори.

Якщо $0,2 < \tau_{\text{зап}}/T < 0,7$, рекомендується безперервний або цифровий ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор.

Якщо $\tau_{\text{зап}}/T > 1$, краще вибрати спеціальний цифровий регулятор із випередженням, який компенсує запізнення у контурі керування. Однак цей же регулятор рекомендується застосовувати і за менших відношень ($0,7 < \tau_{\text{зап}}/T < 1$).

Табл. 1 Таблиця вибору регулятора

Межі відносин $\tau_{\text{зап}}/T$	Характеристика об'єкту		Закон регулювання та тип регулятора
	по запізненню та інерційності	за рівнем регульованості	
$0 < \tau_{\text{зап}}/T < 0,05$	Без запізнення	Дуже добре регульований	Релейний, безперервний П-, ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор
$0,05 < \tau_{\text{зап}}/T < 0,1$	З великою інерцією та з малим запізненням	Дуже добре регульований	Релейний, безперервний П-, ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор
$0,1 < \tau_{\text{зап}}/T < 0,2$	З невеликим транспортним запізненням	Добре регульований	Релейний, безперервний П-, ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор
$0,2 < \tau_{\text{зап}}/T < 0,4$	З значним транспортним запізненням	Ще регульований	Безперервний або цифровий ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор
$0,4 < \tau_{\text{зап}}/T < 0,7$	З істотним транспортним запізненням	Важко регульований	Безперервний або цифровий ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор
$0,7 < \tau_{\text{зап}}/T < 1$	З великим транспортним запізненням	Дуже важко регульований	Безперервний або цифровий ПІ-, ПД-, ПІД-регулятор
$\tau_{\text{зап}}/T > 1$	З великим транспортним запізненням	Дуже важко регульований	Цифровий регулятор із компенсацією запізнення

Також необхідно врахувати, що не всі типи найпростіших регуляторів можуть забезпечити заданий час регулювання t_p при відсутності запізнення у об'єкті. Залежність співвідношення між t_p/T , що може бути досягнута видом регулятора наведена у таблиці.

Безперервний чи цифровий П-регулятор	$t_p/T > 6,5$
Безперервний або цифровий ПІ-регулятор	$t_p/T > 12$
Безперервний або цифровий ПІД-регулятор	$t_p/T > 7$

На параметри об'єкта (зокрема, величину запізнення) значний вплив надає взаємне розташування виконавчих органів (наприклад, нагрівального елемента) і первинного перетворювача (датчика), тому бажано їх розміщати як можна ближче до об'єкта регулювання.

Зазвичай регулятори обирають виходячи із можливостей системи чи контролера орієнтуючись на співвідношення сталих часу за котрим підбирають найбільш простий регулятор, що задовольняє умовам якості та точності регулювання. Якщо ж обраний регулятор не може досягнути поставлених умов точності чи якості то розглядають більш складний регулятор чи закон регулювання.

4. ВИБІР ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ ТА РЕГУЛЯТОРІВ

4.1. Загальні положення

Основне завдання АС - виконання алгоритмів автоматизованого управління технологічним процесом (введення сигналів вимірювань, обчислення регулюючого впливу, вивід сигналів управління виконавчим органом). Для вирішення цих завдань використовується програмований логічний контролер (ПЛК), який включає процесорний модуль і модулі вводу-виводу (пристрої сполучення з об'єктами, ПСО) (рис. 12). Для цього ПСО здійснюють, у разі необхідності, нормалізацію сигналів (приведення до уніфікованого рівня сигналів), перетворення їх у цифровий код та операції вводу/виводу з сигналами вимірювання та керування.

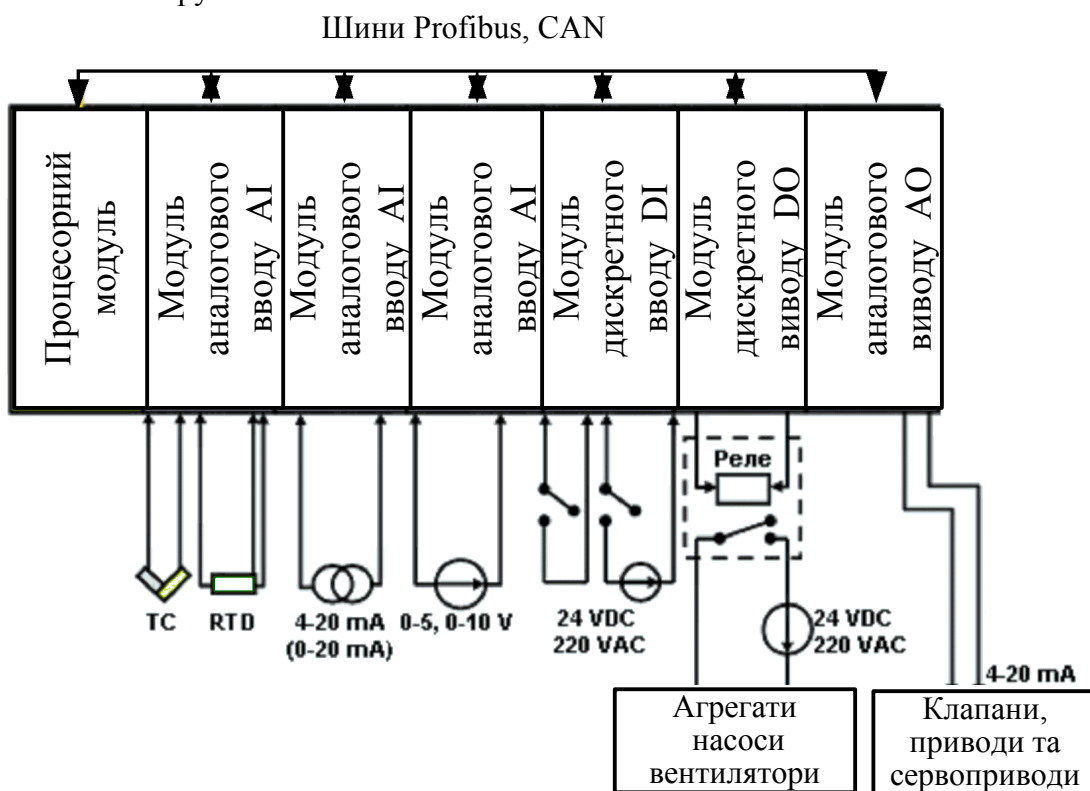


Рис. 12. Приклад підключення пристроїв вводу-виводу до ПЛК

Сучасний ринок контролерів та програмно-технічних комплексів дуже різноманітний. Вибір найбільш прийняттого варіанту є багатокритеріальним завданням, рішенням якого є компроміс між вартістю, технічним рівнем, надійністю, комфортністю, витратами на сервісне обслуговування, повнотою програмного забезпечення та багатьом іншим.

Тому важливо виділити їх основні характеристики та властивості, на підставі яких можна зробити вибір при побудові систем керування.

Як такі характеристики при виконанні проекту АС пропонується сім узагальнених показників:

- ◇ • характеристики процесора;
- ◇ • характеристики периферійної частини ПЛК;
- ◇ • характеристики каналів вводу/виводу, що підтримуються контролерами;
- ◇ • комунікаційні можливості;
- ◇ • умови експлуатації;
- ◇ • технічна підтримка;
- ◇ • програмне забезпечення.

4.2. Характеристики ПЛК

4.2.1 Характеристики процесора ПЛК

Процесорна частина здійснює централізоване управління ПСО, різні види обчислень, у тому числі обчислювальне масштабування сигналів та логічне забезпечення протоколів

обміну інформаційними кадрами з навколишніми об'єктами.

Характеристики процесора - це тип, розрядність основної процесорної плати та робоча частота; підтримка математики з плаваючою комою, що дозволяє виконувати ефективну обробку даних; наявність бітових операцій, кількість маніпуляцій для обробки даних, можливості системи переривань. Чим менше маніпуляцій для обробки даних, чим досконаліша система переривань, тим кращий такий процесор в АСУ ТП.

4.2.2 Характеристики периферійної частини ПЛК

Характеристики периферійної частини ПЛК - це наявність та обсяг різних видів пам'яті: ОЗУ (RAM), ПЗУ (ROM), СППЗУ (EPROM), ЕСППЗУ (EEPROM), флеш (Flash), кількість та різноманітність каналів вводу-виводу.

Головною відмінністю E(E)PROM (в т. ч. і Flash) від ПЗП є можливість перепрограмування при підключенні до стандартної системної шини мікропроцесорного пристрою. В EEPROM реалізується можливість проводити стирання окремого осередку за допомогою електричного струму. У флеш-пам'яті використовується дещо відмінний від EEPROM тип комірки-транзистора. Технологічно флеш-пам'ять споріднена як EPROM, і EEPROM. Основна відмінність флеш-пам'яті від EEPROM полягає в тому, що стирання вмісту осередків виконується або для всієї мікросхеми або для певного блоку (кластера, кадру або сторінки). Звичайний розмір такого блоку становить 256 або 512 байт, однак у деяких видах флеш-пам'яті обсяг блоку може досягати гігабайтів. Прати можна як блок, так і вміст усієї мікросхеми відразу. Таким чином, у загальному випадку, для того, щоб змінити один байт, спочатку буфер зчитується весь блок, де міститься підлягає зміні байт, стирається вміст блоку, змінюється значення байта в буфері, після чого проводиться запис зміненого в буфері блоку. Така схема істотно знижує швидкість запису невеликих обсягів даних у довільні області пам'яті, проте значно збільшує швидкодію при послідовному запису даних великими порціями.

Переваги флеш-пам'яті в порівнянні з EEPROM:

- ◇ • вищу швидкість запису при послідовному доступі за рахунок того, що стирання інформації у флеш проводиться блоками;
- ◇ • собівартість виробництва флеш-пам'яті нижче за рахунок найпростішої організації.

Недолік - повільний запис довільних ділянок пам'яті.

4.2.3. Характеристики каналів вводу і виводу контролерів

Як видно з рис. 12, до модулів вводу/виводу за допомогою електричних кабелів підключаються датчики та виконавчі механізми. Залежно від того, чи служить модуль для введення сигналів з датчиків у систему управління або виводить керуючі сигнали на виконавчі пристрої, модулі здійснюють, відповідно, аналого-цифрове чи цифро-аналогове перетворення.

Параметри контролера з точки зору каналів вводу/виводу, що підтримуються ним, є визначальними при його виборі. Важливо не тільки кількість каналів вводу/виводу, що підтримується контролером, але й різноманітність модулів вводу/виводу за кількістю та рівнями комутованих сигналів (струм/напруга), а також способи підключення зовнішніх кіл до модулів вводу/виводу.

Як зарубіжні, так і вітчизняні виробники контролерів комплектують свої вироби широкою гамою модулів дискретного та аналогового вводу/виводу. За кількістю сигналів, що підключаються, розрізняють модулі на 4, 8, 16, 32 і 64 канали. Така різноманітність модулів полегшує вибір необхідної конфігурації контролера, дозволяючи мінімізувати вартість технічних засобів.

Комутовані модулями дискретного вводу/виводу сигнали можуть мати різний рівень напруги змінного та постійного струму. Це 12, 24, 48 В постійного струму, 120 і 240 В змінного струму з різними навантаженнями струму. Рівні комутованих сигналів модулями аналогового вводу/виводу можуть бути різноманітними. Це 0-5В, 0-10В, +5В, +10В за напругою та 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА по струму. Є й спеціальні модулі для введення в

контролери сигналів від термопар та термометрів опору різних типів. Наведені тут дані щодо рівня сигналів, безумовно, не вичерпують всієї різноманітності, представленої на ринку.

4.3. Класифікація модулів вводу-виводу ПЛК

Модулі вводу/виводу базового призначення бувають 4 типів: модулі аналогового та дискретного вводу та виводу.

4.4.1. Модулі аналогового вводу

Модулі аналогового вводу (AI, analog input). Вони приймають від датчиків, підключених до входів, електричні сигнали уніфікованого діапазону, наприклад: 0-20 або 4-20 мА (сигнал струмом); 0-10 або 0-5 (сигнал напруги); мілівольтовий сигнал від термопар (ТС) або сигнал від термоопорів (RTD) (у разі неуніфікованого сигналу для вводу даних необхідний спеціальний модуль - нормалізатор). Внутрішній пристрій (АЦП) перетворює їх на цифровий код.

Приклад

Нехай у технологічному процесі використовується датчик тиску з діапазоном вимірювань 0-6 бар та виходом 4-20 мА. Датчик вимірює тиск P , який на даний момент дорівнює 3 бар. Так як датчик лінійно перетворює значення вимірюваного тиску у сигнал струму, то на виході датчика буде:

$$I_{\text{вих}} = 4 + 3/6 \cdot (20-4) = 12 \text{ мА};$$

Вхід модуля AI, налаштований на ті ж діапазони (4-20 мА та 0-6 бар), приймає сигнал 12 мА і робить зворотне перетворення:

$$P = 6 \cdot (12-4) / 16 = 3 \text{ бар}.$$

Програма, що у процесорі ПЛК, здійснює масштабування цієї фізичної величини, чи присвоює їй цифровий код.

Відповідність діапазону електричного сигналу між входом модуля та виходом підключеного до нього датчика є обов'язковою для коректної роботи системи.

4.4.2. Модулі аналогового виводу

Модулі аналогового виводу (AO, analog output). Діють як AI, лише у зворотному напрямку. Для цього у модулі використовуються цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) часто у найбільш простому вигляді: з використанням широтно-імпульсної модуляції на відносно високій частоті переключення.

Приклад

Нехай у технологічному процесі використовується регулюючий клапан з керуючим входом 4-20 мА. Нехай необхідно використати його наполовину (тобто на 50%). Вихід АО, до якого підключений вхід клапана, генерує струм $I_{\text{вих}}$:

$$I_{\text{вих}} = 4 + (20-4) \cdot 0.5 = 12 \text{ мА};$$

Регульований клапан, виявивши на своєму вході 12 мА струм, переходить на 50% відкриття.

Відповідність діапазону електричного сигналу між виходом модуля та входом, підключеного до нього виконавчого механізму, є обов'язковою.

4.4.3. Модулі дискретного вводу

Модулі дискретного вводу (DI, discrete input). Приймають від датчиків дискретний електричний сигнал, який може мати тільки два значення: або 0 або 24 (поодиноких випадках 12, 48 В постійного струму, 120 В змінного струму). Вхід DI також може реагувати на замикання/розмикання контакту в підключеному до нього кола. До DI зазвичай підключають датчики контактного типу, кнопки ручного управління, статусні сигнали від систем сигналізації, приводів, кінцевих перемикачів, тощо.

4.4.4. Модулі дискретного виводу

Модулі дискретного виводу (DO, discrete output). Залежно від внутрішнього логічного стану виходу ("1" або "0") збуджує на клемі дискретного виходу або знімає з них напругу 24 В. Є варіант, коли модуль, залежно від логічного стану виходу, просто замикає або розмикає внутрішній контакт (модуль релейного типу).

Модулі DO можуть керувати приводами, відмикаючими клапанами, запалювати

світлосигнальні лампочки, включати звукову сигналізацію і т.д. Як вихідні пристрої в цьому модулі застосовується проміжні реле.

4.4.5. Канальність модулів

Модуль вводу/виводу також характеризуються канальністю - числом входів/виходів, а, отже, і кількістю сигнальних кіл, які можна підключити до нього. Наприклад, модуль AI 4 - це чотириканальний модуль аналогового вводу. До нього можна підключити 4 датчики. DI 16-шістнадцяти-канальний модуль дискретного вводу. До нього можна підключити 16 статусних сигналів з якогось агрегату.

4.4.6. Фізична реалізація модулів та комутації

Розрізняються модулі вводу/виводу та за способом підключення зовнішніх кіл. До одних модулів зовнішні ланцюги підключаються за допомогою клем з гвинтовими затискачами. Можливе також підключення зовнішніх кіл через термінальні блоки, що знімаються, або фронтальні з'єднувачі, що дозволяє проводити заміну модулів без демонтажу зовнішніх кіл. Деякі виробники ПТК пропонують системи вводу/виводу, в яких зовнішні низьковольтні ланцюги підключаються за допомогою пружинних затискачів. Фірма WAGO є світовим лідером у галузі пружинної клемної техніки. При використанні цих клемників практично виключені помилкові дії монтажників при з'єднанні проводів, оскільки зачищена ділянка проводу може бути тільки в двох станах: зафіксований (необхідний контакт забезпечений) або не зафіксований (контакту немає взагалі), тоді як у клеммах з використанням гвинтових затискачів можливий проміжний варіант - погано закручений гвинт. Підкуповує також у WAGO легкість монтажу. На лицьовій панелі модулів вводу/виводу можуть бути розташовані світлодіоди індикації стану зовнішніх кіл.

4.4. Рівні управління ПЛК

Однією з найважливіших характеристик контролерів є їх здатність підтримувати локальне, розширене, віддалене і розподілене вводу/виводу. Під локальним слід розуміти такий ввід/вивід, коли модулі вводу/виводу розміщуються безпосередньо на тому ж шасі, на якому розміщений і модуль центрального процесора (така схема називається іноді крейтовою). Оскільки кількість слотів у шасі обмежена (максимум 16-18 для деяких контролерів), то і кількість локальних ввідів/виводів може бути обмежена. Перевага локальних ввідів/виводів полягає в тому, що вони мають високу швидкість оновлення даних. За всіх інших рівних умов швидкість обробки цих ввідів/виводів дуже висока. Ця характеристика є особливо важливою, коли йдеться про регулювання технологічних параметрів.

4.5. Розташування модулів

У сучасних системах розташування модулів вводу/виводу на DIN-рейці не регламентовано, і їх можна встановлювати в довільному порядку. Однак один або кілька слотів зазвичай резервуються під установку модуля інтерфейсу. Одним з жорстких вимог, що пред'являються до сучасних підсистем вводу/виводу, - це можливість "гарячої" заміни модулів без відключення живлення (функція hot swap).

Сучасний ринок засобів автоматизації пропонує широкий спектр апаратних та програмних пристроїв для побудови надійних та зручних в експлуатації систем. Немає галузі промисловості, у якій було потреби застосування контролерів. Одними з головних переваг є зниження, до повного виключення, впливу, так званого людського чинника на керований процес, скорочення персоналу, мінімізація витрат сировини, поліпшення якості вихідного продукту, й у кінцевому підсумку істотне підвищення ефективності виробництва.

4.6. Розширення можливостей

Для підтримки більшої кількості каналів вводу/виводу фірми-виробники апаратних засобів забезпечили свої системи можливістю їх розширення за допомогою ведених пристроїв, що встановлюються на DIN рейку. Модулі вводу/виводу на DIN рейці з'єднуються між собою спеціалізованим коротким кабелем і можуть бути віднесені максимум на кілька десятків метрів від центрального.

Деякі комплекси контролерів здатні підтримувати кілька DIN рейок з великою кількістю модулів вводу/виводу.

Наприклад, контролери PLC-5/40L, PLC-5/60L (Allen-Bradley) допускають розширення локального вводу/виводу для прискореного оновлення даних до 16 модулів вводу/виводу.

Віддалений ввід/вивід застосовується для систем, в яких є велика кількість датчиків та інших польових пристроїв, що знаходяться на досить великій відстані (1000 і більше метрів) від центрального процесора. Це стосується і об'єктів нафтогазової галузі, що часто перебувають на великих відстанях від пунктів управління. Такий підхід дозволяє зменшити вартість ліній зв'язку за рахунок того, що модулі вводу/виводу розміщуються поблизу польових пристроїв.

4.7. Умови експлуатації ПЛК

Насамперед, слід визначитися який набір функцій повинен виконувати мікроконтролер і за яких умов експлуатації. Особливі обмеження мають температурний діапазон. У деяких умовах, встановлюються вимоги від -50°C до $+70^{\circ}\text{C}$. Більшість ПЛК не можуть експлуатуватися за цієї температури. Для вирішення завдання їх застосування необхідно використовувати термостатування або інші способи застосування контролерів з обмеженим діапазоном температур.

Автономні пристрої часто протягом тривалого проміжку часу не мають можливості передачі на диспетчерський пункт, тому необхідне місце для оперативного зберігання інформації. Одним із рішень є зберігання даних у ОЗП, отже, чим більший обсяг ОЗП, тим більше даних може в ньому зберігатися. Крім того, для автономних систем дуже важливий такий параметр як напруга зберігання інформації. Якщо напруга живлення знижується нижче мінімально допустимого рівня, але вище напруги зберігання інформації, програма не виконується, але дані в ОЗУ зберігаються. Напруга зберігання інформації в мікроконтролерах фірми Motorola, PIC та AVR становить близько 1-1,5В.

Вимоги до мікроконтролерів віддалених (розподілених) пристроїв дещо відрізняються від стандартних вимог. Так, якщо в стаціонарних пристроях вимоги до зниженого енергоспоживання мікроконтролерів не є визначальними, то в автономних видалених пристроях вони виходять на передній план. Найчастіше автономні пристрої – це системи, які мають автономне живлення (наприклад, живлення від батарейок або акумуляторів). У цьому випадку, бажано використовувати або мікроконтролер з розширеним або зниженим діапазоном живлення. Мікроконтролери з розширеним діапазоном живлення відносно невибагливі до напруги живлення та підходять як для пристроїв з мережним, так і з автономним живленням. Мікроконтролери зі зниженим діапазоном живлення призначені для виробів з автономним живленням, т.к. їх струм споживання у кілька разів менший за струм споживання інших мікросхем. У той же час слід пам'ятати, що мікроконтролери зі зниженим діапазоном живлення мають меншу максимальну частоту тактування. Додатковим підставою вибору ПЛК є необхідність задоволення системних вимог проекту.

4.8. Комунікаційні можливості контролерів.

Однією з найважливіших особливостей мікроконтролера є наявність різного типу стандартних інтерфейсів (RS 485, CAN та інших.), які використовуються зв'язку з цифровими пристроями. Інтерфейс служить для двох цілей:

- 1) організація зв'язку пристрою з іншими пристроями (з комп'ютером або інтелектуальним датчиком),
- 2) зв'язок мікроконтролера з іншими мікросхемами на платі.

У тих випадках, коли автономний пристрій працює поза якоюсь системою, і не потрібно передачі або прийому даних від іншого пристрою, тоді інтерфейс потрібен лише для зв'язку мікроконтролера з іншими мікросхемами.

Такий зв'язок можливий завдяки інтерфейсному модулю, який підтримує один із прийнятих комунікаційних протоколів: Profibus DP, Modbus RTU, Modbus +, CAN, DeviceNet, ControNet і т.д. Загалом налічується понад 50 стандартів промислових шин.

До параметрів контролерів, що характеризують їхню здатність взаємодіяти з іншими пристроями системи управління, належать:

- кількість та різноманітність портів у ПЛК;
- широта набору інтерфейсних модулів та інтерфейсних процесорів, що поставляються основним розробником ПЛК та іншими постачальниками, що підтримують бренд ПЛК;
- реалізовані у ПЛК протоколи;
- швидкість обміну даними та протяжність каналів зв'язку. Комунікаційний зв'язок працює за принципом ведучий-ведений (master-slave). Тільки ведучий пристрій може ініціювати обмін даними. Ведені пристрої пасивно прослуховують усі дані, що йдуть по лінії зв'язку, і лише у разі отримання запиту від ведучого пристрою відправляють назад відповідь. Кожен пристрій на каналі зв'язку має свою унікальну мережну адресу, необхідну для однозначної ідентифікації. Вузли вводу/виводу, зазвичай, є веденими пристроями, тоді як контролери - ведучими.

4.9. Програмування ПЛК

4.9.1. Стандарт IEC 61131-3.

Програмувати ПЛК, як правило, рекомендується мовами стандарту IEC-61131.3. Для тих, хто звик до релейно-контактних схем, рекомендується працювати з мовою, створеною на їх основі (Ladder Diagram), а тим, кому зрозуміліші електронні схеми, можуть скористатися мовою функціональних блокових діаграм (Functional Block Diagram).

Стандарт IEC 61131-3 описує синтаксис та семантику п'яти мов програмування ПЛК:

1. SFC (Sequential Function Chart) – графічна мова, яка використовується для опису алгоритму у вигляді набору пов'язаних пар: крок (step) та перехід (transition). Крок є набір операцій над змінними. Перехід - набір логічних умовних виразів, що визначає передачу управління до наступної пари крок-перехід. На вигляд опис на мові SFC нагадує добре відомі логічні блок-схеми алгоритмів. SFC має можливість розпаралелювання алгоритму. Однак, SFC не має засобів для опису кроків та переходів, які можуть бути виражені лише засобами інших мов стандарту. Походження цієї мови – Grafcet (Telemechanique-Groupe Schneider).

2. LD (Ladder Diagram) – графічна мова програмування, що є стандартизованим варіантом класу мов релейно-контактних схем. Логічні висловлювання цією мовою описуються як реле, які широко застосовувалися у сфері автоматизації у 60-х роках. Зважаючи на свої обмежені можливості, мову доповнено привнесеними засобами: таймерами, лічильниками тощо. Походження: різні варіанти мови релейно-контактних схем (Allen-Bradley, AEG Schneider Automation, GE-Fanuc, Siemens).

3. FBD (Functional Block Diagram) – графічна мова за своєю суттю схожа на LD. Замість реле у цій мові використовуються функціональні блоки, на вигляд - мікросхеми. Алгоритм роботи деякого пристрою цією мовою виглядає як функціональна схема електронного пристрою: елементи типу "логічне І", "логічне АБО" і т.п., з'єднані лініями. Походження: варіант G- мови програмування Lab View.

4. ST (Structured Text) - текстова високо рівнева мова загального призначення, за синтаксисом подібна на мову Паскаль. Не має самостійного значення: використовується лише спільно з SFC. Походження: Grafcet (Telemechanique-Groupe Schneider).

5. IL (Instruction List) – текстова мова низького рівня. Виглядає як типова мова асемблера, що пояснюється її походженням: для деяких моделей ПЛК фірми Siemens є мовою асемблера. В рамках стандарту IEC 1131-3 архітектура конкретного процесора не прив'язана. Не має самостійного значення: використовується лише спільно з SFC. Походження – STEP 5 (Siemens).

Цей стандарт має очевидні переваги: отримання якісного програмного продукту, сполучність окремих програмних підсистем на рівні вихідних текстів, незалежність від типу операційної системи та від суб'єктивних особливостей програміста, використання спільної мови спілкування в середовищі розробників та користувачів програмного забезпечення (ПЗ) і, нарешті, скорочення фінансових витрат за розробку проектів загалом з допомогою скорочення часу розробки ПЗ.

Мови стандарту використовуються провідними фірмами-виробниками ПЛК, досить

поширені та відомі фахівцям АС. Набір засобів розробки зазвичай виконується на комп'ютері проектувальника, наприклад, комп'ютері типу IBM PC, і складається з редактора, відладчика і препроцесора, який готує описаний проектувальником алгоритм формату, "зрозумілому" ядру-інтерпретатору програми проектування. Цей набір має сучасний інтерфейс користувача, дозволяє тестувати алгоритм в режимі емуляції і отримувати листинг алгоритму мовами його опису. В результаті проектування програма користувача спільно з ядром-інтерпретатором завантажується в цільовий ПЛК для виконання. Ядро-інтерпретатор, як впливає вже з його назви, транслює алгоритм користувача в «машинні команди» під час виконання. Це дозволяє сконцентрувати машинно-залежний код і таким чином зменшити накладні витрати при переході на інший ПЛК.

Як тільки сформульовано завдання програмування логіки контролера, то відразу постає питання про відповідний програмний інструментарій для вирішення цього завдання.

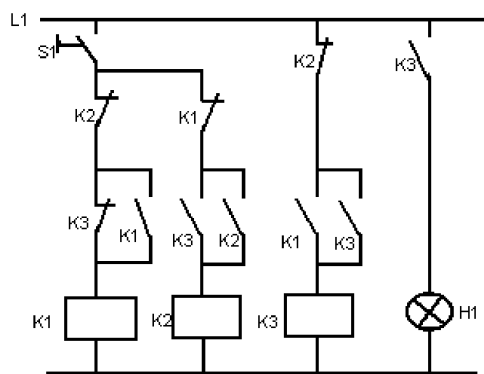
4.9.2. Мова LD

Вважається, що для фахівців КВП найбільш зрозуміла мова LD-релейних діаграм (Ladder Diagrams). Програма контролера, написана цією мовою, являє собою релейну діаграму у вигляді двох вертикальних «шин живлення», між якими мають горизонтальні ланцюги, утворені контактами і засобом збудження виконавчого пристрою (обмоткою реле, спіраллю лампи та ін.). Кількість контактів у ланцюзі довільно, засіб збудження виконавчого пристрою один. Відповідність операторів програми та елементів релейної логіки наведено у таблиці 3

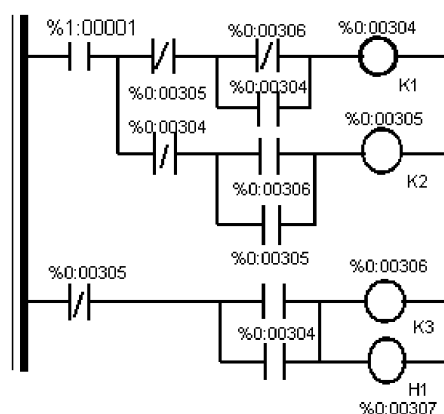
Табл. 2. Відповідність ЕСКД позначень та LD операторів.

LD	ЕСКД	Позначення
		Нормально розімкнений контакт
И		Нормально замкнутий контакт
()		Обмотка реле, вик. пристрій

Проста релейно-контактна схема представлена рис. 13 а. Кнопкою S1 включається контактор K1, який залишається включеним своїми блок-контактами. Його контактами включається контактор K3, який відключає K1 та включає сигнальну лампочку Н1. При повторному натисканні кнопки S1 увімкнеться контактор K2. При цьому контактор K3 вимикається і лампочка Н1 гасне.



а)



б)

Рис. 13. LD- програма релейної схеми

На рис. 13 б наведена програма, написана мовою LD. Ця програма разом з ядром-інтерпретатором завантажується в цільовий ПЛК для виконання. Ядро - інтерпретатор під час виконання транслює цю програму машинні команди. Ці команди будуть управляти сигналами вводу/виводу ПЛК і тим самим лампочка Н1 буде включатися або вимикатися.

4.10. Питання, що висвітлюють при виборі ПЛК

При виборі ПЛК рекомендується висвітлити такі питання:

1. Які потрібні периферійні пристрої?
2. Які потрібні характеристики операцій вводу/виводу?
3. Чи використовуються бітові операції або лише числові?
4. Скільки потрібно маніпуляцій для обробки даних?
5. Чи повинен ПЛК керуватися перериваннями, готовністю чи командами від людини? Якою кількістю пристроїв (бітів вводу/виводу) потрібно керувати?
6. Які пристрої з багатьох можливих типів I/O пристроїв повинні контролюватися керуватися: термінали, вимикачі, реле, клавіші, сенсори (температура, світло, напруга і т.д.), візуальні індикатори (LCD дисплеї, LED), аналого- цифрові (A/D), цифроаналогові (D/A) перетворювачі?
7. Скільки напруг живлення потрібно для контролера?
8. Яка якість джерела живлення?
9. Чи узгоджене живлення ПЛК із напругами живлення обладнання?
10. Чи повинні напруги утримуватися у вузькому фіксованому діапазоні змін, чи ПЛК може працювати при великій нестабільності?
11. Який необхідний робочий струм?
12. Чи контролер повинен працювати при відсутності основного живлення (від батарей)?
13. Якщо контролер повинен працювати від батарей, чи повинні використовуватися батареї, що перезаряджаються, і якщо це так, то який час роботи без перезарядки, і який для неї потрібен час?
14. Чи існують обмеження щодо розміру, ваги, естетичних параметрів, таких як форма та/або колір?
15. Чи існують специфічні вимоги до умов навколишнього середовища, таких як температура, вологість, атмосфера (вибухонебезпечна, корозійна тощо), тиск/висота?
16. Де має базуватися програмне забезпечення користувача: на дисках, флеш-пам'яті або ROM? Чи потрібна робота АС у реальному часі, і якщо так, чи є необхідність придбання ядра програм реального часу або, можливо, буде достатньо звичайної версії, що широко використовується?
17. Чи достатньо персоналу та часу для розвитку власного ядра програм?
18. Чи достатньо в персоналу кваліфікації для обслуговування системи?

5. ВИБІР ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

5.1. Загальні положення

До пристроїв отримання інформації відносяться датчики, кнопки, табулятори та клавіатура, пристрої, що формують сигнали передачі на відстань. Передача інформації здійснюється безпосередньо через канали зв'язку (при невеликих дистанціях або спеціально виділених каналах зв'язку), або через пристрої телемеханіки (на великі відстані). Передача сигналів від багатьох джерел одне місце досягається з допомогою пристроїв централізованого контролю.

Пристрої взаємодіють за допомогою нормованих електричних, пневматичних, гідравлічних, механічних, акустичних та оптичних сигналів. На вигляд сигналів пристрої діляться на аналогові та дискретні. Пристрої мають нормовані джерела живлення. Конструктивне сполучення пристроїв має забезпечуватись уніфікованою структурою модулів та блоків, застосуванням нормованих за формою та розмірами монтажних плат, касет, каркасів, панелей, шаф, щитів та пультів, а також базових конструкцій основ та вузлів, з яких компонується агрегати.

Уніфікація конструкцій приладів підвищує технологічність виробів у виробництві, спрощує їх комплектацію, монтаж, налагодження та експлуатацію. Інформаційна, енергетична та конструктивна сполучуваність пристроїв прискорює проектування та виготовлення систем автоматичного контролю, регулювання та управління у складі обладнання автоматизованого виробництва

Вибір вимірювальних засобів технологічних параметрів здійснювався відповідно до стандартів та галузевих вимог підприємства, з урахуванням низки факторів метрологічного та режимного характеру, найбільш суттєві з яких такі:

1. Відстань, на яку може бути передана інформація, що знімається із датчиків (інтерфейс зв'язку датчика).
2. Граничне значення вимірюваної величини та інших параметрів середовища.
3. Допустима для АСУ ТП похибка, що визначає підбір за класом точності датчика. Межі виміру з гарантованою точністю.
4. Інерційність датчика, що характеризується його постійним часом.
5. Вплив зовнішніх факторів довкілля (температури, тиску, вологості) на нормальну роботу датчиків. Руйнівний вплив на датчик контрольованого та навколишнього середовища, агресивних властивостей. Наявність у місці встановлення датчиків неприпустимих для його нормального функціонування вібрацій, магнітних та електричних полів, радіаційного випромінювання та ін.
6. Можливість застосування датчика з точки зору пожежної та вибухо безпеки.

5.2. Інтерфейси вихідних сигналів вимірювальних приладів

У разі вимірювання електричних величин як первинні вимірювальні перетворювачі використовують, як правило, знижувальні вимірювальні трансформатори струму та напруги. У разі вимірювання неелектричних величин (температури, тиску та ін) використовують відповідні вимірювальні перетворювачі "фізична величина - електричний сигнал".

Вторинні вимірювальні перетворювачі являють собою додаткові перетворюючі засоби, наприклад, трансформатори струму і напруги, що знижують, у разі вимірювання електричних величин і електронні лінійні підсилювачі напруги - у разі вимірювання неелектричних величин.

На виходах вторинних вимірювальних перетворювачів формуються напруги одного діапазону, необхідні, наприклад, роботи багатоканального аналого-цифрового перетворювача (АЦП), що входить до складу цифрового реєстратора.

З погляду принципу дії та конструктивного виконання і ПВП, і ВВП відрізняються значною різноманітністю. ПВП встановлюються на об'єкті та безпосередньо взаємодіють з регульованим параметром та контрольованим середовищем. Вигляд параметра, що вимірюється, умови монтажу та експлуатації впливають значною мірою на його вибір. Для вимірювання одного параметра в залежності від необхідних технічних характеристик та умов

експлуатації може застосовуватися велика кількість різних датчиків (наприклад, понад шістдесят типів датчиків тиску, понад п'ятдесят типів датчиків перепаду тиску і т.д.).

5.3. Аналогові інтерфейси ПВП

Розрізняють такі основні вихідні сигнали первинних вимірювальних приладів:

- ◇ ПВП з струмовим аналоговим виходом;
- ◇ ПВП із дискретним вихідним сигналом;
- ◇ ПВП з імпульсним (рахунковим) вихідним сигналом;
- ◇ ПВП з диференціально-трансформаторним сигналом.

Застосування уніфікованих сигналів регламентовано ГОСТ 26011-80. Серед стандартних сигналів струму та напруги найбільш зручним та популярним є струмовий сигнал 4-20 мА. Причини цього в тому, що він якнайкраще вирішує проблеми, пов'язані з передачею сигналів від віддалених датчиків до вторинних вимірювальних приладів:

В арсеналі сьогоденних засобів автоматизації дедалі більше з'являється ПВП із радіочастотним виходом. ПВП з диференціально-трансформаторним сигналом (індуктивним зв'язком) є застарілими приладами і в більшості випадків підлягають заміні на ПВП з струмовим або цифровим виходом. Імпульсний вихідний сигнал ПВП являє собою імпульс 5 постійного струму або імпульс використовуваного вхідної напруги живлення, яке може бути від 8 до 28 постійного струму. Такі сенсори в технологіях нафтогазової галузі часто використовуються для дистанційного моніторингу витрати та підсумовування потоку за допомогою лічильників.

5.3.1. Струмовий вихідний сигнал

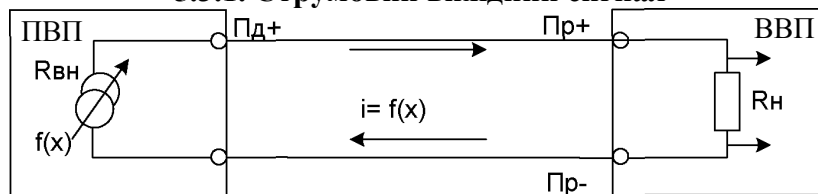


Рис. 14. Двопровідний струмовий зв'язок ПВП та ВВП

ПВП з струмовим аналоговим виходом мають вбудований джерело струму -генератор струму з деяким внутрішнім опором $R_{вн}$, що керується функцією $f(x)$ котра залежить від параметра x (рис. 14). Струм $I = f(x)$ надходить у лінію зв'язку і на вхідному резисторі навантаження $R_{н}$ вторинного перетворювача створює відповідне падіння напруги, яке далі перетворюється в цифрове значення параметра x . ПВП цього виду мають, як правило, уніфіковані вихідні сигнали постійного струму в діапазонах $\{0-5\}$, $\{0-20\}$ або $\{4-20\}$ мА. Струму $I = 0$ або $I = 4$ мА відповідає деяке мінімальне значення вимірюваного параметра x , а струму $I = I_{макс}$ $\{5-20\}$ мА – максимальне значення цього параметра. Максимально допустима довжина лінії зв'язку між ПВП та ВВП залежить від величини внутрішнього опору $R_{вн}$ ПВП, активного опору $R_{л}$ лінії зв'язку, вхідного опору $R_{н}$ ВВП, очікуваного рівня перешкод і зазвичай не перевищує кілька десятків метрів. Число проводів зв'язку між ПВП та ВВП зазвичай 2, 3 або 4. Воно залежить від схеми підключення джерела живлення або від типу чутливого елемента ПВП.

Постачальники вимірювальних приладів часто орієнтують споживачів на двопровідний варіант підключення при струмовому сигналі $\{4-20\}$ мА та 4-х провідне з'єднання при $\{0-20\}$ мА (рис. 15).

Переваги струмового сигналу:

1. Сигнали первинних перетворювачів, зазвичай, дуже малі. Наприклад, сигнали термопар зазвичай менше 50 мВ. У промислових умовах сильні електромагнітні перешкоди можуть створювати паразитні сигнали, що в сотні і тисячі разів перевищують корисні. Струмові сигнали рівня 4-20 мА працюють на низькоомне навантаження, в результаті вони менше схильні до такого впливу.

2. Для передачі струмових сигналів 4-20 мА можна використовувати з'єднувальні дроти, дешевші порівняно з іншими. При цьому вимоги до величини їхнього опору також можуть бути знижені.

3. Ще однією перевагою струмового сигналу 4-20 мА і те, що з роботи з ним легко знайти обрив лінії зв'язку - струм дорівнювати нулю, тобто виходить за можливі межі. Обрив у ланцюгу з сигналом 0-5 мА виявити не можна, оскільки струм, що дорівнює нулю, вважається допустимим. Для виявлення обриву в колах з уніфікованими сигналами напруги (0-1 або 0-10 В) доводиться застосовувати спеціальні схемотехнічні рішення, наприклад, «підтяжку» вищою напругою через високоомний резистор.

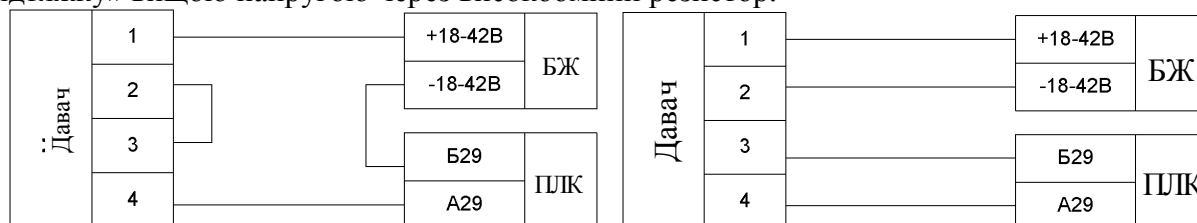


Рис. 15. Схеми підключення 4-20 мА та 0-20 мА

Схеми підключення джерел живлення (БП) та вторинних перетворювачів (ВКГ) до датчиків у схемі 4-20 мА та 0-20 мА показані на рис. 15.

5.3.2. Спеціальні сигнали

Для підключення температурних датчиків – термоопорів (ТС) використовуються спеціальні схеми: двопровідна, трипровідна та чотирипровідна. У найпростішій двопровідній схемі підключення резистивних датчиків опір ліній з'єднань (ЛЗ) входить у похибку вимірювання. Не забезпечує задовільних метрологічних характеристик вимірювального каналу, якщо опором проводів не можна знехтувати.

Вплив опору лінії у трипровідній схемі усувається шляхом компенсації опором третього дроту. Компенсацію здійснюють, припускаючи, що падіння напруги на дротах однакові. Це вірно за рівності опорів проводів ЛЗ. Похибкою, що вноситься відсутністю точної рівності, зазвичай можна знехтувати. Однак, для прецизійних вимірювань краще використовувати чотирипровідну схему підключення ТЗ (рис. 16).

При чотирьохпровідній схемі підключення різниця опорів плечей ЛЗ незначна. Це викликає впевненість у незначущості та параметрів ЛЗ.

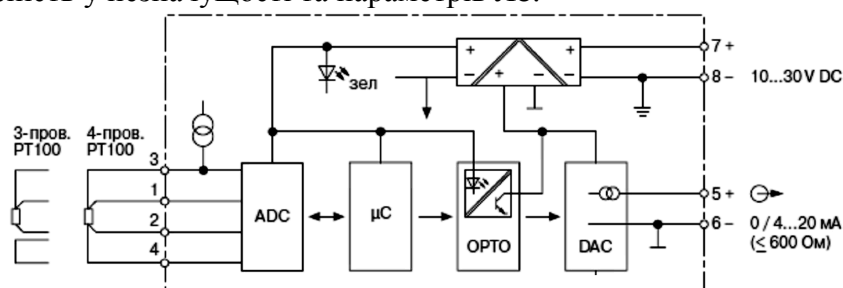


Рис. 16. Пристрій для підключення термоопорів за трьома і чотирма провідною схемою.

Проте ця схема має недоліки. Справа в тому, що поряд із розбалансом плечей є ще такий параметр, як активний опір ЛЗ. Хоча зазвичай вважається, що цей параметр є складовою похибки тільки для двопровідного підключення, виявляється, що певним чином він набуває значення і для трьох, і для чотирипровідного підключення.

Причина полягає в наступному: ВВП містить джерело струму для опитування ТЗ. Ідеальне джерело струму не має обмежень щодо опору навантаження. Для реального джерела струму завжди є гранична величина опору навантаження, коли він видає заданий струм опитування. При перевищенні цього порогового значення джерело починає занижувати струм опитування, що призводить до різкого збільшення похибки. Особливо сильно ефект проявляється поблизу верхньої межі діапазону вимірів.

На жаль, виробники ВВП не унормують максимальний опір ЛЗ, на який працюють їх вироби. Як показали проведені експерименти з продукцією ведучих світових виробників ВВП для ТЗ, значна похибка утворюється зі збільшенням опору однієї ЛЗ понад величину близько 30 Ом. Ця величина обґрунтовується тим, що якщо ЛЗ - це мідні дроти та клеми, то немає причин припускати, що 30 Ом буде недостатньо, адже при перерізі 1 мм² цей опір

відповідає 1714 м мідного дроту, при цьому вважається, що контакти ідеальні.

5.4. ПВП із цифровим вихідним сигналом

5.4.1. Дискретний вихідний сигнал

ПВП із цифровим вихідним сигналом мають, як правило, гальванічно розв'язаний вихід з відкритим колектором транзистора або релейним «сухим» контактом, живлення якого виробляється з боку джерела струму, вбудованого у ВВП. При цьому в залежності від того, закритий або відкритий вихід ПВП, величина струму лінії зв'язку має значення $I_{\min}$ або $I_{\max}$, що визначається дискретним характером процесу вимірювання перетворювачем параметрів енергоносія. Послідовність «замикань/розмикань» вихідного кола ПВП породжує на вході ВВП послідовність струмових двійкових імпульсів («0», «1») певної частоти та тривалості, яка використовується або для цифрового подання вимірюваного параметра x або для дискретного подання (наприклад, норм/ авар, вкл/вимк). Зазвичай, струм лінії зв'язку вбирається у 10-20 мА. Максимально допустима довжина лінії зв'язку залежить від величини струму ВВП, активного опору лінії може доходити до 3-5 км.

5.4.2. Мережі давачів та цифрові інтерфейси

Як правило, мережі польового рівня характеризуються невеликими довжинами ліній зв'язку, коротким часом циклу передачі, малими обсягами даних (зазвичай усі дані містяться в одному пакеті) і відносно низькими цінами на середовище передачі та підключення вузла в порівнянні з мережами польового рівня. Звичайним завданням мереж польового рівня є отримання даних від усіх пристроїв за час, що не перевищує часу технологічного циклу.

Цифровий ПВП може мати такі найпоширеніші фізичні інтерфейси (фізичний інтерфейс визначається спеціальним набором електричних зв'язків та характеристиками сигналів):

- ◇ • ПВП з струмовою петлею (CL);
- ◇ • ПВП з виходом RS 232 або RS 485;
- ◇ • ПВП з HART виходом;
- ◇ • ПВП з польовою шиною (PB або FB);
- ◇ • ПВП з CAN.

5.4.3. ПВП з струмовою петлею (CL)

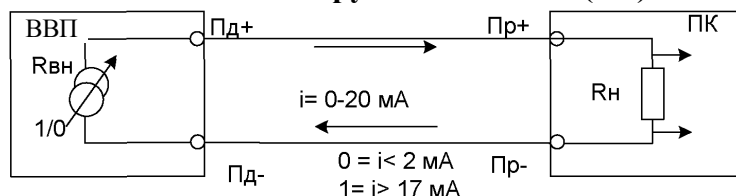


Рис. 17. З'єднання ВВП з ПЛК лінією зв'язку типу CL

ПВП з струмовою петлею (CL) відноситься до класу універсальних двоточкових радіальних інтерфейсів віддаленого послідовного доступу до систем. Це з'єднання широко застосовується в промисловому устаткуванні, оскільки дозволяє здійснити зв'язок по фізичних лініях на далекі відстані до 3 км без використання апаратури передачі даних (модемів). Інтерфейс CL є дво- і чотирипровідною лінією, що утворює струмову петлю з дискретно перемиканим джерелом струму і приймачем. Послідовні дані від джерела до приймача (рис. 17) передаються бітно та побайтно асинхронним способом сигналами постійного струму $i = 20$ мА (іноді використовуються сигнали 10, 40 або 80 мА). Струм, що перевищує 17 мА, представляє логічну "1" (маркер), а струм, менший ніж 2 мА, - логічний "0" (пробіл). Один із взаємодіючих пристроїв має бути активним і служити джерелом струму, а інший пасивним (приймачем).

Інтерфейс CL має, як правило, протяжну лінію передачі, яка піддається впливу зовнішніх перешкод та перенапруг. Тому схеми передавача та приймача лінії гальванічно розв'язуються за рахунок використання оптронів та ізольованих джерел живлення.

Максимальна швидкість передачі сигналів струмової петлі - 9600 біт/с при довжині лінії зв'язку до 300 м. Знижуючи швидкість передачі, можна майже пропорційно збільшувати довжину лінії: на швидкості 1200 біт/с довжина лінії збільшується до 2000 м. Струмкова

петля використовується зазвичай для поєднання одного передавача і одного приймача, але, в принципі, вона може охоплювати і кілька послідовно з'єднаних пасивних приймачів. Струмкова петля дозволяє передавати дані по двопровідній лінії в одному напрямку (симплексний зв'язок): від передавача до приймача. Для дуплексного зв'язку одночасної передачі у двох протилежних напрямках) використовується чотирипровідна лінія.

5.4.4. Інтерфейс з RS 232

Інтерфейс з RS 232 застосовується для встановлення синхронного та асинхронного зв'язку тільки між двома пристроями в симплексному, напівдуплексному (двопровідний варіант) і дуплексному режимах (чотирьохпроводний варіант). Швидкість передачі за інтерфейсом RS 232C становить від 50 до 19200 біт/с. Максимальна довжина ліній зв'язку при максимальній швидкості не перевищує 16 м. На практиці ця відстань може бути суттєво збільшена при зниженні швидкості передачі та використанні екранованого кабелю з малою власною ємністю (при швидкості 1200 біт/с максимальна довжина кабелю неекранованого досягає 900 м). Формат передачі визначається протоколом зв'язку. Типовий формат асинхронної передачі даних за цим інтерфейсом є наступним пакетом: байт даних оформляється стартовим бітом, необов'язковим бітом паритету і стоповим бітом. Будь-яке повідомлення, що передається інтерфейсом асинхронним способом, представляє сукупність байтів даних, оформлених вказаним чином. Сигнали цього інтерфейсу передаються перепадами напруги величиною (3...15). невелика відстань з одного комп'ютера до іншого. Інтерфейс RS-232 принципово не дозволяє створювати мережі, тому що з'єднує тільки 2 пристрої (так зване з'єднання "крапка - крапка"). Зараз цей інтерфейс на невеликих відстанях зв'язку замінюється на чотири проводний USB.

Інтерфейс RS 485

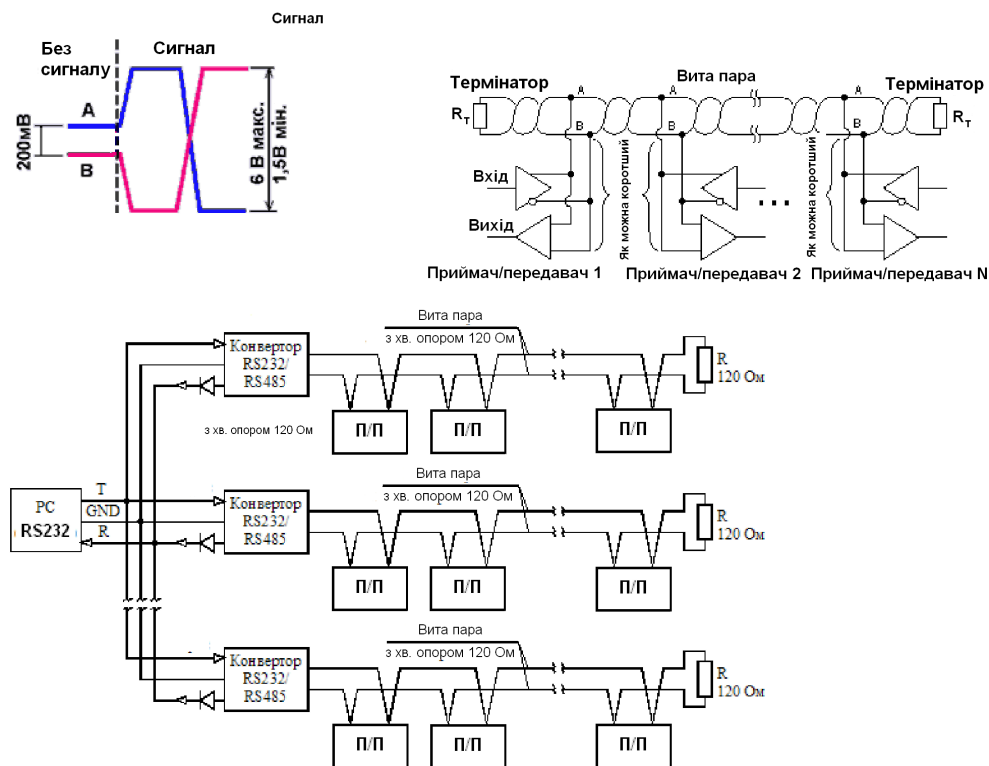


Рис. 18 Багатоточковий зв'язок за інтерфейсом RS 485

Інтерфейс RS 485 орієнтований при 1 Мбіт швидкості передачі на спільну роботу до 32 джерел та 32 приймачів даних (рис. 18). Такий інтерфейс дозволяють об'єднувати прилади в розгалужені мережеві структури і тому останніми роками вони все частіше реалізуються у різних приладах, зокрема, у приладах обліку енергоресурсів.

Сигнали інтерфейсу RS-485 передаються диференціальними перепадами напруги величиною (0,2... 8), що забезпечує високу завадостійкість і загальну довжину лінії зв'язку до

1 км (і більше з використанням спеціальних пристроїв - повторювачів). Типовим форматом протоколу зв'язку є протокол із сімейства ModBus.

5.5. Нормування похибки каналу виміру.

Під час розробки проекту необхідно обґрунтувати похибку вимірювання. Для цього рекомендується використовувати методику оцінювання похибки вимірювальних каналів автоматизованих систем управління технологічними процесами розрахунковим способом в умовах обмеженої вихідної інформації, коли пряме експериментальне оцінювання похибки практично неможливе або економічно невиправдане.

При розрахунку похибки датчика рекомендується використовувати для вибраних каналів вимірювання перелік складових похибки та їх процентний рівень, який наведено у додатку Р цього нормативного документа. Приклад узагальненої структури вимірювального каналу для контролю температур за допомогою термоперетворювачів опору (ГОСТ 6651-94) АС наведено на рис. 19.

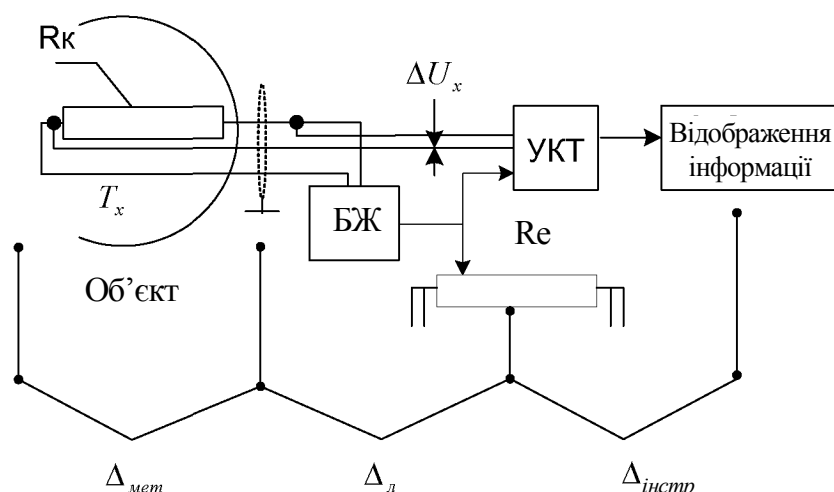


Рис. 19. Узагальнена структура вимірювального каналу

Похибка вимірювання каналу може бути визначена як

$$\Delta_{\text{вим}} = \Delta_{\text{мет}} + \Delta_{\text{л}} + \Delta_{\text{інст}} + \Delta_{\text{ф}}$$

де $\Delta_{\text{мет}}$ - методична похибка давача; $\Delta_{\text{л}}$ - похибка ліній зв'язку; $\Delta_{\text{інст}}$ - сумарна інструментальна похибка каналу виміру програмно-технічного комплексу АС (АЦП, алгоритм розрахунків, візуалізація на екрані комп'ютера), $\Delta_{\text{ф}}$ - похибка від додаткових факторів впливу; на рисунку R - термоперетворювач опору; T_x - вимірювана температура; БП - блок живлення; R - еталонний опір; ΔU_x - вхідний сигнал. $\Delta U_x = f(T_x)$; УКТ - блок перетворення аналогового сигналу у код АЦП і передачі на відображення. По кожному вимірювальному каналу в пояснювальній записці рекомендується проводити узагальнену структурну схему вимірювального каналу (приклад, наведений на рис. 19) і робити обґрунтування, з наступним зразком.

Приклад

Датчик тиску (температури, витрати) вибирається відповідно до рекомендації міждержавного нормативного документа «Забезпечення ефективності вимірювань при управлінні технологічними процесами» з урахуванням заданої вимоги до похибки каналу вимірювання (не більше 0.3 %) із заданою розрядністю АЦП (10розрядів).

Розрахунок похибки вимірювання датчика тиску провадиться за формулою:

$$\delta_1 \leq \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2)},$$

де $\delta = 0,3 \%$ - потрібна сумарна похибка вимірювання каналу вимірювань при довірчій ймовірності 0,95;

$\delta_2 = 0,05$ - похибка передачі каналу; δ_3 - похибка, що вноситься АЦП; δ_4 та δ_5 - додаткові похибки, що вносяться відповідно навколишньою температурою та вібрацією.

Похибка, що вноситься 10-розрядним АЦП, була розрахована наступним чином:

$$\delta_3 = \frac{1 \cdot 100}{2^{10}} = 0.1 \text{ \%}.$$

При розрахунку враховуються додаткові похибки, спричинені впливом:

- ◇ температури навколишнього повітря;
- ◇ вібрації.

Додаткова похибка, викликана температурою навколишнього повітря, була встановлена згідно з рекомендацією РМГ 62-2003:

$$\delta_4 = \frac{0,3 \cdot 34}{100} = 0,102 \text{ \%}$$

Додаткова похибка, спричинена вібрацією: $\delta_5 = 0,3 - 0,19 = 0,057\%$.

Отже, основна похибка датчика тиску, що допускається, повинна не перевищувати:

$$\delta_{\lambda} < 0,254 \text{ \%}.$$

За результатами розрахунку вибирається давач моделі 2460 з такими технічними характеристиками:

- ◇ верхня межа виміру - 10 МПа;
- ◇ межа основної похибки, що допускається $\pm 0,25 \text{ \%}$;
- ◇ вихідний сигнал – 4-20 мА;
- ◇ живлення – постійний струм напругою $36 \pm 0,72 \text{ В}$;
- ◇ вага 10 кг.

Вимірювальний прилад забезпечує безперервне перетворення значення вимірюваного параметра уніфікований струмовий вихідний сигнал. Перетворювач забезпечує його роботу з вторинною індикаційною та реєструючою апаратурою, регуляторами та іншими пристроями автоматики, що працюють від стандартного вхідного сигналу 0...5, 0...20 або 4...20 мА постійного струму.

6. ВИБІР ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ

6.1. Загальні визначення

Виконавчим пристроєм (ВП) називається пристрій у системі управління, що безпосередньо реалізує керуючий вплив з боку регулятора на об'єкт управління шляхом механічного переміщення регулюючого органу (РВ).

Регулююча дія від виконавчого пристрою має змінювати процес у необхідному напрямку для досягнення поставленого завдання - оптимізації та (або) стабілізації якості регульованої величини. Цей вплив може здійснюватися різними способами, а саме:

- ◇ зміною кількості речовини, що надходить, за рахунок дроселювання його потоку або за рахунок зміни продуктивності агрегату;
- ◇ зміною кількості тепла, що вноситься за рахунок зміни теплоносія, що надходить або палива;
- ◇ зміною дози речовини за рахунок зміни напрямку її надходження або швидкості обертання приводного механізму подачі цієї речовини, періодичного включення або вимкнення агрегатів, припинення подачі речовини або зупинки агрегатів з метою виключення аварійних виробничих ситуацій.

Можливі комбінації цих методів. Для здійснення одного із зазначених способів регулюючого впливу можуть бути використані виконавчі пристрої з різними принципами дії та конструктивним виконанням.

Виконавчі пристрої складаються з двох основних функціональних вузлів:

- ◇ Регулюючий орган (привод), призначений для управління виконавчим механізмом відповідно до командної інформації, отриманої від керуючого пристрою.
- ◇ Виконавчий механізм – клапан, заслінка тощо, що впливають на процес шляхом зміни пропускної спроможності трубопроводу.

ВП поділяються на три групи:

- ◇ ВП великих витрат (регулюючі заслінки) з коефіцієнтом пропускної спроможності (k_v) $k_v = 20-20000$ м³/год.
- ◇ ВП середніх витрат (регулюючі клапани) $k_v = 4-1600$ м³/година.
- ◇ ВП малих витрат (регулюючі клапани) $k_v = 0,1-2,5$ м³/година.

Залежно від конструктивних особливостей РВ виконавчі пристрої поділяють на види:

- ◇ заслонкові;
- ◇ односідлові;
- ◇ двосідлові;
- ◇ триходові;
- ◇ шлангові;
- ◇ діафрагмові.

Частина ВП зведено у серії:

Серія 100 - заслонки регулюючі.

Серія 200 - клапани регулюючі двосідлові.

Серія 300 - клапани регулюючі односідлові.

Серія 400 - клапани регулюючі триходові.

Серія 500 - шлангові клапани.

Односідлові регулюючі клапани стали застосовувати раніше за двосідлові. Вважається, що вони технологічні за двосідлові, менш металомісткі і більш герметичні. Відсутність застійних зон в односідлових клапанах дозволяє застосовувати їх регулювання більш в'язких середовищ. Покращенні кавітаційні та шумові характеристики дозволяють використовувати односідлові клапани при порівняно великих перепадах тиску. Висока ремонтпридатність дає значну економію під час експлуатації. Основний недолік, що обмежує застосування традиційних конструкцій односідлових виконавчих пристроїв, - відсутність розвантаження затвора, що викликає необхідність застосування порівняно потужних виконавчих механізмів. Останнім часом з'явилися конструкції односідлових

виконавчих пристроїв, позбавлених цього недоліку що зберігають усі зазначені вище переваги. Затвор розвантажується, як правило, шляхом поміщення його в спеціальну обойму (так звану клітину), яка одночасно є і спрямовує затвор. У деяких конструкціях затвор є звичайним поршнем, а в обоймі виконані профільовані вікна для отримання певної пропускної характеристики; в інших конструкціях профільовані вікна знаходяться на затворі, а в обоймі виконані циліндричні або прямокутні отвори. Є конструкції розвантажених односідлових виконавчих пристроїв з отвором у затворі, що з'єднує порожнини над і під затвором, тобто розвантажує його. Односідлові виконавчі пристрої можуть бути запірно-регулюючими. При цьому ущільнення здійснюється за допомогою м'якої прокладки.

Умовні позначення виконавчих пристроїв показані рис. 20:

◇ виконавчий пристрій (загальне позначення). Положення регулюючого органу при припиненні подачі енергії або сигналу, що управляє, не регламентується, - рис. 20.1 ;

◇ - виконавчий пристрій, що відкриває регулюючий орган при припиненні подачі енергії або сигналу, що управляє, - рис. 20.2 ;

◇ - виконавчий пристрій, що закриває регулюючий орган при припиненні подачі енергії або сигналу, що управляє, - рис. 20.3;

◇ - виконавчий пристрій, що залишає регулюючий орган у незмінному положенні при припиненні подачі енергії або сигналу, що управляє, - рис. 20.4;

◇ - виконавчий пристрій з додатковим ручним приводом (позначення може застосовуватися у поєднанні з будь-яким із додаткових знаків, що характеризують положення регулюючого органу при припиненні подачі енергії або сигналу, що управляє), - рис. 20.5;

◇ - автоматичний захист із системи протиаварійного захисту (ПАЗ, рис. 20.6);

◇ - технологічне відключення (включення) із системи управління (див. рис. 20.7);

◇ - регулюючий орган (засувка, клапан і т.д.), -рис. 20.8;

◇ - регулюючий клапан, що відкривається при припиненні подачі енергії (нормально відкритий) - рис. 20.9;

◇ - регулюючий клапан, що закривається при припиненні подачі енергії (нормально закритий) - рис. 20.10;

◇ - електропневматичний клапан, що управляє, - рис. 20.11;

◇ - відсікач з приводом (запірний клапан) - рис. 20.12;

◇ - електрозасувка, - рис. 20.13;

◇ - пневмовідсікач, - рис. 20.14;

◇ - відбірний пристрій без постійно підключеного приладу (служить для епізодичного підключення приладів під час налагодження, зняття характеристик тощо), - рис. 20.15.

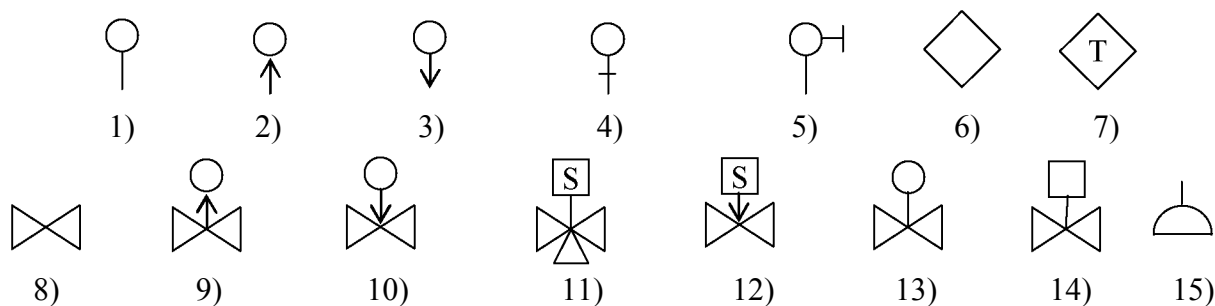


Рис. 20. Умовні позначення виконавчих пристроїв

У багатьох галузях більшість керуючих впливів реалізується шляхом зміни витрат речовин (наприклад, сировини, палива, кубового залишку колони тощо).

Здійснення управляючих впливів, досягається регулюючими пристроями (регуляторами). Регулятор, отримуючи сигнали безпосередньо від датчика або через пристрій централізованого контролю, виробляє відповідно до заданої програми та закону регулювання енергетичні імпульси, що приводять у дію виконавчий механізм, який через регулюючі органи (комутуючу апаратуру, керовані вентилі, клапани, заслінки, засувки)

змінює потоки енергії чи речовини і цим впливає об'єкт регулювання.

6.2. Класифікація виконавчих пристроїв

Виконавчі пристрої залежно від використовуваної енергії можна поділяти на такі види:

- ◇ ◇- пневматичні (з пневматичним ІМ);
- ◇ ◇- електричні (з електричним ІМ);
- ◇ ◇- гідравлічні (з гідравлічним ІМ);
- ◇ ◇- електропневматичні (пневматичний ІМ з електропневматичним перетворювачем);
- ◇ ◇- електрогідравлічні (гідравлічний ІМ з електрогідравлічним перетворювачем);
- ◇ ◇- пневмогідравлічні (гідравлічний ІМ з пневмогідравлічним перетворювачем).

Крім відомих і широко використовуваних регуляторів для регулювання технологічних процесів використовуються:

- ◇ - засувки, шибери, вентилі, крани, за допомогою яких змінюються витрати технологічних середовищ для підтримки заданого значення регульованої величини;
- ◇ - напрямні лопатки, що дозволяють змінювати продуктивність тягових агрегатів;
- ◇ - стругові ежектори, що впливають на зміну напрямку потоку сипучих речовин;
- ◇ - реостати, зміна електричного опору яких викликає зміну сили струму в електричних колах, що забезпечує регулюючий вплив на процес (наприклад, регулювання температури за допомогою електронагрівачів);
- ◇ - спеціальні пристрої та пристрої, що забезпечують тим чи іншим способом необхідну регулюючу дію.

Крім того, в якості регулюючих органів може використовуватися технологічне обладнання, а саме: насоси, компресори, конвеєрні механізми, шнекові, лопатеві та дискові живильники, позиціонери.

6.3. Вибір ВП

При виборі ВП насамперед слід оцінити його основні характеристики:

- ◇ Пропускна здатність (K_v) - витрату ($\text{м}^3/\text{год}$).
- ◇ Пропускна характеристику – залежність пропускної здатності від переміщення затвора h : $K_v = f(h)$.
- ◇ Умовний прохід D_u , мм – діаметр вхідного патрубку клапана;

Вирішальним значенням для оптимального регулювання та досягнення бажаної продуктивності виконавчого органу (клапану) є:

- ◇ вибір пропускної спроможності, який мірою визначається перетином клапана;
- ◇ узгодження перерізу клапана з тиском і обліком гідравлічних опорів.

Оскільки витратна характеристика регулюючого органу залежить від гідравлічного опору трубопровідної мережі, де він встановлений, необхідно мати можливість коригувати цю характеристику. Регулюючі органи мають суцільні або пустотілі циліндричні плунжери, що допускають зміну профілю для отримання необхідної витратної характеристики. Для полегшення коригування витратної характеристики випускають клапани з різними видами пропускної характеристики: лінійною та рівнопроцентною.

У клапанів з лінійною характеристикою збільшення пропускної здатності пропорційно ходу плунжера, тобто.

$$dK_v = a \, dh$$

де: a - коефіцієнт пропорційності.

У клапанів з рівнопроцентною пропускною характеристикою збільшення пропускної спроможності пропорційне ходу плунжера та поточного значення пропускної спроможності, тобто.

$$dK_v = a \, K_v \, dh$$

Відмінність між пропускною та витратною характеристиками тим більша, чим більший гідравлічний опір трубопровідної мережі. Відношення пропускної здатності клапана K_v до пропускної здатності мережі K_T - гідравлічний модуль системи:

$$n = K_v / K_T$$

При значеннях $n > 1.5$ клапана з лінійною пропускною характеристикою стають непридатними через зміну коефіцієнта пропорційності а протягом усього ходу. Для регулюючих клапанів з рівнопроцентною пропускною характеристикою витратна характеристика близька до лінійної при значеннях від 1,5 до 6. Оскільки діаметр технологічного трубопроводу D_t зазвичай вибирається із запасом, може виявитися, що регулюючий клапан з таким же або близьким діаметром умовного проходу D_u має надмірну пропускну здатність та, відповідно, гідравлічний модуль. Для зменшення пропускної спроможності клапана без зміни його приєднувальних розмірів заводи-виробники випускають клапани, що відрізняються лише діаметром сідла D_c .

6.4. Обґрунтування вибору

При виборі виконавчих пристроїв у пояснювальній записці проекту рекомендується навести такі відомості:

- ◇ фізичну величину регулювання (P, F, L, T та ін.);
- ◇ одиниці регульованого параметра (мм, МПа, г/м³, ін.);
- ◇ тип виконавчого пристрою, значення K_v і D_u ;
- ◇ спосіб регулювання;
- ◇ інформацію про процес (температура, в'язкість, рідкий газ, сипучий матеріал, щільність, тиск, електропровідність);
- ◇ вимоги до джерел живлення (потужність, напруга, струм, (не)автономне, тип кабельного вводу);
- ◇ приєднання до процесу (стандарт ANSI/ASME (американські розміри), DIN (європейські розміри), номінал фланця DN/PN (розмір приєднання до процесу / номінал тиску для фланця), різьблення: G3/4A, G1A, G1,5A, спосіб монтажу: камера, патрубок, ін.)
- ◇ точність (похибка) регулювання;
- ◇ діапазон регулювання;
- ◇ індикація (за місцем/ні, виносна, ін.);
- ◇ діапазон вхідного сигналу;
- ◇ умови експлуатації (відкрите повітря, приміщення, фізична IP-захищеність, вібростійкість, температурний діапазон вимірюваного середовища та електроніки, термін служби);
- ◇ інтерфейси зв'язку з комп'ютерним середовищем (RS 232, Ethernet, RS485/422 та ін.);
- ◇ електробезпека (захист від короткого замикання, захист від неправильного підключення, електромагнітна EN 61326-сумісність, іскробезпека);
- ◇ приблизна вартість (у тому числі витрати у процесі їх експлуатації);
- ◇ позитивний досвід їх застосування (у тому числі технічна підтримка, показник застосування та ін.)

7. ВИБІР ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ КОМУНІКАЦІЇ

7.1. Вибір структури інформаційної мережі

Інформаційна мережа включає сотні конструкцій датчиків, приводів і керуючих пристроїв різних фірм, що синхронно обмінюються інформацією в режимі реального часу. Вони пов'язані між собою промисловими шинами, що забезпечують високу швидкість і надійність обміну інформацією. Цифрову інформацію передають, як правило, по двопровідній лінії зв'язку. Помилка, передача не тому абонентові або затримка в передачі інформації може привести до аварії на виробництві з важкими наслідками. Інформацію передають у вигляді датаграми, в якій само повідомлення займає 15-20% довжини. Інша частина відводиться на забезпечення надійності передачі повідомлення. Розробка однієї промислової шини вимагає зусиль не однієї фірми протягом декількох років. Особливу увагу приділяють захисту повідомлення від спотворень в процесі передачі по лінії зв'язку. Помилкове розпізнавання повідомлення навіть в одному розряді може привести до аварії на виробництві.

Вибір типу промислової шини залежить від типу виробництва. Для дискретного виробництва вимагається висока швидкість передачі інформації через порівняно короткі лінії зв'язку. У безперервному виробництві має бути передбачене циклічне опитування пристроїв автоматики, вирішення ситуації відсутності інформації від ситуації відмови, самодіагностика мережі, відшукування шляхів передачі інформації при пошкодженнях мережі.



Рис. 21. Структура інформаційної мережі підприємства

У розподіленій інформаційній системі розрізняють чотири рівні (рис. 21).

1. Мережа нижнього рівня

До мережі підключають датчики і приводи, розміщені на одиницях обладнання. Тут сигнали датчиків перетворюють в сигнали стандарту інформаційної мережі. Маршрутизатор вводять для перетворення сигналів однієї промислової шини в сигнали іншої промислової шини. Для цієї мережі все частіше застосовують HART-протокол чи AS-інтерфейс.

2. Шина керування устаткуванням

До неї підключають інтелектуальні датчики і приводи, вбудовані пристрої узгодження з промисловими шинами, мережа нижнього рівня, а також пристрої керування, узгоджені з промисловими шинами, що підключаються. На цьому рівні застосовують промислові шини INTERBUS, PROFIBUS, WorldFIP, а також шину стандарту IEC 61158-3.

3. Закрита шина

Сполучає робочі місця менеджера підприємства і диспетчера цеху з пристроями керування процесами. У 80-х роках такі шини працювали по протоколу MAP (Manufacturing

Automation Protocol), розробленому "Дженерал Моторс" (США). Останнім часом на цьому рівні застосовують шину стандарту "Ethernet".

4. Відкрита шина.

На цьому рівні обробляється інформація для управління підприємством. Його називають мережею підприємства LAN (Local Area Network) або Інтранет, до якої підключені офісні комп'ютери. Ця мережа працює по стандартному протоколу TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol), що дозволяє підключатися до Інтернету і управляти підприємством можна з будь-якої точки світу.

7.1.1. Мережева архітектура

На рис. 22 представлена мережева архітектура комунікацій ПЛК. Пристрої верхнього рівня (комп'ютери, концентратори) своєму рівні обмінюються великими обсягами інформації. Ця інформація захищена механізмами підтверджень та повторів на рівні протоколів взаємодії. Масив даних, що пересилається, може бути доступний не тільки центральному пристрою, але і іншим вузлам мережі цього рівня. Це означає, що мережа є рівноправною (одноранговою), тобто визначається моделлю взаємодії peer-to-peer (рівний з рівним). Час доставки інформації не є домінуючою вимогою до цієї мережі (йдеться про жорсткий реальний час).

Мережі, які забезпечують інформаційний обмін цьому рівні, називають інформаційними мережами. Найбільш яскравим представником мереж цього рівня є Ethernet із протоколом TCP/IP.

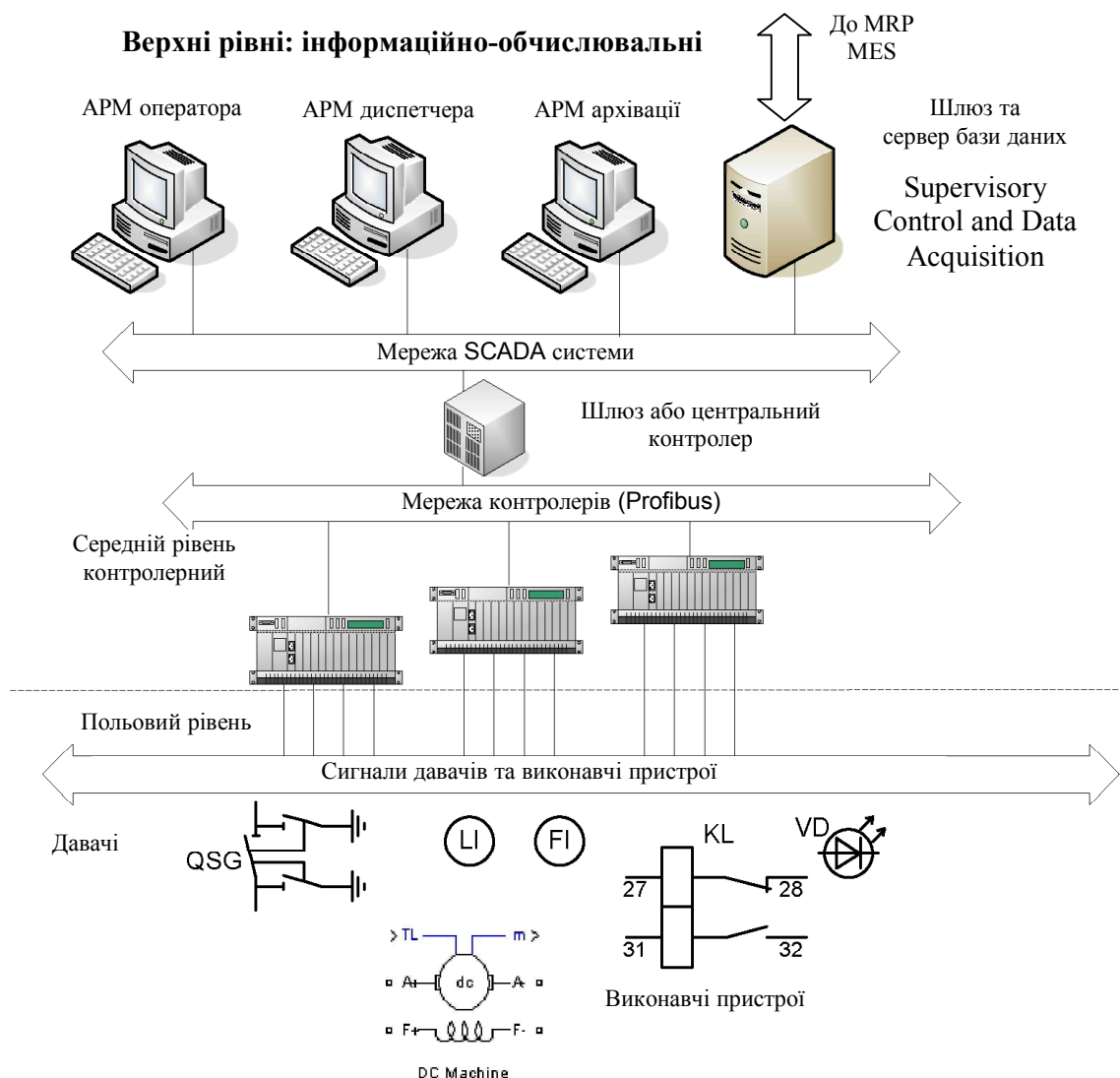


Рис. 22. Мережева архітектура комунікацій ПЛК

Мережі, що забезпечують інформаційний обмін між SCADA, контролерами,

датчиками та виконавчими пристроями, часто об'єднуються під загальною назвою – промислові мережі.

Їх можна поділити на два рівні:

- ◇ - комунікаційні промислові мережі, які вирішують завдання зв'язку з комп'ютерами SCADA системи;
- ◇ - контролерний ввід/вивід сигналів, завдання якого зводяться до опитування датчиків та управління роботою різноманітних виконавчих пристроїв.

Для забезпечення безпомилковості та максимальної зручності передачі інформації комунікаційні операції регулюються набором правил та угод, які називають мережевим протоколом. Мережевий протокол визначає типи роз'ємів, кабелів, сигнали, формати даних та способи перевірки помилок, а також алгоритми для мережних інтерфейсів та вузлів, припускаючи стандартними в межах мережі принципи підготовки повідомлень та їх передачі.

На сьогоднішній день спектр протоколів для обох цих класів промислових мереж (керуючі та польові) досить широкий.

CAN, FIP, Profibus, MPI, ControlNet, DH+, Modbus, Modbus plus, Genius, DirectNet, DeviceNet, Interbus, SDS, ASI, HART, FF та ще кілька десятків протоколів присутні сьогодні на ринку промислових мереж. Кожна з мереж має свої особливості та сфери застосування.

7.2. Протоколи обміну інформацією

Протоколом називають порядок обміну інформацією між пристроями, підключеними до шини. Інформацію передають у вигляді датаграми. Передача інформації починається із запиту адресата ініціатором зв'язку (рис. 23). Адресат, отримавши запит ініціатора зв'язку, передає йому свій відгук. Ініціатор, отримавши підтвердження адресата, відправляє йому датаграму з інформацією. Датаграма містить ознаку початку, адресне поле, поле управління, поле даних, поле перевірки достовірності передач та ознаку кінця.

У кінці датаграми здійснюється перевірка правильності переданого повідомлення. Найчастіше її здійснюють за допомогою перевірного полінома CRC (Cyclic Redundance Checking). Датаграма розглядається як багаторозрядне слово. Відправник ділить датаграму на визначене ним число частин. Остача після ділення є контрольним словом, що передається у кінці датаграми. Приймач знову ділить датаграму на це ж число частин і порівнює отриману остачу, з контрольним словом. Такий спосіб дозволяє не лише виявити, але і виправити помилки в повідомленні. Деякі поліноми можуть виправляти в повідомленні декілька помилок.

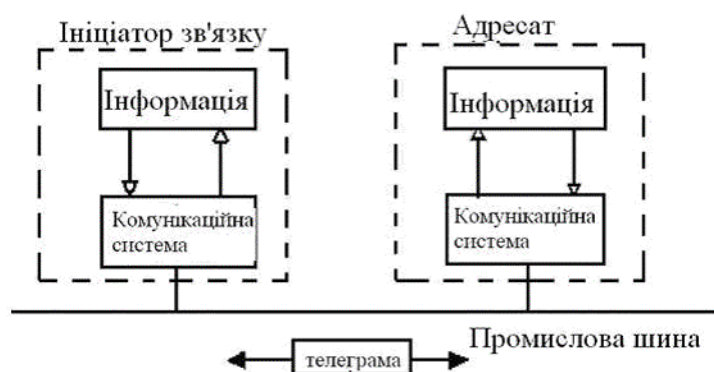


Рис. 23. Порядок обміну інформацією через шину



Рис. 24. Рівні протоколу обміну інформацією в промисловій шині

Міжнародний стандарт ISO/OSI (International Standard Organisation / Open System Integration - Міжнародна організація по стандартизації / Стандартна модель пересилки для сполучення відкритих систем) визначає сім рівнів протоколу промислової шини (рис. 24). Кожен рівень визначає одну із сторін організації зв'язку ініціатора і адресата через шину (табл. 3).

Табл. 3. Функції рівнів протоколу передачі інформації за стандартом ISO/OSI

Рівень протоколу	Функція
7. Прикладний	Узгодження прикладних програм абонентів, розпізнавання відсутності сигналу і відмови датчика, виділення початку і кінця поля даних
6. Показний	Перетворення кодів і переформатування даних при обміні даними між взаємодіючими процесами в різних місцях шини
5. Сеансовий	Порядок обміну даними між процесами в різних місцях шини, що взаємодіють в реальному часі.
4. Транспортний	Пошук нового шляху для встановлення зв'язку абонентів при відмові проміжного вузла між ними
3. Мережевий	Формування наскрізного каналу зв'язку між ведучим і веденим абонентами через вузли шини, що мають пріоритети
2. Канальний	Формат кадру інформації, спосіб ведення і припинення зв'язку, спосіб перевірки правильності прийому даних, запобігання накладання повідомлень в лінії одне на одне, віднесення повідомлення до запиту або відгуку
1. Фізичний	Напруга і форма цифрових імпульсів в лінії зв'язку

Головним рівнем, наявним в усіх протоколах промислових шин, є прикладний. Він забезпечує взаєморозуміння між змістом програм абонентів. Інформація, що передається упаковується в полі даних на каналному рівні (рис. 25).



Рис. 25. Структура інформації, що передається на каналному рівні

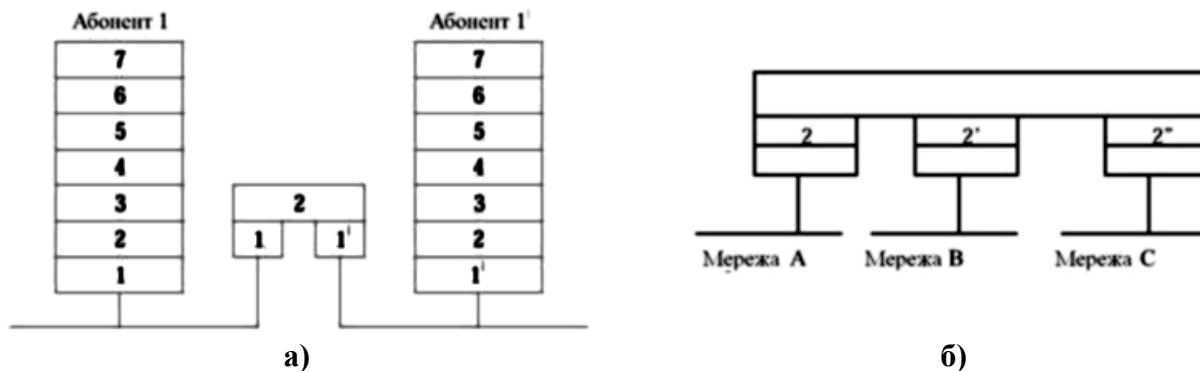


Рис. 26. Зв'язок абонентів через протокол промислової шини: а)-мостова архітектура; б)- маршрутна архітектура

При відправці повідомлення прикладну програму передавача перетворюють в прикладний рівень протоколу. Потім в повідомлення послідовно додають інформацію інших рівнів, закінчуючи фізичним рівнем. На вході приймача відбувається зворотне перетворення - від фізичного до прикладного рівня. Зв'язок двох абонентів може здійснюватися по мостовій або маршрутній структурах (рис. 26). При мостовій архітектурі абоненти підключені до однієї мережі. При маршрутній архітектурі абоненти підключені до різних мереж.

Більшість протоколів містять 2-3 рівні з 7. Протокол Ethernet містить лише фізичний і каналний рівні. Він реалізується у відкритій або закритій шині з лінією зв'язку у вигляді коаксіального кабелю чи витой пари. Шини PROFIBUS, P-NET, World FIP, Interbus-S містять

фізичний, каналний і прикладний рівні. Офісні протоколи (TCP/IP), крім фізичного, каналного і прикладного, містять мережевий, транспортний, сеансовий та представницький рівні. Структура шини буває лінійною, деревовидною, кільцевою чи комбінованою (рис. 27).

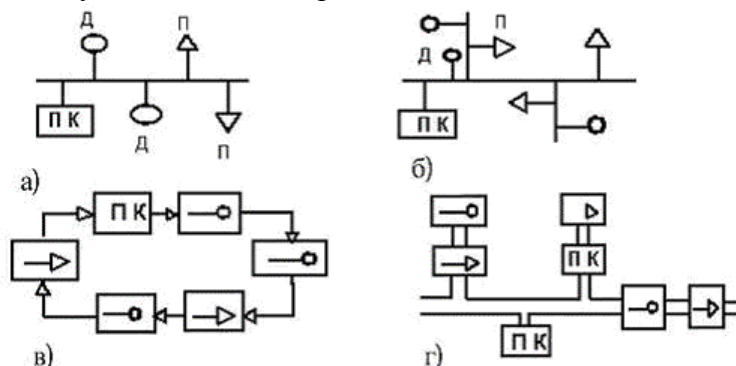


Рис. 27. Структури промислових шин : а) -лінійна; б) - деревовидна; в) - кільцева; г) – комбінована (ПК - програмований контролер)

Застосовують три способи зв'язку між пристроями, підключеними до шини (рис. 28): зв'язок двох клієнтів S (Slave) через сервер M; зв'язок клієнтів через кільце; комбінований зв'язок.

У якості лінії передачі промислові шини зазвичай використовують виту пару провідників. З обох кінців лінії зв'язку два провідники замкнено хвильвим опором. Для передачі даних в шинах використовують стандарти апаратного з'єднання об'єктів RS-485 або IEC 61158-2. На відміну від поширеного стандарту RS-232, що зв'язує дві точки, стандарт RS-485 дозволяє працювати з числом точок до 32 при довжині лінії до 1,5 км і швидкості передачі до 10 Мбіт/с. У міру збільшення довжини лінії швидкість передачі знижується до 9600 кбіт/с. Інформація кодується біполярною напругою з рівнями логічного нуля від 1,5 до 5 В і логічної одиниці від - 1,5 до - 5 В (рис. 29).

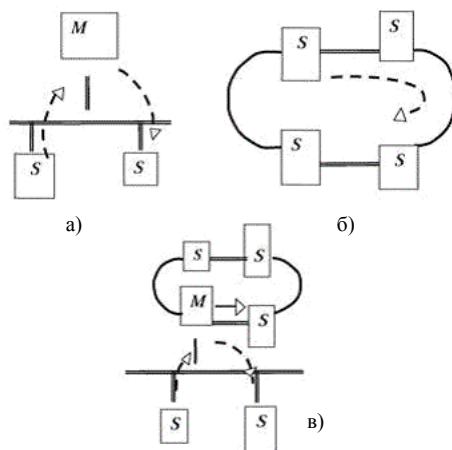


Рис. 28. Способи зв'язку клієнтів: S (Slave) в промисловій шині: а) - через сервер M (Master); б) - через кільце; в) - комбінований зв'язок

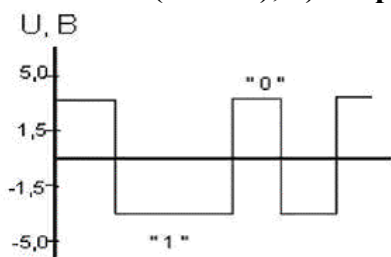


Рис. 29. Кодування бінарних сигналів за стандартом RS-485

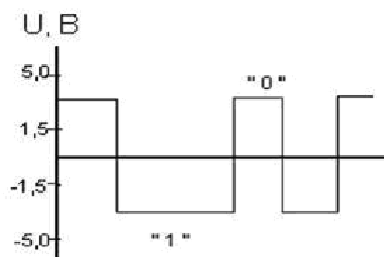


Рис. 30. Кодування бінарних сигналів Манчестерським кодом

З метою надійнішої передачі інформації бінарні сигнали кодують Манчестерським кодом. У нім логічному нулю відповідає перехід напруги імпульсу з нижнього на верхній

рівень, а логічній одиниці - перехід з верхнього на нижній рівень. Для цього в лінію подають стробуючі імпульси з постійною частотою, які додаються до бітів інформації.

Якщо біт інформації дорівнює нулю, то сигнал в лінії переходить з нижнього рівня на верхній. Якщо біт інформації дорівнює одиниці, то сигнал в лінії переходить з верхнього рівня на нижній (рис. 30). Якщо усі біти інформації дорівнюють нулю, то сигнал в лінії повторює стробуючі імпульси постійної частоти. Якщо усі біти інформації дорівнюють одиниці, то сигнал в лінії протилежний стробуючим імпульсам. Зміни сигналу відбуваються в середині такту стробуючих імпульсів. Таким чином, довга послідовність одиниць або нулів в повідомленні передається не рівнем сигналу, а пакетом стробуючих імпульсів.

Прийнятий в 2000 р. міжнародний стандарт промислової шини IEC 61158-2 відрізняється тим, що додатково реалізує безпеку самої промислової шини. Особливістю стандарту є використання сигналів не лише для обміну інформацією, але і для живлення підключених пристроїв. При струмі споживання одного пристрою 10 мА до шини можуть підключатися до 10 пристроїв. Швидкість передачі при довжині лінії 1900 м складає 31,25 кбіт/с. Передачу інформації від одного об'єкту до іншого здійснюють у вигляді датаграм. Датаграма містить початок, адресу, інформацію, контрольні біти, кінець. Бінарні сигнали кодують Манчестерським кодом.

7.3. Огляд стандартів шини

Працюючи в середовищі жорсткої конкуренції, розробники шин ведуть боротьбу за визнання свого протоколу міжнародним стандартом. Розроблено понад 50 протоколів промислових шин, з яких на практиці застосовують не більше п'яти (табл. 4). Одночасно постачальники устаткування, що прагнуть розширити ринок збуту, розробляють маршрутизатори або мости - пристрої узгодження апаратури, що випускається ними, з різними типами промислових шин.

Табл. 4. Поширені протоколи промислових шин

Протокол	Застосування	Розробник	Частка в Європі, %
PROFIBUS	Дискретне (PROFIBUS - FMS, PROFIBUS - DP) або безперервне (PROFIBUS -PA) виробництво	Siemens (Німеччина)	53,6
P-NET	Дискретне або безперервне виробництво	Данія	-
World FIP	Дискретне або безперервне виробництво	Telemecanique (Франція)	
Foundation - Fieldbus	Безперервне виробництво	Fieldbus Foundation (США)	10,3
Interbus - S	Дискретне виробництво	Phoenix Contact (США)	8,4

Розглянемо деякі поширені протоколи промислових шин.

У протоколі шини Ethernet датаграма складається з шести частин (рис. 31) :

- ◇ початок, в якому 64 рази чергуються 0 і 1;
- ◇ адреса приймача, що починається з 0 для окремого пристрою і з 1 для групи пристроїв;
- ◇ адреса передавача;
- ◇ довжина наступного повідомлення даних, що дозволяє зафіксувати кінець датаграми і уникнути її накладення на іншу датаграму;
- ◇ дані, що передаються;
- ◇ перевірка циклічної надмірності.

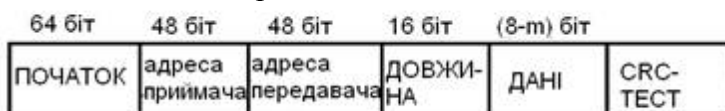


Рис. 31. Структура датаграми в шині Ethernet

7.3.1. PROFIBUS

Шина PROFIBUS (PROcess FieLd BUS) розроблена в Німеччині 1987-1991 рр. для дискретних і безперервних систем автоматизації. Вона містить рівні. Стандарт протоколу описує рівні фізичний 1, канальний 2 і прикладний 7 рівні OSI-моделі. Датаграма має змінну довжину і містить 10 частин (рис. 32): код початку для розпізнавання типу датаграми, число розрядів до закінчення датаграми, повторення довжини датаграми, код початку датаграми, код приймача, код передавача, контрольні біти типу датаграми (передача, запит, підтвердження), код даних (до 246 розрядів), код перевірки, код закінчення датаграми.

У PROFIBUS використовується гібридний метод доступу Master/Slave та децентралізована процедура передачі маркера. Мережа може складатися зі 122 вузлів, з яких 32 можуть бути Master-вузлами. Адреса 0 зарезервована для режиму широкого мовлення. У середовищі Master-вузлів за зростаючими номерами вузлів передається маркер, який надає право ведення циклів читання/запису на шині. Усі цикли суворо регламентовані за часом, організовано продуману систему тайм-аутів. Протокол добре дозволяє різноманітні колізії на шині. Налаштування всіх основних часових параметрів відбувається за сценарієм користувача. На фізичному рівні використовують протоколи RS-485, IEC 61158-2. Як лінію передавання застосовують виту пару.

Робоча швидкість передачі може бути обрана діапазоні 9,6-12 000 кбіт/с.



Рис. 32. Структура датаграми в шині PROFIBUS

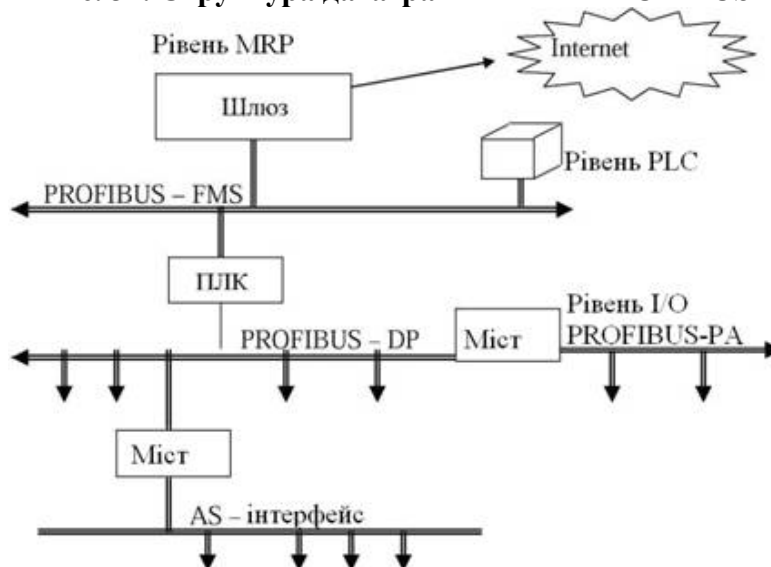


Рис. 33. Інформаційна мережа підприємства з протоколом PROFIBUS

Шина PROFIBUS є сімейством мереж, об'єднаних в ієрархічну структуру (рис. 33). На рівні I/O використовуються мережі PROFIBUS-DP і PROFIBUS-PA (для вибухонебезпечних зон). PROFIBUS-PA з'єднується з мережею PROFIBUS-DP через розділовий міст. До обох мереж через AS-інтерфейс підключають датчики і виконавчі пристрої. На середньому рівні ведуться візуалізація (SCADA) і аналіз даних про виробництво. На верхньому рівні MRP через мережу PROFIBUS-FMS забезпечується інформаційний обмін між комп'ютерами одного рангу. Через шлюз ця мережа сполучена з мережею Інтернет.

Протокол PROFIBUS-FMS з'явився першим і призначений для роботи на так званому цеховому рівні. Тут потрібен високий ступінь функціональності, і цей критерій важливіший за критерій швидкості. Основне його призначення – передача великих обсягів даних.

У завданнях управління, потребують реального часу, перше місце висувається такий параметр, як тривалість циклу шини. Реалізація протоколу PROFIBUS-DP дає збільшення продуктивності шини (наприклад, передачі 512 біт даних, розподілених по 32 станціям, потрібно всього 6 мс).

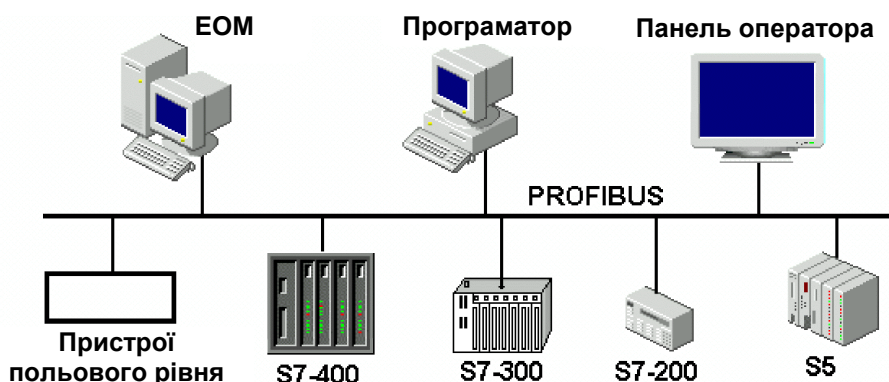


Рис. 34. Контролери Simatic S7 у мережі Profibus-DP

Протокол PROFIBUS-DP підтримується пристроями різних виробників. Для контролерів компанії Siemens цей протокол є основним (рис. 34). Деякі контролери цього бренду, зокрема, S7-300 та S7-400 мають вбудований порт PROFIBUS-DP, інші взаємодіють із мережею за допомогою комунікаційних процесорів.

7.3.2. P-NET

Шина P-NET використовує протокол RS-485 для передачі інформації по двох скручених дротах. Датаграма включає 5 частин (рис. 35) : код адреси, статус ведучого пристрою, довжину датаграми, дані, перевірку достовірності. Шина має фізичний, каналний, мережевий і прикладний рівні. На прикладному рівні описуються типи даних: булеві, словесні, цілочисельні, реальні або кодові. До шини можна підключати до 125 пристроїв.

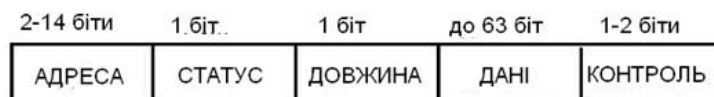


Рис. 35. Структура датаграми в шині P-NET

7.3.3. WorldFIP

Шина WorldFIP (World Factory Information Protocol) розроблена у Франції (1994 р.) із залученням близько 120 фірм Європи і США. Датаграма, що передається (рис. 36) починається з преамбули у вигляді синхронізуючого повторення кодової комбінації 10.

Повідомлення починають і закінчують комбінаціями, що тримають біти (негативний) і (позитивний), які показують, що для кодування використовується Манчестерський код.

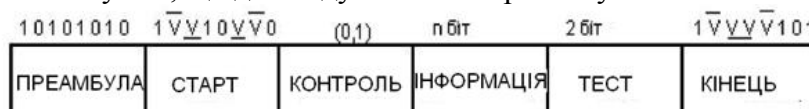


Рис. 36. Структура датаграми в шині WorldFIP

Після цього йде контрольний біт, що вказує тип датаграми. Потім передається інформація з n біт. Передача інформації закінчується двома бітами перевірки, після чого надходить код закінчення датаграми. Протокол WorldFIP містить фізичний, каналний і прикладний рівні. На каналному рівні організовується взаємодія ведучого і веденого абонентів через арбітра, що визначає часові складові циклу передачі.

7.3.4. Протокол MODBUS

Протокол MODBUS можна назвати найпоширенішим у світі. Для роботи зі своїми пристроями використовують десятки фірм. Протокол приваблює простотою логіки та незалежністю від типу інтерфейсу (RS-232C, RS-422, RS-485 або струмова петля 20 мА).

Протокол працює за принципом Master/Slave (провідний-відомий). Конфігурація на основі цього протоколу передбачає наявність одного Master-вузла та до 247 Slave-вузлів. Тільки Master ініціює цикли обміну даними. Існує два типи запитів:

- запит/відповідь (адресується лише один із Slave-вузлів);
- широкомовна передача (Master через виставлення адреси 0 звертається до решти

вузлів мережі одночасно).

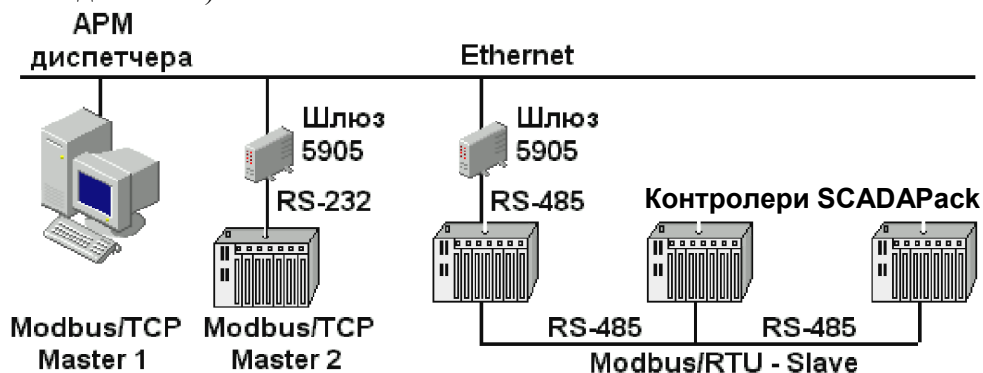


Рис. 37. Взаємодія контролерів за протоколом Modbus

На рис. 37 наведено приклад взаємодії контролерів SCADAPack/Slaves через інтерфейс RS-485, використовуючи стандартний протокол обміну Modbus. Для зв'язку контролерів SCADAPack із робочою станцією через мережу Ethernet використано модуль/шлюз Ethernet 5905.

7.3.5. Foundation - Fieldbus

Шина Foundation - Fieldbus розроблена з метою об'єднання протоколів PROFIBUS і WorldFIP. У ній фізичний рівень виконаний за стандартом IEC 61158-2, каналний - за стандартом World FIP, а прикладний - за стандартом PROFIBUS. Шина розроблена для безперервного управління при підвищених рівнях вологості і вибухобезпеки, тому в ній застосовані слабкоструміві сигнали.

7.3.6. INTERBUS-S

Шина INTERBUS-S (США, 1987 р.) суттєво відрізняється від інших шин. Спочатку в ній використовувалася восьмипровідна лінія, а потім скручена пара по протоколу RS-485, оптичне волокно або інфрачервоний канал. Шина побудована у вигляді комбінації кільцевої і деревовидної структур. Двопровідна лінія служить як для передачі сигналів, так і для живлення абонентів. Сигнали передають Манчестерським кодом. Адресу абонента вводять не в датаграму, а задають місцем абонента в кільці (рис. 38).

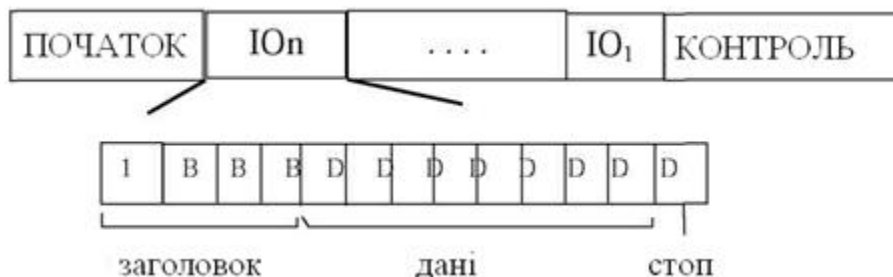


Рис. 38. Структура датаграми в шині INTERBUS-S

На початку циклу усі ведені абоненти одночасно приймають код початку. Потім ведучий абонент передає кожному з них 13-розрядний код інформації, що містить стартовий біт, заголовок, власне інформацію і кінцевий біт. Датаграма закінчується підрахунком контрольних бітів.

Завдяки ретрансляції сигналу в кожному вузлі відстань від ведучого вузла до датчиків і виконавчих пристроїв досягає 13 км (рис. 39). Периферійні пристрої підключають до ведучого вузла через ведені вузли по кільцевій схемі. Одночасно з даними по витій парі подають напругу живлення периферійних пристроїв.

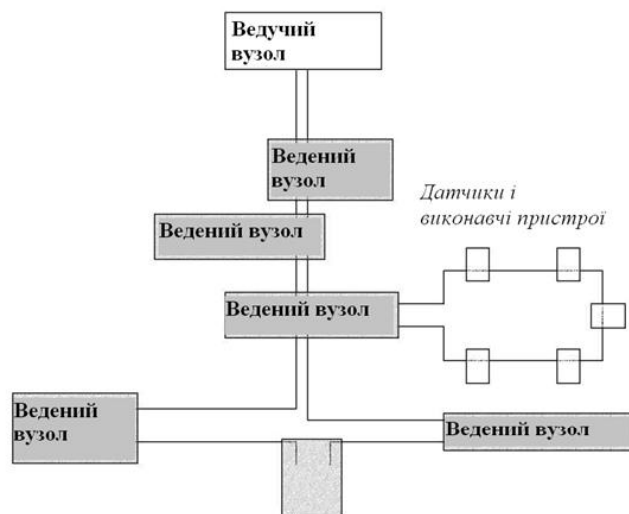


Рис. 39. Топологія мережі з промисловою шиною INTERBUS

7.4. Порівняння характеристик поширених промислових шин

У табл. 5 порівнюються характеристики поширених промислових шин. У Європі найчастіше застосовують шину PROFIBUS, у Франції - WorldFIP. У Америці застосовують протоколи "INTERBUS" і "Control Net". Вони не були сумісні один з одним, особливо по рівню 2 ("Інформаційний"). Після тривалої "війни промислових шин" в січні 2000 року був затверджений міжнародний стандарт IEC 61158. Протокол містить фізичний, інформаційний і прикладний рівні, в яких використані ідеї різних протоколів : на прикладному рівні - Control Net і PROFIBUS, а на інформаційному рівні - INTERBUS і WorldFIP.

Разом з системами SCADA, промислові шини стали пріоритетним напрямом комп'ютерної автоматизації виробництва. Їх створення дозволило об'єднати незалежні рівні автоматизації в багаторівневу систему комп'ютерно-інтегрованого виробництва і зв'язати управління устаткуванням з управлінням виробництвом.

Табл. 5. Порівняння промислових шин

Характеристика	PROFIBUS	P - NET	WorldFIP	Foundation - Fieldbus	Interbus - S
Число абонентів	32-127	32 і більше	32 і більше	32 і більше	256
Швидкість передачі, кбіт/с	10 (1200м) - 1200 (100м)	76,8 1200	31 (1900м) - 2500(500м)	31,25	500
Довжина лінії, м	100 - 20		500-1900	1900	1300
Число застосувань млн (1997р.)	1	-	0,1	-	-
Сайт	www.profibus. com	www.P- net.dk	www.worldfi p.org	www.fieldbus. org	www.interbu sclub.com

Якщо в традиційній автоматизації датчики і виконавчі пристрої приєднувалися до пристроїв управління окремими дротами, то з появою промислових шин виявилось можливим зв'язати сотні розподілених пристроїв автоматизації однією парою провідників. Завдяки промисловим шинам стався перехід від централізованих до розподілених систем управління.

7.5.Мережі нижнього рівня

7.5.1. AS -інтерфейс

AS-інтерфейс (Actuators/Sensors Interface - інтерфейс датчиків і виконавчих пристроїв) для нижнього рівня автоматизації з'явився в 1992р. Він призначений для підключення датчиків і виконавчих механізмів, розміщених на одиниці устаткування, до програмованих контролерів через двопровідну лінію зв'язку. Спочатку датчики і виконавчі пристрої підключали до контролера ПЛК через вбудовані в контролер пристрої вводу-виводу ПВВ (рис. 40, а).

Потім пристрої вводу-виводу ПБВ перенесли до датчиків і виконавчих пристроїв і підключили до промислової шини, до якої приєднали ПЛК (рис. 40, б). Для живлення датчиків і виконавчих пристроїв використовували окремі провідники.

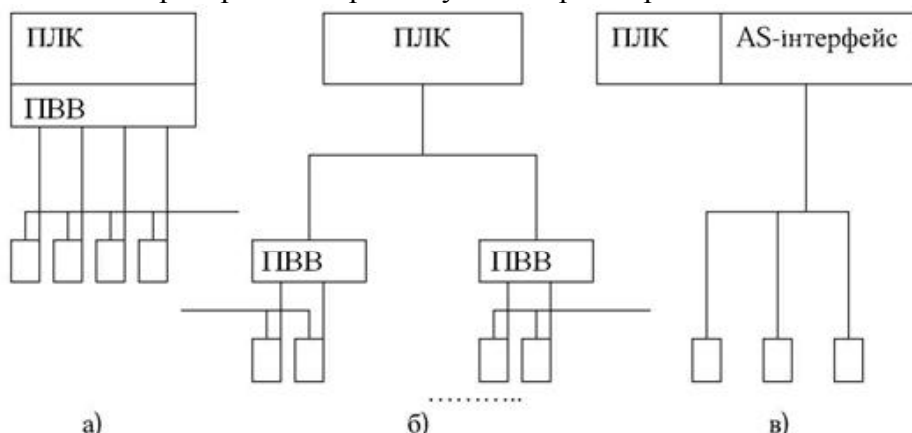


Рис. 40. Підключення датчиків і виконавчих пристроїв до контролера ПЛК; а) - через пристрої вводу - виводу ПБВ; б) - через розподілені пристрої вводу - виводу ПБВ і промислову шину; в) - через AS-інтерфейс.

Коли з'явився AS-інтерфейс, датчики, виконавчі пристрої і контролер зі вбудованим AS-інтерфейсом стали сполучати без проміжних пристроїв (рис. 40, в). Одночасно з передачею інформації через лінію зв'язку стали подавати напругу живлення датчиків і виконавчих пристроїв. При цьому число пристроїв, що підключаються, збільшилося до 62, число входів - до 248, число виходів - до 186. З'явилася можливість передачі по тій же лінії зв'язку аналогової інформації. Перехід на AS-інтерфейс дозволив виявляти і візуалізувати відмови до 31 підключеного пристрою за декілька циклів опитування тривалістю до 5 мс.

До мережі AS-інтерфейсу можна підключати датчики і виконавчі пристрої як із вбудованим AS-інтерфейсом, так і без нього - через спеціальні модулі вводу - виводу. Послідовне опитування датчиків і видача команд на виконавчі механізми здійснюються одним ведучим пристроєм, наприклад програмованим контролером, який має AS-інтерфейс. З другого боку, ведучий пристрій має інтерфейс Fieldbus для підключення до промислової шини верхнього рівня. Для цієї шини мережа з AS-інтерфейсом є одним з підключених до шини пристроїв вводу-виводу.

Протокол AS-інтерфейсу містить запит ведучого абонента, паузу ведучого абонента, відповідь веденого абонента і паузу веденого абонента (рис. 41).

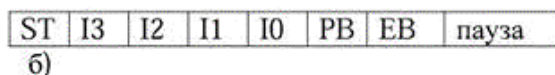
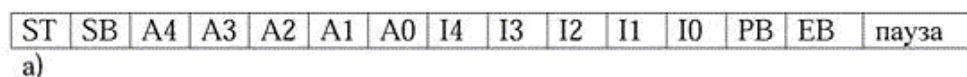


Рис. 41. Структура датаграми по протоколу AS-інтерфейсу: а)- запит ведучого абонента; б)- відповідь веденого абонента

Запит ведучого абонента складається з частин: ST - стартовий біт (0, якщо починається запит); SB - керуючий біт (0, якщо запитуються дані, 1 - якщо запитується команда); A0..A4 - адреса абонента, що викликається; I0..I4 - біти інформації; PB - біт паритету (1, якщо сума усіх одиниць в запиті парна); EB - кінцевий біт (1 - якщо запит закінчений); пауза. Відповідь веденого абонента складається з частин: ST - стартовий біт (0, якщо починається відповідь); I0..I3 - біти інформації; PB - біт паритету (1, якщо сума усіх одиниць відповідає парна); EB - кінцевий біт (1, якщо відповідь закінчена); пауза.

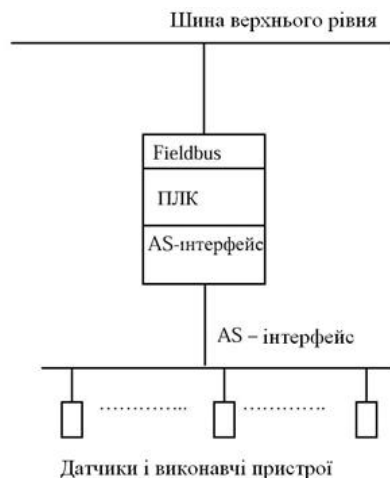


Рис. 42. Зв'язок AS - інтерфейсу з промисловою шиною верхнього рівня

7.5.2. CAN - мережа

CAN-мережа (Controller Area Network - мережа навколо контролера) - стандарт промислової мережі, орієнтований, на об'єднання у єдину мережу різних виконавчих елементів та давачів. Режим передачі — послідовний, широкомовний, пакетний. CAN замінює багатопровідні лінії, які вимагаються для зв'язку датчиків, мікропроцесорів. Шина розроблена компанією Bosch GmbH у середині 1980-х і зараз широко розповсюджена у промисловій та побутовій автоматизації, автомобілях, томографах, пакувальниках, сільськогосподарських машинах, ткацьких верстатах, ліфтах, медичній техніці, тощо.

Безпосередньо стандарт CAN компанії Bosch визначає передачу у відриві від фізичного рівня — він може бути будь-яким, наприклад, радіоканалом або оптоволоконном. Але на практиці під мережею CAN зазвичай мається на увазі мережа топології «шина» з фізичним рівнем у вигляді диференціальної пари, визначеним у стандарті ISO 11898. Передача ведеться кадрами, які приймаються всіма вузлами мережі. Для доступу до шин випускаються спеціалізовані мікросхеми - драйвери CAN-шини.

CANbus - це послідовна шина з децентралізованим доступом. Можливі колізії, пов'язані з одночасним запитом шини, дозволяються на основі пріоритетності повідомлень, що передаються. CAN є синхронною шиною з типом доступу Collision Resolving (CR, вирішення колізій), який, на відміну від Collision Detect (CD, виявлення колізій) мережі Ethernet, забезпечує детермінований пріоритет доступу на передачу.

Мережа CAN має шинну топологію, тобто всі пристрої підключаються до загального середовища передачі даних, що дозволяє кожному вузлу бачити весь трафік, що йде по мережі та отримувати дані без посередників і без затримок. Ця топологія дуже гнучка і дозволяє досить просто підключати/відключати нові пристрої (наприклад, датчики). Хоча, з іншого боку, шинна топологія не зручна у разі зміни місць підключення пристроїв та погана у випадках її обриву, як у сенсі наслідків, так і пошуку пошкоджень та їх усунення.

Для абстрагування від середовища передачі специфікація CAN уникає описувати біт даних як 0 та 1. Натомість застосовуються терміни рецесивний і домінантний біт, при цьому вважається, що при передачі одним вузлом рецесивного біту, а іншим - домінантного буде прийнятий домінантний біт. Стандарт мережі вимагає від фізичного рівня єдиної умови: щоб домінантний біт міг переважити рецесивний. Наприклад, при реалізації фізичного рівня на АМ-радіоканалі відсутність сигналу означає рецесивний біт, а наявність домінантний; у типовій реалізації провідної мережі рецесивний біт відповідає наявності напруги, а домінантний - закорочення лінії на землю. У такому випадку якщо лінія знаходиться в рецесивному стані, перевести її в домінантне може будь-який вузол мережі.

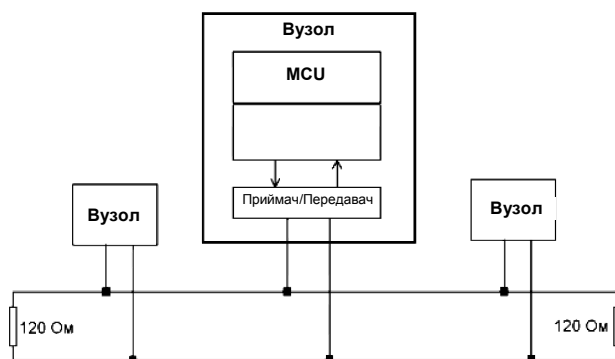


Рис. 43. Типова реалізація шини CAN

Табл. 6. Формат кадру CAN

Поле	Довжина (у бітах)	Опис
Початок кадру (SOF)	1	Сигналізує початок передачі кадру
Ідентифікатор	11	Унікальний ідентифікатор. Перші 7 біт ідентифікатора не повинні бути всі рецесивні.
Запит на передачу (RTR)	1	Повинен бути домінантним
Біт розширення ідентифікатора (IDE)	1	Повинен бути домінантним (визначає довжину ідентифікатора)
Зарезервований біт (r0)	1	Резерв
Довжина даних (DLC)	4	Довжина поля даних у байтах (0-8)
Поле даних	0-8 байт	Передані дані (довжина в полі DLC)
Контрольна сума (CRC)	15	Контрольна сума всього кадру
Розмежувач контрольної суми	1	Повинен бути рецесивним
Проміжок підтвердження (ACK)	1	Передавач шле рецесивний, приймач вставляє домінантний
Розмежувач підтвердження	1	Повинен бути рецесивним
Кінець кадру (EOF)	7	Повинен бути рецесивним

Розширений формат кадру даних наведений у наступній таблиці

Табл. 7. Розширений формат кадру CAN

Поле	Довжина (у бітах)	Опис
Початок кадру (SOF)	1	Сигналізує початок передачі кадру
Ідентифікатор А	11	Перша частина ідентифікатора
Підміна запиту на передачу (SRR)	1	Повинен бути рецесивним
Біт розширення ідентифікатора (IDE)	1	Повинен бути рецесивним (визначає довжину ідентифікатора)
Ідентифікатор В	18	Друга частина ідентифікатора. Повний ідентифікатор отримують об'єднанням частин А та В.
Запит на передачу (RTR)	1	Повинен бути домінантним
Зарезервовані біти (r1 і r0)	2	Резерв
Довжина даних (DLC)	4	Довжина поля даних у байтах (0-8)
Поле даних	0-8 байт	Передані дані (довжина в полі DLC)
Контрольна сума (CRC)	15	Контрольна сума всього кадру
Розмежувач контрольної суми	1	Повинен бути рецесивним
Проміжок підтвердження (ACK)	1	Передавач шле рецесивний, приймач вставляє домінанту
Розмежувач підтвердження	1	Повинен бути рецесивним
Кінець кадру (EOF)	7	Повинен бути рецесивним

Передача ведеться кадрами. Корисна інформація у кадрі складається з ідентифікатора довжиною 11 біт (стандартний формат) або 29 біт (розширений формат) та поля даних довжиною від 0 до 8 байт. Ідентифікатор говорить про вміст пакета і служить для визначення пріоритету при спробі одночасної передачі кількома мережевими вузлами.

Розрізняють наступні види кадрів

- ◇ Кадр даних (data frame) – передає дані;
- ◇ Кадр віддаленого запиту (remote frame) — служить запиту передачі кадру даних із тим самим ідентифікатором;
- ◇ Кадр перевантаження (overload frame) - забезпечує проміжок між кадрами даних чи запиту;
- ◇ Кадр помилки (error frame) — передається вузлом, який виявив в мережі помилку.

Кадри даних та запиту відокремлюються від попередніх кадрів міжкадровим проміжком. Формат кадрів наведений у табл. 6 та табл. 7 .

Формат кадру віддаленого запиту збігається з кадрами даних стандартного чи розширеного формату, за двома винятками:

- ◇ У полі RTR рецесивний біт замість домінантного.
- ◇ Поле даних відсутнє.

Арбітраж доступу

При вільній шині будь-який вузол може починати передачу будь-якої миті. У разі одночасної передачі кадрів двома та більше вузлами проходить арбітраж доступу: передаючи ідентифікатор, вузол одночасно перевіряє стан шини. Якщо при передачі рецесивного біта приймається домінантний - вважається, що інший вузол передає повідомлення з більшим пріоритетом, і передача припиняється до звільнення шини. Таким чином, на відміну, наприклад, від Ethernet, у CAN не відбувається непродуктивної втрати пропускну здатності каналу при колізіях. Ціна цього рішення — можливість того, що повідомлення з низьким пріоритетом ніколи не буде передано. Також це накладає жорсткі обмеження на довжину ліній так як за час передачі одного біта даних, уставлене значення біта має досягнути всіх абонентів, а абоненти шини не лише повинні відреагувати на це значення, а й перевірити стан біта і закінчити передачу у випадку наявності колізії.

Контроль помилок

CAN має кілька механізмів контролю та запобігання помилкам:

- ◇ Контроль передачі: при передачі бітові рівні в мережі порівнюються з бітами, що передаються.
- ◇ Додаткові біти (bit stuffing): після передачі п'яти однакових бітів поспіль автоматично передається біт протилежного значення. Таким чином, кодуються всі поля кадрів даних або запиту, крім розмежувача контрольної суми, проміжку підтвердження та EOF.
- ◇ Контрольна сума: передавач обчислює її і додає в кадр, що приймається, приймач визначає контрольну суму прийнятого кадру, порівнює із сумою в самому кадрі і в разі збігу передає домінантний біт в проміжку підтвердження.
- ◇ Контроль значення полів при прийомі.

Розробники оцінюють можливість відсутності виявлення помилки передачі як $4,7 \times 10^{-11}$.

Швидкість передачі та довжина мережі

Усі вузли у мережі мають працювати з однією швидкістю. Стандарт CAN не визначає швидкостей роботи, але більшість як окремих, так і вбудованих в мікроконтролери адаптерів дозволяє плавно змінювати швидкість в діапазоні принаймні від 20 кілобіт в секунду до 1 мегабіта в секунду. Існують рішення, що виходять далеко за межі даного діапазону.

Використані методи контролю помилок вимагають, щоб зміна біта під час передачі встигла поширитися по всій мережі на момент виміру значення. Це ставить максимальну довжину мережі у зворотну залежність від швидкості передачі: що більше швидкість, то менше довжина. Наприклад, для мережі стандарту ISO 11898 граничні довжини становлять

приблизно:

- 1 Мбіт/с - 40 м
- 500 кбіт/с - 100 м
- 125 кбіт/с - 500 м
- 10 кбіт/с - 5000 м

Використання оптопар для захисту пристроїв від високовольтних перешкод у мережі ще більше скорочує граничну довжину, тим більше, чим більша затримка сигналу в оптопарі. Сильно розгалужені мережі також знижують швидкість через відбиття сигналу та більшу електричну ємність шини.

Протоколи верхнього рівня

Базової специфікації CAN не вистачає багатьох можливостей, необхідних реальних системах: передачі даних довше 8 байт, автоматичного розподілу ідентифікаторів між вузлами, одноманітного управління пристроями різних типів і виробників. Тому після появи CAN на ринку почали розроблятися протоколи високого рівня для нього. До теперішнього часу відомо вже понад чотири десятки CAN протоколів. До числа поширених на даний момент протоколів входять: CANopen, DeviceNet, CAN Kingdom, J1939, SDS, NMEA-2000 (морський транспорт), ARINC-825 (авіація), UAVCAN (робототехніка та літальні апарати). Серед такого різноманіття CAN найбільшого поширення, особливо у системах промислової автоматизації, набули чотири. Це SDS (Smart Distributed System), CANopen, CAN Kingdom та DeviceNet.

Переваги мережі

Можливість роботи у режимі жорсткого реального часу.

- ◇ Простота реалізації та мінімальні витрати на використання.
- ◇ Висока стійкість до перешкод.
- ◇ Арбітраж доступу до мережі без втрат пропускну здатності.
- ◇ Надійний контроль помилок передачі та прийому.
- ◇ Широкий діапазон швидкостей роботи.
- ◇ Велике поширення технології, наявність широкого асортименту продуктів різних постачальників.

Недоліки

- ◇ Невелика кількість даних, які можна передати в одному пакеті (до 8 байт).
- ◇ Великий розмір службових даних у пакеті (стосовно корисних даних).
- ◇ Відсутність єдиного загальноприйнятого стандарту на протокол високого рівня.

Стандарт мережі надає широкі можливості практично безпомилкової передачі даних між вузлами, залишаючи розробнику можливість вкласти у цей стандарт усе, що зможе поміститися.

Як фізичне середовище в основному використовується двопровідна диференціальна лінія, хоча можливе застосування оптичного волокна або радіоканалу. Максимальна швидкість передачі досягає 1 Мбіт/сек на довжині лінії зв'язку до 30 м. На довжині до 5 км швидкість не перевищує 10 кбіт/сек.

7.5.3. BITBUS

Протокол BITBUS розроблений фірмою INTEL у 1984 році для побудови розподілених систем, в яких потрібно було забезпечити високу швидкість передачі, детермінізм та надійність. Фізичний інтерфейс базується на RS-485. Інформаційний обмін організований за принципом "запит - відповідь" (Master/Slave).

Протокол BITBUS визначає два режими передачі даних по шині:

- ◇ Синхронний режим
- ◇ Режим самосинхронізації

Синхронний режим використовується за потреби роботи на великій швидкості, але на обмежених відстанях. У цьому режимі до шини можна підключити до 28 вузлів, але довжина шини обмежуватиметься 30 м. Швидкість може бути від 500 кб до 2,4 Мб. Синхронний режим передачі передбачає використання двох пар проводів (однієї пари - для даних, інший -

для синхронізації).

Використання режиму самосинхронізації дозволяє значно подовжити шину. Стандартом визначено дві швидкості передачі: 375 Кбод (до 300м) та 62,5 Кбод (до 1200м). Використовуючи повторювачі, можна послідовно об'єднувати кілька шинних сегментів (до 28 вузлів на сегмент). Тоді загальну кількість вузлів можна довести до 250, а довжину загальної шини – за кілька кілометрів. При цьому режимі передачі також використовуються дві пари провідників (одна для даних, інша для керування повторювачем).

7.5.4. HART - протокол

HART - протокол (Highway Addressable Remote Transducer - віддалений адресний перетворювач з високою пропускнуою спроможністю) розроблений фірмою Rosemount Fischer (США) в середині 80-х років. З 90-х років він став загальновизнаним відкритим стандартом комунікації, що дозволяє обмінюватися інформацією між інтелектуальними приладами.

Конфігурацію HART-пристроїв, підключених до лінії зв'язку, ведуть з ведучого пристрою за допомогою спеціально розробленої мови опису пристроїв DDL (Device Description Language). По суті, він є загальним драйвером для HART-пристроїв, розроблених різними фірмами. На цій мові задають спосіб перетворення HART-сигналів в технологічні дані, перелік що виводяться на екран даних HART-інтерфейс для підключення розподілених пристроїв автоматизації до лінії зв'язку.

Структура HART-мережі може бути двоточною або багатоточною (рис. 44). У двоточковій структурі сигнал датчика за допомогою HART-транслятора перетворюється в HART - датаграму і за допомогою HART комунікатора передається в управляючу систему. У багатоточковій структурі сигнали датчиків перетворюються в HART-датаграми за допомогою HART-трансмітерів, встановлених на датчиках. У HART-протоколі визначено три рівні протоколу. Це фізичний, каналний і прикладний рівні

Передбачене попередження про зміни стану будь-якого пристрою. За допомогою HART-протоколу датчик через HART-трансмітер передає струмовий сигнал головному пристрою. HART-протокол накладає на аналоговий сигнал цифровий сигнал так, щоб вони не заважали один одному. Це дозволяє одночасно передавати інформацію про змінні величини, вихідні сигнали, конфігурацію мережі, стан підключених до мережі пристроїв.

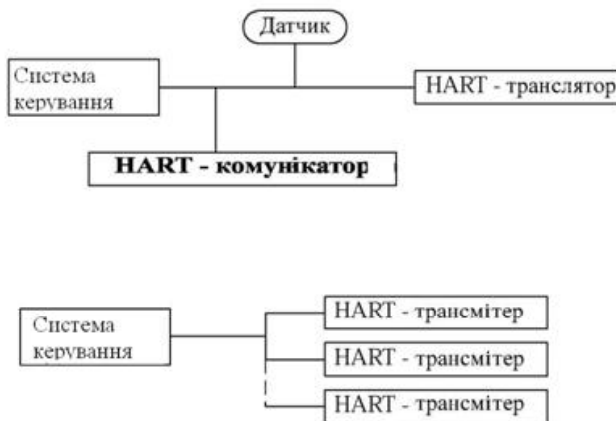


Рис. 44. Структура HART-мережі: а)- двоточкова; б)-багатоточкова

Схема протокольних взаємин між вузлами мережі заснована на принципі MASTER/SLAVE. У HART-мережі може бути до 2 MASTER-вузлів (зазвичай один). Другий MASTER, як правило, звільнений від підтримки циклів передачі та використовується для організації зв'язку з якоюсь системою контролю/відображення даних. Стандартна топологія HART мережі передачі даних – "зірка", але можлива і шинна організація. Для передачі даних через мережу використовуються два режими:

- 1) асинхронний: за схемою "MASTER - запит \ SLAVE - відповідь" (один цикл укладається в 500 мс);
- 2) синхронний: пасивні вузли безперервно передають свої дані MASTER-вузлу (час

оновлення даних у MASTER-вузлі за 250-300 мс).

По HART-протоколу можна з одного датчика одночасно передавати декілька величин, наприклад величину потоку, густину речовини та її температуру. Підключені до HART-мережі сплітери (розділювачі) дозволяють отримувати з аналогового сигналу датчика додаткову інформацію, наприклад виділяти з сигналу датчика витрати тиск, різницю тисків, температуру (рис. 45). Це дозволяє скоротити число датчиків на об'єкті.



Рис. 45. Застосування сплітера для виділення даних з аналогового сигналу

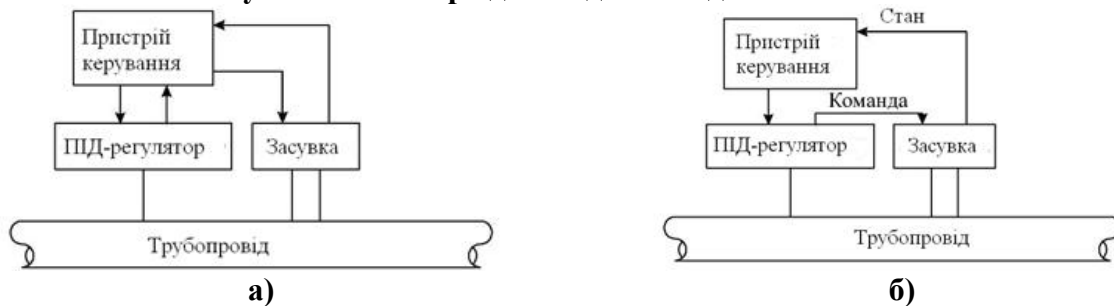


Рис. 46. Централізована зміна уставки регулятора повороту засувки на трубопроводі:
а)- звичайне; б)- по HART-протоколу

У HART-протоколі цифрову інформацію передають шляхом зміни несучої частоти аналогового сигналу. Для передачі цифрового сигналу на аналоговий сигнал накладають частоти: 1200 Гц, що відповідає логічній одиниці, або 2200 Гц, що відповідає логічному нулю. Швидкість передачі складає 1200 біт в секунду.

За одну посилку один вузол може передати іншому до 4 технологічних змінних, а кожен HART-пристрій може мати до 256 змінних, що описують його стан. Контроль коректності даних, що передаються, заснований на отриманні підтвердження.

На рис. 46 показані способи зміни уставки регулятора повороту засувки за допомогою ПІД-регулятора традиційним методом (а) і по HART-протоколу (б).

Якщо при традиційному методі команду управління засувкою формує віддалений пристрій управління, то при застосуванні HART-протоколу команда управління засувкою формується безпосередньо ПІД-регулятором. Це дозволяє перенести частину функцій пристрою управління на ПІД-регулятор.

7.5.5. FIP

Протокол FIP (Factory Information Protocol) забезпечує високі швидкості передачі і певні інтервали оновлення даних. Протокол має гібридний централізований або децентралізований контроль за шиною, що базується на принципі широкого мовлення. Використання режиму широкого мовлення позбавляє необхідності привласнення кожному пристрою унікального мережного адреси. Кожен вузол на шині повністю автономний. Усі вузли мають можливість отримувати призначені їм дані. Контроль здійснюється із боку центрального вузла мережі, званого арбітром.

FIP протокол підтримує рівні 1, 2 та 7 моделі OSI. Як середовище передачі використовуються кручена пара або оптоволокно. Максимальна довжина мережі – 1000м без повторювачів (до 15 км з оптичними повторювачами) при швидкості обміну 1 Мбіт/с. Мережа підтримує до 128 пристроїв.

Контролери сімейства Premium (Schneider Electric) використовують різновид мережі FIP (FIPiO) (рис. 47) для організації віддаленого вводу/виводу. Цією мережею до центрального процесора (через вбудований порт) можуть бути підключені:

- ◇ Віддалений ввід/вивід контролерів Momentum;
- ◇ панель керування оператора CCX 17;
- ◇ персональні комп'ютери та інші пристрої.

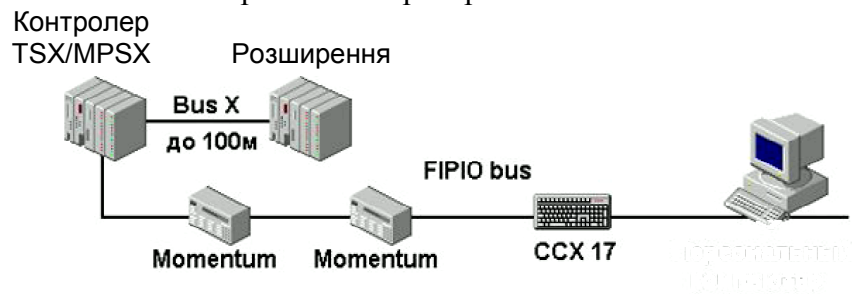


Рис. 47. Контролери Momentum у мережі FIPIO

7.5.6. Мережа Genius

Мережа Genius фірми GE Fanuc призначена для об'єднання у закінчену систему контролерів GE Fanuc серій 90-70 та 90-30, віддаленої периферії Genius та Field Control (рис. 48). Взаємодія різних пристроїв з мережею Genius здійснюється за допомогою контролерів шин Genius (GBC), інтерфейсних модулів (GCM), блоків інтерфейсу з шиною Genius (BUI). Фізично пристрої об'єднуються в мережу витю парою. Мережа має топологію "шина", до якої може бути підключено до 32 пристроїв. Максимальна довжина шини становить 2,3 км. при швидкості обміну 38,4 кбод. Максимальна швидкість передачі 153,6 кбод досягається при довжині лінії до 600 м.

MPI є найпоширенішим стандартом інтерфейсу обміну даними у паралельному програмуванні. Існують його реалізації для великої кількості комп'ютерних платформ. Основним засобом комунікації між процесами MPI є передача повідомлень один одному. Стандартизацією MPI займається MPI Forum. У стандарті MPI описаний інтерфейс передачі повідомлень, який має підтримуватися як у платформі, і у додатках користувача. В даний час існує велика кількість безкоштовних та комерційних реалізацій MPI. Існують реалізації для мов Фортран 77/90, Сі та Сі++.

Мережа Genius підтримує передачу як глобальних даних (Global Data) і датаграм (при кожному акті сканування).

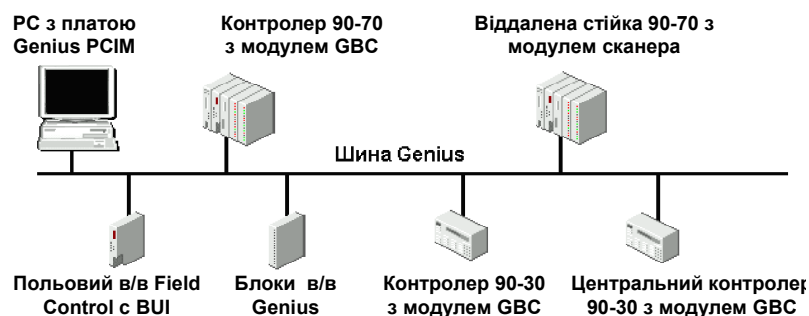


Рис. 48. Контролери фірми GE Fanuc у мережі Genius

Для обміну даними по Global Data кожному контролеру, що входить до складу мережі, виділяється ділянка адресного простору. У цю ділянку він передає дані, вказані під час конфігурування його контролера шини. Передача даних здійснюється без вказівки контролера, який має їх одержати. Ця ділянка доступна всім підключеним до шини PLC лише для читання. Таким чином, для всієї мережі створюється єдиний набір даних для обміну. Один контролер шини забезпечує прийом/передачу до 128 байт даних кожного з вузлів. Датаграма (Datagram) є спрямована посилка даних від одного контролера до іншого. Приймання/передача датаграм відбувається під керуванням програми користувача. Момент відправки датаграми може бути заданий з необхідною періодичністю або настання будь-якої події.

7.5.7. Мережа DH+

Мережа DH+ (Allen-Bradley) підтримує передачу даних та віддалене програмування

контролерів на додаток до однорангового зв'язку між іншими процесорами та пристроями (рис. 49). Магістральна лінія мережі DH+ може мати довжину до 3048м, відгалуження – до 30м. До однієї мережі DH+ можна підключити до 64 пристроїв. Швидкість передачі залежить від довжини шини і може налаштовуватися від 57.6 Кбод (3048м) до 230.4 Кбод (750м).

Характеристика однорангового зв'язку:

- ◇ відсутність "майстра";
- ◇ мінімальний мережевий трафік;
- ◇ будь-який контролер ініціалізує зв'язок із будь-яким мережним вузлом;
- ◇ простота нарощування контролерів у мережі.

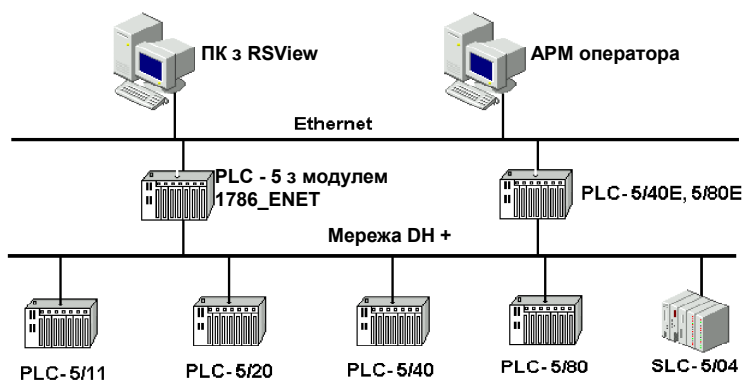


Рис. 49. Контролери Allen-Bradley у мережі DH+.

7.5.8. SDS Honeywell

Шина SDS Honeywell (Honeywell International, Inc.) забезпечує:

- ◇ можливість двостороннього обміну цифровою інформацією при налаштуванні та експлуатації датчика;
- ◇ діагностику датчика та електроніки;
- ◇ зміна діапазону вимірів у межах;
- ◇ стабільний результат вимірювань при змінних режимах роботи. Поряд із стандартом DeviceNet, Honeywell протокол представляє собою одне недороге та закінчене рішення для мережевого управління інтелектуальними датчиками та виконавчими органами від центрального контролера (PLC, комп'ютера) у системах промислової автоматизації.

Повідомлення, що циркулюють у мережі SDS, зветься APDU (Application layer Protocol Data Unit) — блоки даних протоколу прикладного рівня. APDU є CAN-фрейм стандартного формату, елементи якого мають своє власне призначення в SDS. Поле арбітражу (ID3-ID9) розташовано 7-розрядну адресу пристрою (максимально допустима кількість пристроїв у мережі SDS - 126). Тип

APDU (3-розрядне поле) визначає тип сервісу (0.7) прикладного рівня, якому відповідає даний APDU. Нульове значення біта ID 10 (DIR) поля арбітражу вказує, що адреса пристрою (device address) є адресою призначення, а одиничне адресою джерела. Що нижче значення логічної адреси, то вище пріоритет повідомлення. Біт RTR у CAN-фреймах Honeywell-протоколу завжди має нульове значення (віддалений CAN-фрейм у SDS-специфікації не застосовується). У полі даних довгої форми APDU міститься код довжини (2...8) поля даних CAN-фрейму (2), два перших байти якого містять специфікатор сервісу (Service Specifier), ідентифікатор вбудованого об'єкта (EOID) та додаткові параметри сервісу, а решта, що залишилися, шість призначені для передачі даних. При необхідності передачі послідовностей даних понад шість байтів використовується фрагментований формат (до 64 фрагментів по 4 байти) довгої форми APDU.

7.5.9. Інтерфейс Foundation Fieldbus та Profibus

Інтерфейс Foundation Fieldbus та Profibus часто реалізуються на основі електричної мережі з шинною топологією. Для передачі сигналів використовують екрановану виту пару, що відповідає стандарту RS-485. Є кілька різноманітних протоколів Profibus: FMS, DP, PA.

Кожен призначається на своє завдання: FMS- передачі великих обсягів інформації; DP-для вирішення завдань реального часу; PA-для небезпечного виробництва. Мережа PROFIBUS-PA - це розширення базового протоколу у частині технології передачі, заснованої не так на RS-485, але в реалізації стандарту IEC1158-2 в організацію передачі у вибухонебезпечних середовищах. Він може використовуватися як заміна старої аналогової технології 4-20мА. Для комутації пристроїв потрібна лише одна кручена пара, яка може одночасно використовуватися і для інформаційного обміну, і для підведення живлення до пристроїв польового рівня.

Сучасні датчики оснащуються IQ (Intellect Quality) пристроями, які дозволяють за рахунок математичної обробки інформації безпосередньо в процесі вимірювання та активного управління вимірюванням підвищити точність, здійснювати необхідну діагностику стану датчиків та активно переналаштовувати їх режим роботи. Основними областями застосування IQ-сенсорних пристроїв є технологічні установки та системи автоматизації:

- ◇ з високими вимогами до коефіцієнта готовності системи;
- ◇ з високою ймовірністю взаємного впливу датчиків;
- ◇ з високими вимогами щодо динамічного переналаштовування параметрів датчиків під час роботи.

Для цих цілей останнім часом застосовуються спеціальні IQ-модулі. Наприклад, модуль IQ-Sense має такі основні характеристики:

- ◇ просте підключення зовнішніх кіл;
- ◇ швидкий ввід в експлуатацію за допомогою програмної компоненти IntelliTeach;
- ◇ попереднє налаштування параметрів датчика або копіювання параметрів, встановлених у режимі навчання, до інших модулів або датчиків;
- ◇ динамічна зміна параметрів налаштування датчиків (наприклад, установки дальності дії) із програми контролера;
- ◇ інтегровані інструментальні засоби для налаштування за допомогою світлодіодного дисплея;
- ◇ високий рівень готовності;
- ◇ формування повідомлень про необхідність виконання профілактичних робіт;
- ◇ діагностика каналів (обрив лінії, коротке замикання, несправність модуля/датчика тощо);
- ◇ швидка заміна датчиків без повторного налаштування системи;
- ◇ "гаряча" заміна модулів без зупинки контролера.

7.6. Вибір промислової мережі

Відповідно до потреб застосування необхідно уточнити такі фактори:

Уточнення вимог до мережі

1 Вимоги до своєчасності. Відповідно до вимог своєчасності передачі в ході виробничого процесу слід обрати промислову мережу з характеристиками потрібної швидкості передачі. Деякі найпоширеніші високошвидкісні промислові мережі, наприклад, EtherCAT, ProfiNet та EtherNet/IP володіють низькими затримками і мають високу пропускну спроможність та добре підходять для застосувань, що вимагають високої швидкості зв'язку.

2 Обсяг даних та продуктивність у реальному часі. При виборі відповідної промислової мережі необхідно враховувати обсяг даних та вимоги до продуктивності у реальному часі. Деякі мережі, такі як CAN та DeviceNet, підходять для сценаріїв з невеликим обсягом даних та низькими вимогами до роботи у реальному часі, тоді як ModBus та ProfiBus підходять для сценаріїв із середнім обсягом даних та високими вимогами до роботи у реальному часі.

3 Надійність та стійкість до відмов. При виборі слід розглянути питання чи існує низка ризиків, таких як перешкоди та відмова обладнання в промисловому середовищі, також можливості відновлення мереж. Наприклад, мережа ControlNet має високу стійкість до відмов і підходить для застосувань, що вимагають високої надійності. Більше того, деякі

шини, такі як EtherCAT та ProfiNet, мають можливість автоматичного виявлення та автоматичного ремонту, що може забезпечити надійний зв'язок.

4 Гнучкість та сумісність. Необхідність взаємодії системи з декількома пристроями та пристроями різних виробників також є одним із факторів, які необхідно враховувати. Деякі промислові мережі, такі як ModBus, забезпечують хорошу сумісність та сумісність пристроїв та більше підходять для застосувань, що потребують зв'язку з кількома пристроями різних виробників.

Відбір промислових мереж

Після орієнтовного вибору набору групи стандартів промислових мереж слід провести відбір потрібної мережі. У процесі вибору відповідної промислової мережі, рекомендується зробити наступні кроки:

1 Дослідження потреби. Слід розглянути виробничий процес, вимоги до устаткування та інші особливі потреби, і навіть уточнити конкретні нестандартні характеристики необхідної промислової мережі.

2 Дослідження ринку. Слід визначити питання вартості впровадження відповідної шини, зрозуміти її характеристики, сценарії застосування, тощо. Інформацію про це можна визначити читаючи відповідні звіти, беручи участь у галузевих виставках, консультуючись із фахівцями тощо.

3 Оцінка організацій, що встановлюють стандарти шин та підтримку користувача. Дослідження якості роботи організацій та аналіз відгуків на використання промислових мереж допомагає краще зрозуміти питання технічної підтримки відповідної промислової мережі. При виборі промислової мережі обов'язково слід перевірити наявність та доступність відповідної технічної документації на шину, її підтримку та можливість розвитку та перспективи використання шини. Не слід впроваджувати у проект ті промислові мережі, строк підтримки котрих завершується, або такі, що вже не мають підтримки виробниками.

4 Вибір топології мережі. На основі сформульованих вище вимог слід обрати відповідну топологію мережі, наприклад типу шини, зірки, деревовидну топологію або кільцеву.

5 Перевірка сумісності пристроїв. Переконайтеся, що всі пристрої сумісні із вибраною промисловою мережею із отриманої вище групи мереж та підтримують відповідний протокол зв'язку.

6 Перевірка ефективності обслуговування. На етапі слід визначити потрібні методи обслуговування та усунення несправностей промислових мереж, а також раціональне планування та керування мережами для забезпечення стабільності та надійності зв'язку.

7 Врахування довгострокового планування. При виборі промислової шини враховуйте довгострокове планування та масштабування, щоб уникнути питань заміни та модернізації мережі.

8 Технічна перевірка. Шляхом фактичної перевірки та тестування слід порівняти продуктивність та надійність різних промислових мереж у системі (показники промислових мереж, такі як цикл передачі даних, тактовий цикл, робоча частота, смуга пропускання шини) та оберіть найкраще рішення.

8. ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА SCADA СИСТЕМ

8.1. Схема інформаційних потоків

Для визначення інформаційних потоків у АС складають відповідні схеми в АС проектній документації, що може бути представлена у вигляді, показаному на рис. 50.

Тут виділено основні рівні зберігання інформації у АС. На верхньому рівні інформація надходить із БД (бази даних) КІС (корпоративної інформаційної системи) та БД АСУ ТП. Ця інформація спеціалістів структурується наборами екранних форм АРМ. Екранні форми мають бути зорієнтовані інформаційні потреби конкретних користувачів (логістів, технологів, майстрів та інших.).

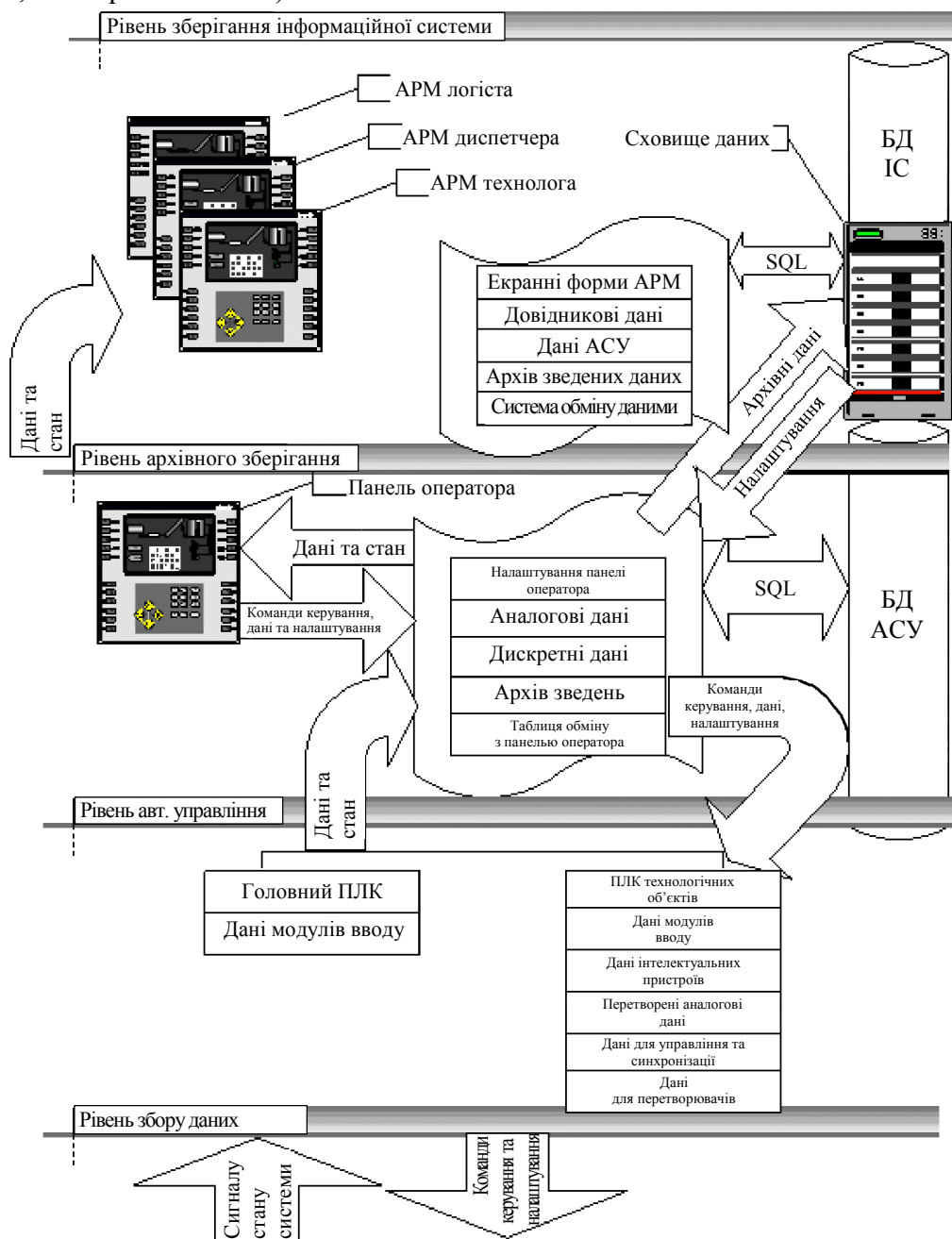


Рис. 50. Схема інформаційних потоків у АС

Історична підсистема АС повинна зберігати інформацію про зміни технологічних параметрів для сигналів, з наперед визначеною детальністю, наприклад:

- всі події, що надходять - за 3 місяці;
- стислу історію – за 6 місяців;
- події – все протягом 6 місяців.

Збереження даних у базі даних відбувається за допомогою модуля історії. Дані, що зберігаються понад 3 місяці, проріджуються для забезпечення необхідної дискретності.

Буферна база даних між КІС і АСУ ТП використовується як приймача, що запитує дані від зовнішніх систем, так і їх пасивним джерелом. Можна сказати, що вона виконує роль маршрутизатора інформаційних потоків від систем автоматики та телемеханіки до графічних екранних форм, систем комерційного обліку та планування виробництва КІС.

8.2. Концептуальне (інфологічне) проектування

У процесі проектування виникають загальні для систем зберігання та обробки інформаційних даних завдання:

- ◇ виконання функціональних операцій;
- ◇ підтримка цілісності та еквівалентності даних.

А також спеціалізовані – взаємодія з підсистемою інформаційного обміну тощо.

Для вирішення цих завдань на етапі виконання робіт широко застосовуються концептуальне (інфологічне) проектування бази даних. Мета такого проектування полягає у поданні даних у зрозумілому вигляді для всіх учасників проекту. Так, АС середнього розміру може налічувати сотні, тисячі точок взаємодії з технічним процесом. Зазвичай це вимірювані величини або бінарні вхідно-вихідні дані типу "включено/вимкнено" або "норма/аварія". Вимірювані дані поєднуються по суті. Атрибутивний опис цих сутностей і графічне представлення зв'язків між сутностями надають прозорість і структурованість даних, що обробляються в SCADA-системі.

Так, проектована база даних для АСУ ТП повинна містити структуру для обробки, перш за все, наступної інформації:

- ◇ параметри всіх датчиків та виконавчих механізмів;
- ◇ параметри для розрахунку похідних величин;
- ◇ можливі події та відповідні реакції керуючих впливів.

Для регуляризації цієї інформації в БД використовуються таблиці та поля запису. Так поля записів каналу вимірів зазвичай містять:

- ◇ код джерела інформації;
- ◇ назва/опис джерела інформації;
- ◇ тип;
- ◇ адреса (канал/повідомлення);
- ◇ код події;
- ◇ код аварії;
- ◇ інтервал вибірки;
- ◇ первинне (необроблене значення контролюваного параметра);
- ◇ перетворене значення.

Для перетворення первинної інформації від об'єктів з аналоговими сигналами робочі значення необхідні додаткові параметри:

- ◇ масштабні коефіцієнти;
- ◇ одиниці виміру;
- ◇ мінімальні/максимальні значення.

Ці поля у проекті можуть бути зведені до таблиці, приклад якої наведено у табл. 8.

У першій колонці таблиці вказано ім'я поля. Системи управління базами даних, які застосовуються в SCADA, вимагають, щоб ім'я полів представлялося латинськими літерами. Кожне поле в залежності від ідентифікатора має значення.

Код використовується для однозначної ідентифікації об'єкта БД. Він служить як ключ і показник відповідного запису.

Назва (опис) – це текст, який застосовується для ідентифікації пристрою під час виводу на екран монітора.

Тип показує, чи є об'єкт входом чи виходом та визначає характер інформації (аналогова, дискретна, лічильник тощо).

Адреса. Об'єкт повинен бути прив'язаний до певного вхідного каналу та позиції у

вхідних повідомленнях від периферійних пристроїв (7_1_221). Це може означати 7 канал, 1 пристрій, 221 точка вимірювання.

Код події показує, чи ініціює об'єкт, що розглядається, запуск деякої автоматизованої функції при зміні значення.

Код аварії показує, чи має певний стан розумітися як аварійний. Код аварії структурується для індикації рівня серйозності аварійної ситуації. Аварійні повідомлення можуть бути просто попередженнями або можуть вказувати на нештатну ситуацію, яка потребує негайної уваги та реакції.

Інтервал вибірки, масштабні коефіцієнти, граничні та аварійні значення необхідні для первинної обробки сигналів.

Табл. 8. Таблиця та поля записів джерела інформації АСУ ТП

Ім'я поля	Значення	Коментар
code	T439	Код
description	Primary circuit Temp. in	Опис (первинне коло, вхідна температура)
type	AI	Тип: аналоговий сигнал
address	7 1 221	Адреса
Event code	0	Код події
Alarm code	3	Код аварій
Sample (sec)	30	Інтервал вибірки
Raw value	3228	Первинне значення
Converted value	78.8	Перетворене значення оС
Alarm state	yes	Аварійний стан
coefficient	0.0244	Коефіцієнт перетворення
units	°C	Одиниця виміру
min	50.0	МІН значення
max	75.0	МАКС значення

Для розрахунку коефіцієнта перетворення можна використовувати таку методику. Якщо вважати, що максимальне значення температури дорівнює 100 °C і цей сигнал перетворюється 12-розрядним АЦП, у якого 0 у двійковому обчисленні відповідає 0 °C, а 100 °C відповідає 4095 біт, коефіцієнт перерахунку дорівнюватиме $100/4096 = 0.0244$ °C/біт.

Абстрактний опис та відокремлення результатів вимірювань від методів, за допомогою яких вони отримані, корисні в тих випадках, коли деякі характеристики цих величин можуть змінюватися. В результаті немає потреби модифікувати систему управління. Достатньо лише перевизначити параметри перетворення, які у БД.

Похідні величини

Для будь-якої АС ідеальною є ситуація, коли всі параметри технологічного процесу можна безпосередньо вимірювати за допомогою датчиків. Насправді це часто буває скрутним або просто неможливо вимірювати деякі з необхідних змінних. Тому в АС можуть обчислюватися похідні змінні на основі тих, що вимірюються безпосередньо. Як тільки надходять нові дані хоча б для кількох вимірюваних величин, похідні величини необхідно знову перераховувати.

Доступ до інформації, що міститься в БД, виконується за допомогою трьох основних операцій, які можуть комбінуватись операціями вибору, проекції та сортування. Операція із вилучення інформації з БД називається запитом. Зазвичай кожної конкретної ситуації інтерес може лише дуже обмежена кількість вибірок з БД. Тому наперед можна визначити невеликий набір стандартних запитів. Такі запити називаються протоколами (це звичайні запити, в яких зумовлені операції проекції та сортування та перед запуском потрібно вказати лише конкретні параметри). Прикладами протоколів може бути аварійні запити. Вони дозволяють швидко фіксувати у спеціальному файлі журналі аварій із зазначенням часу події. Іншим протоколом є протокол технічного обслуговування (заміна зношених інструментів, калібрування, контроль мастила та ін.)

8.4. Системи SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) - це система супервизорного керування та збору даних.

Це спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє, :

- ◇ відображати увесь технологічний процес і його частини на моніторі диспетчера;
 - ◇ представляти кількісні дані про роботу устаткування;
 - ◇ накопичувати дані про показники процесу;
 - ◇ розпізнавати передаварійні ситуації;
- рекомендувати диспетчерові послідовність дій в аварійній ситуації.

Завдання реєстрації інформації у реальному часі та наступного командного управління може бути вирішене або на рівні програмного забезпечення концентратора (контролера верхнього рівня), або на рівні SCADA-системи. При цьому йдеться про великі потоки даних про процес, що надходять від великої кількості датчиків (кілька сотень) у реальному масштабі часу і з високою частотою (періоди опитування - близько секунд і навіть часткою секунд). На рівні АСУТП ця інформація необхідна оперативного управління технологічним процесом.

У SCADA-системах стало можливим деталізувати дані про роботу будь-якої ділянки процесу, оцінювати собівартість продукції, розпізнавати початок аварії по сукупності ознак, перепрограмувати віддалені пристрої керування, контролювати дії диспетчера, зіставляти поточні і минулі показники процесу.

Під збором даних в SCADA-системі розуміється перетворення сигналів датчиків з метою отримання нової інформації, яка не була потрібна для керування устаткуванням, але стала потрібна для управління виробництвом. Наприклад, для контролю роботи і керування одиницею устаткування на рівні програмованих контролерів ([?]PLC[/?]) використовується датчик включення деякого двигуна. Сигнал датчика, виведений на монітор, використовується для підсумовування часу включеного стану одиниці устаткування, яке потрібне для обліку витрати енергії і відпрацьованого ресурсу устаткування. Ці дані не були потрібні для керування одиницею устаткування, але потрібні для оцінки собівартості продукції і планування ремонтів устаткування.



Рис. 51. Структура системи SCADA

Система SCADA містить (рис. 51) :

- ◇ віддалені термінали RTU (Remote Terminal Units) - датчики стану устаткування, виконавчі пристрої і програмовані логічні контролери (ПЛК), що забезпечують керування устаткуванням в реальному часі;
- ◇ головний термінал MTU (Master Terminal Unit) або диспетчерський пункт управління, що здійснює обробку даних про процес для диспетчера і перетворення команд диспетчера в сигнали управління об'єктом;
- ◇ комунікаційну систему CS (Communication System) - канал зв'язку головного і віддалених терміналів.

Віддалений термінал RTU є програмованим логічним контролером або промисловим комп'ютером, що управляє одиницею устаткування. З'єднання головного і віддалених терміналів промисловими шинами дозволило підключати комп'ютер до шини на будь-якій ділянці підприємства для спостереження за процесом, діагности відмов устаткування,

обміну інформацією з менеджерами або постачальниками устаткування.

Головний термінал MTU містить:

- ◇ людино-машинний інтерфейс MMI (Man - Machine Interface), іноді називають HMI (Human - Machine Interface);
- ◇ систему управління базами даних (Data Management);
- ◇ систему зв'язку із стандартними промисловими шинами (Networking and Services);
- ◇ служби реального часу (Real - Time Service).

Комунікаційна система CS є стандартною промисловою шиною з передачею інформації на відстань до 90 км із швидкістю до 12 Мбіт/с.

Відображення стану устаткування на мнемосхемі технологічного процесу вимагає попереднього перетворення електричного сигналу датчиків на технологічному обладнанні в команди керування візуальним відображенням. Спочатку для цього використовували стандартний протокол DDE (Dynamic Data Exchange) або власний протокол розробника. Стандартний протокол має обмеження по продуктивності і надійності при роботі в режимі реального часу, а протокол розробника робить систему автоматизації непридатною для підключення пристроїв інших фірм. Для вирішення цих проблем був розроблений стандарт OPC (OLE for Process Control), що регламентує процедуру обміну даними між технічними пристроями автоматизації і програмою відображення технологічної інформації на моніторі диспетчера. Він є відомим стандартом зв'язування і впровадження об'єктів OLE (Object Linking and Embedding), орієнтований на диспетчеризацію процесу.



Рис. 52. Взаємодія серверів і додатків за стандартом OPC в системі SCADA

Розрізняють OPC-сервер і OPC-клієнт. OPC-клієнт - це один із основних додатків системи SCADA, який може отримувати інформацію від пристроїв автоматизації різних виробників, сумісних із стандартом OPC. OPC-сервер це перетворювач електричного сигналу технічного пристрою в інформаційне повідомлення, що пересилається по каналу зв'язку OPC-клієнту (рис. 52). Розробники технічних пристроїв автоматизації намагаються оснащувати їх OPC-серверами для використання в системах SCADA. Завдяки цьому система стає відкритою - здатною працювати з будь-якими приєднаними пристроями і програмами користувача. У деякі системи SCADA введені засоби написання OPC-інтерфейсу для зв'язку з периферійними пристроями і можливості вбудовування прикладних програм (ActiveX).

Загальними для усіх систем SCADA функціями являються:

- ◇ збір поточної інформації з датчиків і контролерів про роботу устаткування ;
- ◇ первинне перетворення зібраної інформації;
- ◇ збереження поточної інформації;
- ◇ представлення поточної інформації у вигляді гістограм, таблиць, графіків;
- ◇ друк звітів і протоколів про роботу одиниць устаткування;
- ◇ передача і ввід в пристрої керування команд диспетчера;
- ◇ використання поточної інформації для вирішення завдань управління виробництвом;
- ◇ організація зв'язку з пристроями, підключеними до інформаційної мережі.

Для забезпечення безпеки і надійності диспетчерського управління процесом SCADA-система повинна задовольняти вимогам:

- ◇ жодна одинична відмова устаткування не повинна призводити до видачі помилкової команди управління;

- ◇ жодна одинична помилка оператора не повинна призводити до видачі хибної команди управління;
- ◇ усі операції управління мають бути інтуїтивно зрозумілі диспетчеру.

Особливо ефективне застосування систем SCADA для об'єктів, в яких технологічні процеси повинні контролюватися людиною і неправильна дія на об'єкт може привести до катастрофічних наслідків. В нормальних умовах іноді вимагається коригувати управління устаткуванням, оператор несе відповідальність за хід виробництва, але його втручання в процес відбувається рідко, за винятком непередбачених ситуацій, в непередбачених ситуаціях час ухвалення рішень оператором обмежений секундами і хвилинами. До них відносяться: управління енергосистемами, машинобудування, вироблення електроенергії, водозабір, водоочистка і водорозподіл, добування, транспортування і розподіл нафти і газу, управління космічними об'єктами, управління повітряним, залізничним, автомобільним або водним транспортом, утримання будівель, військові завдання.

У 90-х роках з'явилися системи SCADA, що працюють в середовищі Windows. Найвідоміші пакети Genesis 32 ("Iconics", USA), Factory Suite («Wonder-ware», USA), Genie («Advantech», USA). У Росії розроблена система Trace Mode («AdAstra»). Такі системи забезпечують: наочну інформацію про хід виробництва, відображення стану приводів і технологічного устаткування, деталізацію вибраних диспетчером частин процесу, розрахунок показників процесу в динаміці і вивід узагальненої інформації у вигляді графіків, таблиць або малюнків, розпізнавання передаварійних і аналіз аварійних ситуацій з рекомендаціями послідовності дій диспетчера, можливість управління виконавчими пристроями об'єкту з пульта диспетчера, створення архіву аварій, подій і поведінки процесу в часі, захист від недозволеного доступу до збору інформації і управління.

У усіх SCADA-системах передбачені малювання об'єктів, ввід стандартних законів регулювання і алгоритмів керування, підключення нестандартного устаткування, моделювання процесу. Вбудований графічний редактор дозволяє малювати мнемосхему процесу в статистиці, представляти роботу в динаміці і вводити бажане відображення технологічних параметрів. Одночасно розвиваються можливості технічних засобів SCADA.

8.5. Людино-машинний інтерфейс

Для відображення різноманітних об'єктів автоматизації в SCADA-системах застосовують одні і ті ж прийоми:

- ◇ вибір з бібліотеки типових зображень віртуальних індикаторів і органів управління устаткуванням;
- ◇ збереження поточних параметрів процесу за заданий період;
- ◇ зрозуміла диспетчерові мова спілкування з комп'ютером ;
- ◇ представлення інформації і можливість управління процесом в реальному часі;
- ◇ можливість підключення до системи автоматизації устаткування різних виробників;
- ◇ захист від недозволеного доступу до системи автоматизації;
- ◇ одночасне подання інформації про різні сторони процесу.

Розробник і продавець комерційної системи SCADA не знають, для якого об'єкту буде застосована його система. Користувач-покупець SCADA повинен прив'язати її до свого об'єкту, створивши мнемосхему конкретного процесу і визначивши завдання системи. Розробка мнемосхеми конкретного процесу за допомогою включеного в SCADA-систему пакету людино-машинного інтерфейсу MMI включає три етапи:

1. Формування статичних зображень в робочому вікні

Це мнемосхема виробничої системи з недхідними надписами. Для малювання використовують звичайні графічні редактори. Готові зображення імпортують в пакет людино-машинного інтерфейсу (MMI);

2. Формування динамічних елементів робочого вікна

На статичному зображенні за допомогою графічного редактора, що входить в пакет SCADA, створюють зображення динамічних об'єктів і присвоюють їм логічні імена. Ці імена

прив'язують до відповідних каналів вводу і виводу змінних;

3. Опис алгоритму відображення і управління

За допомогою будь-якого текстового редактора складають логічні і математичні формули, що містять логічні імена динамічних елементів. Наприклад, при перевищенні значення 90 для параметра "Температура" треба увімкнути сигнал "Аварія". Цю логічну умову записують так:

" IF Температура > 90 THEN Аварія=1 ELSE Аварія=0".

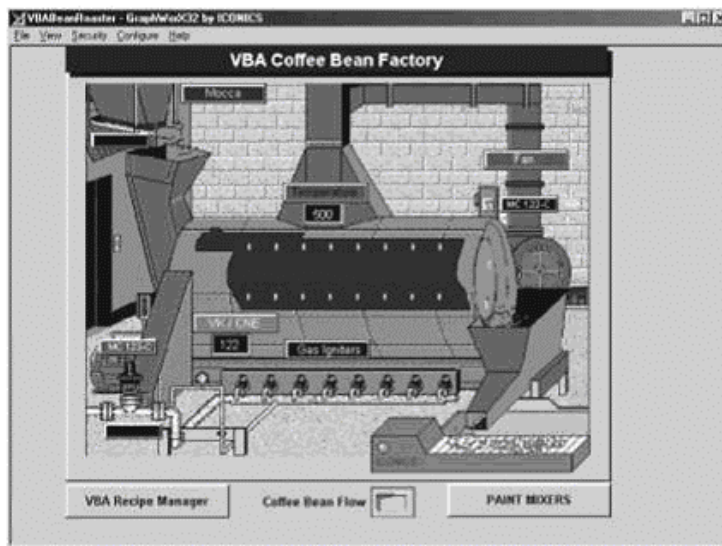


Рис. 53. Відображення процесу обсмажування кавових зерен за допомогою системи SCADA

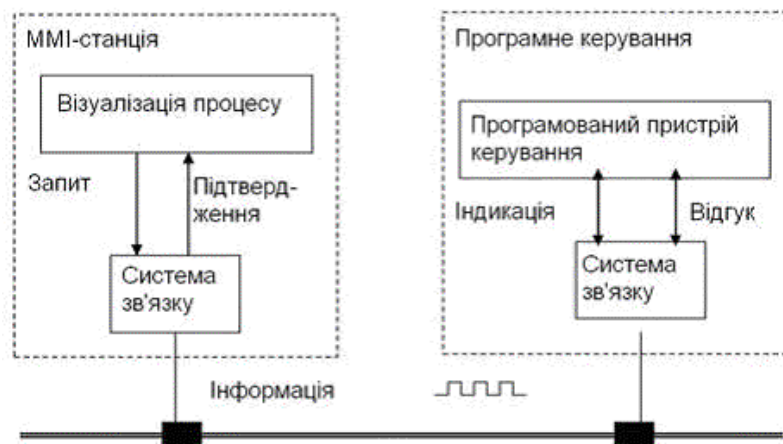


Рис. 54. Схема людино-машинного інтерфейсу (ММІ) в системі SCADA

У деяких системах алгоритм записують мовою функціональних блоків, якими можуть бути типові закони керування, - від математичних функцій до PID-регуляторів.

Спостерігаючи за процесом, диспетчер формує запит, який передається через систему зв'язку між ММІ-станцією і одиницею устаткування з програмним керуванням (рис. 54). Запит поступає в програмований пристрій управління як сигнал "Індикація". Відгук на запит формується пристроєм управління і передається через систему в ММІ-станцію як сигнал "Підтвердження". Такий порядок обміну часто називають моделлю "Клієнт - Сервер", де клієнтом є ММІ-станція, а сервером - система програмного керування.

У SCADA - системі можуть бути два режими управління: автоматичне і таке, що ініціюється диспетчером. У першому режимі диспетчер планує послідовність дій, перепрограмує розподілені пристрої автоматичного керування, стежить за ходом виробництва на екрані комп'ютера і втручається в процес тільки для підналагодження параметрів або при відмові пристроїв автоматики. У другому режимі диспетчер спостерігає за процесом, виробляє і передає команди управління устаткуванням. Другий режим не

вимагає великих затрат на устаткування, проте прийнятна для диспетчера швидкість стеження за процесом може бути недостатня для автоматичного управління устаткуванням.

8.6. Розробка екранних форм АС

Під час розробки графічних рішень екранних форм АС використовуються такі нормативні документи:

1. РД 50-34.698-90. ЕСПД. Автоматизовані системи. Вимоги щодо змісту документів.
2. Посібники з дизайну інтерфейсу користувача від компанії Microsoft.

Екранні форми можна вважати масками, через які користувач розглядає поля безперервного запису технологічних точок спостереження та управління. Маска приховує від користувача непотрібні йому поля. При проектуванні слід створювати екранні форми, в яких поля розміщені полем екрана в зручному йому порядку. На робочому екрані можуть бути інтегровані такі елементи керування/моніторингу як написи, кнопки, селекторні кнопки, контрольні індикатори, списки, ілюстрації і т.д. Форми можна розфарбувати будь-якими доступними фарбами, використовувати для оформлення растри та графічні елементи (лінії та прямокутники).

Дерево экранних форм АС

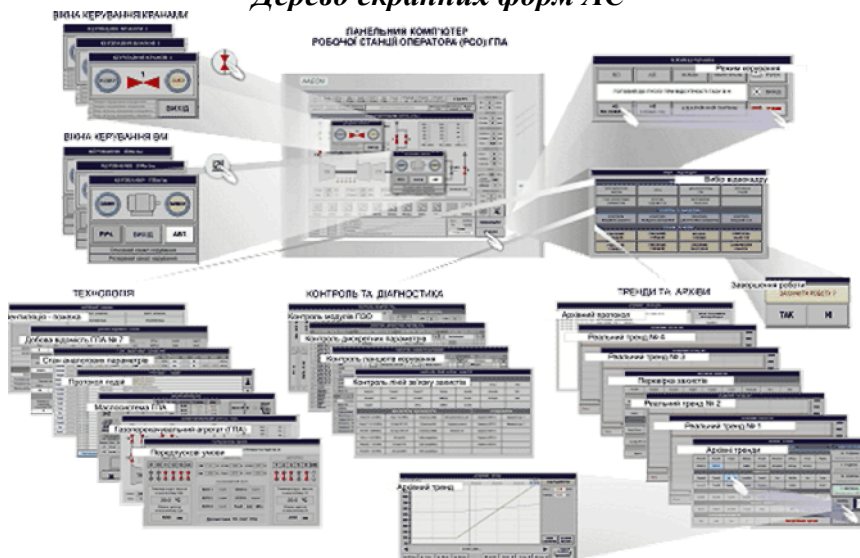


Рис. 55. Дерево экранних форм АС

Дерево екранних форм АС може бути подане у вигляді, показаному на рис. 55.

Представлені у цьому дереві екранні форми системи керування виконують такі спільні функції:

- 1) вхід в систему;
- 2) робочий режим;
- 3) виклик вікна системних повідомлень;
- 4) навігацію екранних форм;
- 5) обробку сигналізації;
- 6) формування динамічних атрибутів екранної форми;
- 7) управління графічними об'єктами вікон (мнемосхемами технологічного обладнання);
- 8) налаштування режимів роботи;
- 9) представлення трендів технологічних параметрів;
- 10) керівництво діями оператора;
- 11) друк екрана;
- 12) підтримку дій диспетчера під час управління та контролю.

Необхідно забезпечити як мінімум таку підтримку дій диспетчера під час управління та контролю

- ◇ звіт про процес;
- ◇ звіт історичних повідомлень;

- ◇ звіт захисту;
- ◇ голосові повідомлення;
- ◇ підтримку одночасної роботи кількох моніторів та екранних форм;
- ◇ звіт про техобслуговування системи;
- ◇ огляд стану технологічного процесу загалом;
- ◇ підтримку роботи одночасних сигналізацій кількох об'єктів;
- ◇ підтримку опцій допомоги.

Найважливіше питання проектування екранних форм - як зробити, щоб вони були інтуїтивно зрозумілими і могли, не втомивши користувача, провести його за тим чи іншим робочим процесом.

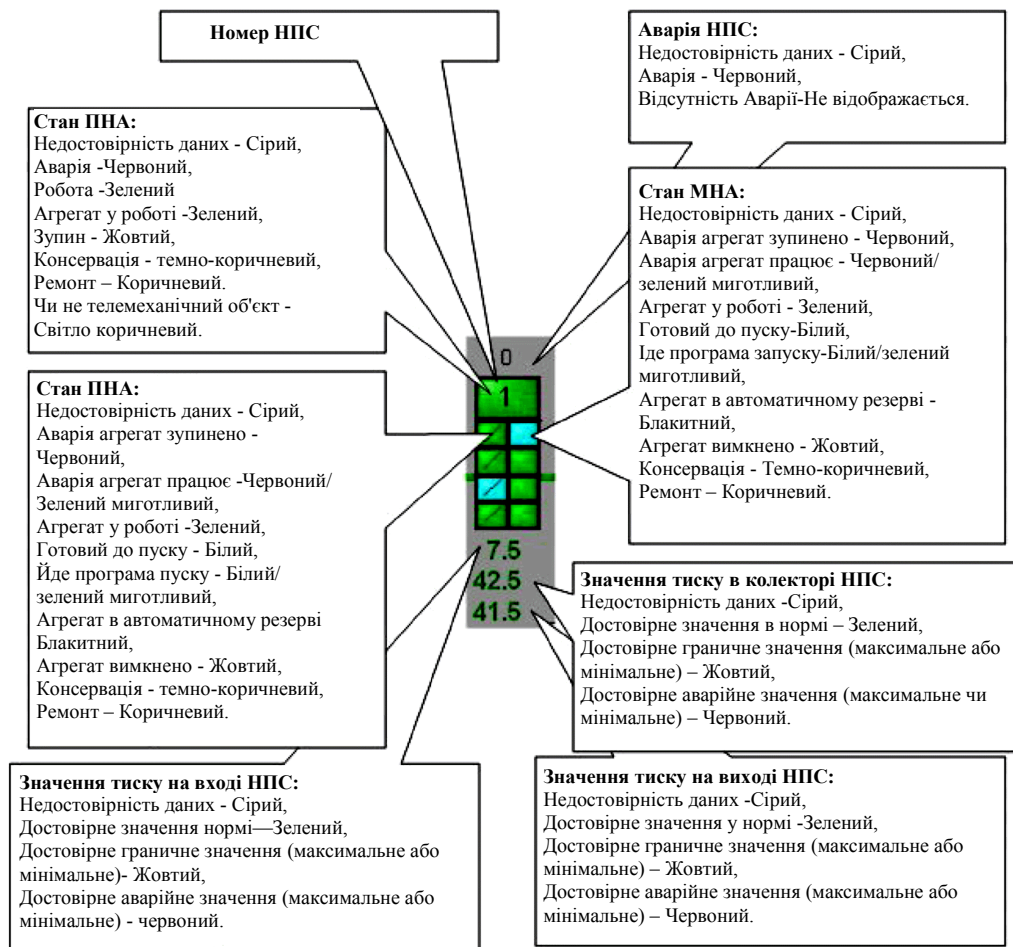


Рис. 56. Шаблон екрану керування насосною станцією

Загальні принципи проектування екранних форм:

- ◇ Усі екранні форми повинні мати унікальні та інформативні заголовки.
- ◇ Усі поля необхідно забезпечити написами; при виклику довідкової системи повинні бути доступні докладні описи полів.
- ◇ Курсор за промовчанням, як правило, повинен переміщатися зліва направо, а потім зверху донизу.
- ◇ Обов'язкові елементи повинні знаходитись у верхній частині екрана. Елементи на екрані необхідно впорядкувати за ступенем важливості.
- ◇ Екранна форма повинна виявляти помилково введені дані та повідомляти про них якомога раніше, а не відкладати перевірку (якщо не йдеться про екранні форми, що працюють за мережею із низькою швидкістю, наприклад, по комутованій лінії).
- ◇ Екранна форма повинна використовувати несуперечливі методи блокування, виявляти та вирішувати конфлікти.
- ◇ Екранна форма не повинна складатися з багатьох сторінок.

- ◇ Користувачі повинні вводити код лише один раз і не повинні нічого запам'ятовувати або записувати під час переходу від однієї екранної форми до іншої.
- ◇ Використовуйте спеціальні ефекти, щоб звести до мінімуму.
- ◇ Якщо у проекті передбачено надання екранних форм та звітів професійного вигляду, необхідно звернутися до фахівця-дизайнера. Дизайнер може виконати роботу краще, ніж проектувальники, аналітики і користувачі, і набагато краще, ніж програмісти (навіть якщо цей дизайнер не може писати рекурсивні структури на C++).
- ◇ Розміщення на екранній формі додаткових елементів за рахунок зменшення розміру символів допустиме лише обмеженою мірою.
- ◇ Більшість користувачів набагато краще справляються з вертикальним, а не з горизонтальним прокручуванням, особливо якщо при прокручуванні праворуч з лівої частини екрана зникають важливі дані та умовні позначення.

Для відображення сигнальної інформації можуть використовуватись спеціальні кольори, подані у наступній таблиці

Табл. 9. Кольори сигнальних світлових індикаторів (ламп) та їх значення в залежності від режиму роботи (стану) обладнання

Колір	Значення	Пояснення	Дія оператора	Приклади застосування
Червоний	Терміновий	Небезпечні умови	Негайна дія для розбору небезпечної ситуації (наприклад, термінова зупинка)	Тиск (температура) поза межами безпеки. Падіння напруги. Вимкнення. Перерегулювання Термінової зупинки
Жовтий	Ненормальний	Ненормальний режим. Неминуча критична ситуація	Спостереження та/або втручання	Тиск (температура) понад норму. Спрацювання захисного пристрою
Зелений	Нормальний	Нормальний режим	На розсуд	Тиск (температура) в межах норми
Блакитний	Обов'язковий	Сигнал про ситуацію, яка вимагає дій оператора	Обов'язкова дія	Запит про ввід попередньо вибраних значень
Білий	Нейтральний	Інші ситуації можуть використовуватися, якщо є сумнів у застосуванні кольорів, крім жовтого, зеленого, блакитного.	Спостереження	Загальна інформація

Для представлення елементів керування використовуються шаблони. Так для насосно-перекачує станції шаблон управління може виглядати так як це показано на рис. 56.

8.7. Вимоги до SCADA

До SCADA-систем пред'являються особливі вимоги:

- ◇ відповідність нормативам "реального часу" (в т.ч. та "жорсткого реального часу");
- ◇ здатність адаптуватися як до змін параметрів середовища в темпі цих змін, так і до умов роботи інформаційно-керуючого комплексу;
- ◇ здатність працювати протягом усього гарантійного терміну без обслуговування (безперебійна робота роками);
- ◇ установка у віддалених та важкодоступних місцях (як географічно – малообжиті

райони, так і технологічно – колодязі, естакади). Основні можливості SCADA-систем:

- ◇ збирання первинної інформації від пристроїв нижнього рівня;
- ◇ архівування та зберігання інформації для подальшої обробки (створення архівів подій, аварійної сигналізації, зміни технологічних параметрів у часі, повне або часткове збереження параметрів через певні проміжки часу);
- ◇ візуалізація процесів;
- ◇ реалізація алгоритмів управління, математичних та логічних обчислень (є вбудовані мови програмування типу VBasic, Pascal, C та ін.), передача керуючих впливів на об'єкт;
- ◇ документування як технологічного процесу, так і процесу управління (створення звітів), видача на друк графіків, таблиць, результатів обчислень та ін;
- ◇ мережеві функції (LAN, SQL);
- ◇ захист від несанкціонованого доступу до системи;
- ◇ обмін інформацією з іншими програмами (наприклад, Outlook, Word та ін через DDE, OLE і т.д.).

Апаратна відкритість пристроїв SCADA – це підтримка або можливість роботи з обладнанням різних виробників з використанням OPC технології.

Сучасна SCADA обмежує вибір апаратури нижнього рівня, т.к. надає великий набір драйверів або серверів вводу-виводу.

Якщо для програмної системи визначені і відкриті формати даних і процедурний інтерфейс, то це дозволяє підключити до неї зовнішні, незалежно працюючі компоненти, у тому числі розроблені окремо програмні та апаратні модулі сторонніх виробників.

Для підключення драйверів вводу-виводу до SCADA використовується стандартний динамічний обмін даними OLE (Object Linking and Embedding), включення та вбудовування об'єктів.

8.8. Огляд програмних комплексів SCADA

Табл. 10 Таблица 13.1. Поширені системи SCADA

Система	Розробник	Країна	Число застосувань
GENESIS for Windows	ICONICS, Inc.	США	30 тисяч у світі
Factory Suite	Wonderware	США	60 тисяч у світі
Genie	Advantech Co.	США	
Modicon Factory Link	US Data	США	
iFIX	Intellution	США	
Cimplicity HMI	GE Fanuc Automation	Японія	
FIX 32	Intellution, Inc.		
WinCC	Siemens	Німеччина	
CODESYS	3S-Smart Software Solutions GmbH	Німеччина	
Infinity	Elesy	-	
Real Flex	BJ	США	
Citect	CiTechnologies,	США	

На світовому ринку пропонують десятки програмних комплексів SCADA, що відрізняються різноманітними характеристиками. Проте усі вони мають спільні властивості:

- ◇ об'єктно-орієнтоване програмування з шаблонами типових елементів технологій і засобів автоматики для малювання мнемосхеми технологічного процесу;
- ◇ відкриту архітектуру для інтеграції з іншими рівнями автоматизації;
- ◇ версії різної вартості, що відрізняються числом користувачів і кількістю змінних (від 100 до 250000);
- ◇ налаштування рівнів змінних, при яких повинне формуватися повідомлення про

- ◇ передаварійні ситуації;
- ◇ оновлення даних у реальному часі;
- ◇ архівація даних про процес;
- ◇ анімація графічних об'єктів;
- ◇ формування звітів про хід виробництва.

Розробкою і постачанням SCADA-систем займаються провідні фірми в області автоматизації виробництва (табл. 10).

8.8.1. Factory Suite

Система Factory Suite об'єднує рівні MES, SCADA і Control. Вона містить компоненти: In Touch (У дотику), In Track (У технологічному маршруті), In Batch (У змішуванні), In Support (У підтримці). Програми дозволяють підключатися через промислову мережу до мережі Інтернет. Найвідоміший компонент In Touch дозволяє спостерігати за дискретними і безперервними процесами, відображеними на екрані в реальному часі.

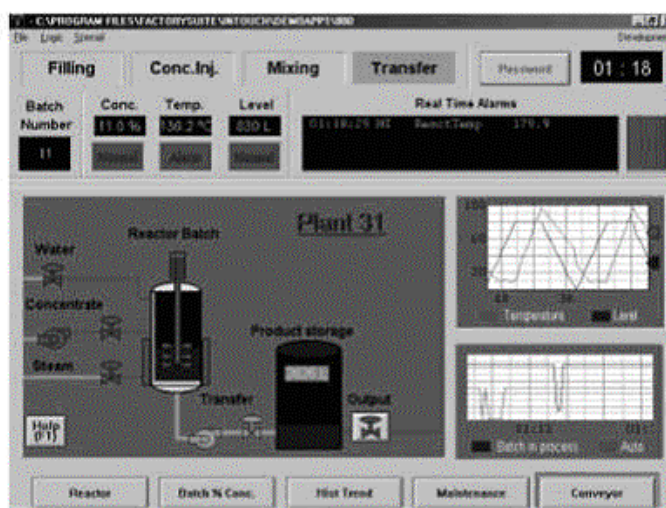


Рис. 57. Відображення роботи хімічного реактора за допомогою SCADA-системи Factory Suite / In Touch

Робота одиниці устаткування показується автономно або у складі групи. Окрім бібліотеки типових елементів (перемикачів, повзунків, лічильників, гістограм), можна створювати власні об'єкти для конкретних застосувань.

Компонент In Track дозволяє моделювати і контролювати будь-яку стадію дискретного виробничого процесу. Модель створюють в термінах виробничих ланцюжків, що складаються з окремих стадій виробництва. На кожній стадії здійснюють певні операції над матеріалами і продуктами. Ланцюжок будують за допомогою графічного редактора. Схема ланцюжка із стадіями виробництва є статичним об'єктом. Динамічні об'єкти відбивають незавершене виробництво і рух товарно-матеріальних запасів. Кожна операція супроводжується транзакцією з базою даних, що відображає модель операції. За допомогою In Track можна моделювати і планувати процеси виробництва, оцінювати обсяги незавершеного виробництва, автоматизувати збір даних, визначати черговість робіт.

Компонент In Batch розроблений для моделювання і автоматизації процесів дозування і змішування в металургійній, хімічній, харчовій і фармацевтичній промисловості. З його допомогою можна розробляти модель процесу, створювати рецепти та імітувати їх виконання, управляти процесом шляхом порівняння його з моделлю. Базовим об'єктом моделі є фаза - процес змішування, нагріву, охолодження, випічки, струшування, зливу або перегонки. З одного боку, фаза характеризується поточними показниками процесу з рівня управління Control, а з іншого боку, вона визначається заданими рецептами і циклами з рівня виконання виробництва MES. Технолог за допомогою простого графічного інтерфейсу створює рецепти, вибираючи параметри устаткування і процесів з набору моделей. Виробництво є перетворенням «Основного Рецепту», не залежного від устаткування і технології, в «Контрольний Рецепт», залежний від устаткування. Окрім конкретного

устаткування користувач задає «Формулу Процесу» (матеріали на вході і виході) і «Процедуру Процесу» (набір операцій для виготовлення порції продукту). Процедура будується з послідовно-паралельних функціональних схем.

Компонент In Support забезпечує інтерактивний пошук і усунення несправностей з доступом до технічної документації і її веденням для будь-якого об'єкту виробництва. У системі є середовище для створення мультимедійних описів об'єктів у вигляді електронного керівництва з текстами, гіперпосиланнями, кресленнями, фото і відео. Ця ж інформація може використовуватися для технічного обслуговування, навчання і узагальнення досвіду експлуатації устаткування.

Для пошуку несправностей використовують вбудовану експертну систему, яка зіставляє ознаки несправності, враховує час і вартість ремонту, оцінює варіанти пошуку несправності. При автоматичному виявленні несправності компонент In Support може використовувати аварійні сигнали, що формуються компонентом In Touch. В результаті виробляється оптимальне рішення і формуються інструкції поетапного пошуку несправності з показом відеороликів і слайдів, відповідних сторінок тексту. Скорочення часу пошуку і усунення несправностей зменшує збитки від простоїв виробничої лінії.

Система Factory Suite спеціально зістикована із стандартним набором програмних засобів Microsoft BackOffice, що забезпечує її зв'язок з мережею Інтернет для оновлення програм і розподілу нових додатків по підприємствах.

8.8.2. Система GENESIS

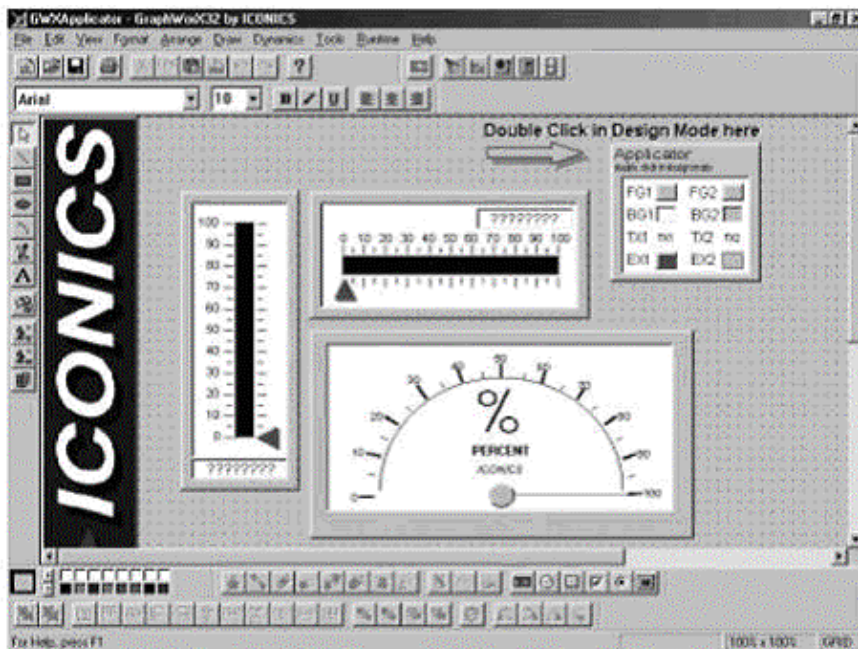


Рис. 58. Приклад відображення параметрів процесу в SCADA - системі GENESIS 32/GraphWorX32

Аналогічна система GENESIS 32 містить середовище розробки сценаріїв на стандартній мові Microsoft Visual Basic for Applications. Система містить чотири додатки:

- ◇ GraphWorX32 (розробка і перегляд мнемосхем);
- ◇ TrendWorX32 (побудова графіків параметрів);
- ◇ AlarmWorX32 (виявлення аварійних подій);
- ◇ ScriptWorX32 (розробка і запуск сценаріїв).

Додаток GraphWorX32 дозволяє малювати мнемосхему технологічного процесу для візуалізації контрольованих параметрів і диспетчеризації (рис. 58). Управління мнемосхемою можна вести згідно з розробленим сценарієм. Інформація оновлюється кожні 50 мілісекунд. Елементи мнемосхеми можна вибирати з бібліотеки. При необхідності на мнемосхемі відображують графіки і аварійні події.

Додаток TrendWorX32 забезпечує накопичення і представлення поточних графіків у вигляді простої або логарифмічної залежності заданої величини від часу, гістограм, кругових

діаграм або графіків зв'язку двох величин. Накопичена інформація може витягатися з архіву. Обчислюються статистичні характеристики. Можна одночасно переглядати поточні і архівні дані.

Додаток AlarmWorX32 призначений для виявлення аварій, сповіщення персоналу, накопичення інформації про аварії. Аварії виявляються по сукупності ознак і критеріїв, які вводить користувач. Сигнал аварії у вигляді мигання зображення і переривчастого звукового сигналу передається на різні рівні управління. Плануються голосове сповіщення персоналу, передача повідомлень по телефону і персональне сповіщення чергових. Передбачений запис аварійних подій і дій персоналу по їх усуненню (рис. 59).

Як і Factory Suite, система GENESIS 32 працює з протоколом TCP/IP, що дозволяє включатися в локальну мережу підприємства інтранет і вийти у всесвітню мережу Інтернет.

Time/Date	Tag	Value	Priority	Quality	Description
18:52:30.350 19:04:00	Bel3Speed	58	500	Good - Non-S	Bel 3 Speed Limit is Normal
18:52:30.310 19:04:00	Coke Temp	51	500	Good - Non-S	Coke Temperature is OK
18:52:30.310 19:04:00	Cokelet Level	51	500	Good - Non-S	Cokelet was detected
18:52:30.310 19:04:00	Radiation Lev	51	500	Good - Non-S	Some Radiation leak has been detected
18:52:30.310 19:04:00	Arm Torque	51	500	Good - Non-S	Arm Torque is at acceptable level
18:52:30.310 19:04:00	Scale	51	500	Good - Non-S	Reading on the scale is OK
18:52:30.310 19:04:00	Valvet	51	400	Good - Non-S	The pressure in valvet is normal
18:52:30.310 19:04:00	Bel3Status	1	500	Good - Non-S	Bel 3 is On
18:52:30.310 19:04:00	PumpStatus	1	500	Good - Non-S	Pump is ON
18:52:27.170 19:04:00	PumpStatus	42	500	Good - Non-S	Limit is Normal
18:52:19.370 19:04:00	Critical Mass	35	500	Good - Non-S	Reaching Critical Mass
18:52:17.890 19:04:00	Humidity	27	500	Good - Non-S	Humidity is normal
18:52:14.760 19:04:00	Level Gauge	21	500	Good - Non-S	Level gauge is normal
18:52:14.700 19:04:00	Compressor	21	500	Good - Non-S	Compressor gauge is reading normal
18:52:14.700 19:04:00	Tank PSI	21	500	Good - Non-S	PSI in Tank1 is normal
18:52:14.700 19:04:00	Bel Speed	21	500	Good - Non-S	Bel Speed is normal
18:52:14.700 19:04:00	Pressure	21	500	Good - Non-S	Pressure in valvet is normal
18:52:04.430 19:04:00	Bel3Temp	2	500	Good - Non-S	Some heat on Bel3
18:52:04.430 19:04:00	Box Line	1	500	Good - Non-S	Bel3 on the Box Line is moving
18:52:04.430 19:04:00	Ash Content	1	500	Good - Non-S	Ash Content of Tank1 is too low, Contents are work
18:52:04.480 19:04:00	Tank1	1	500	Good - Non-S	The level in tank1 is too low
18:52:04.480 19:04:00	Pump1	1	500	Good - Non-S	Pressure in pump1 is too low
18:52:04.490 19:04:00	Alkaline Level	1	500	Good - Non-S	Alkaline level in Tank1 is too low, Contents are toxic

Рис. 59. Журнал стану устаткування в SCADA-системі GENESIS 32 /AlarmWorX32

8.8.3. Пакет Genie

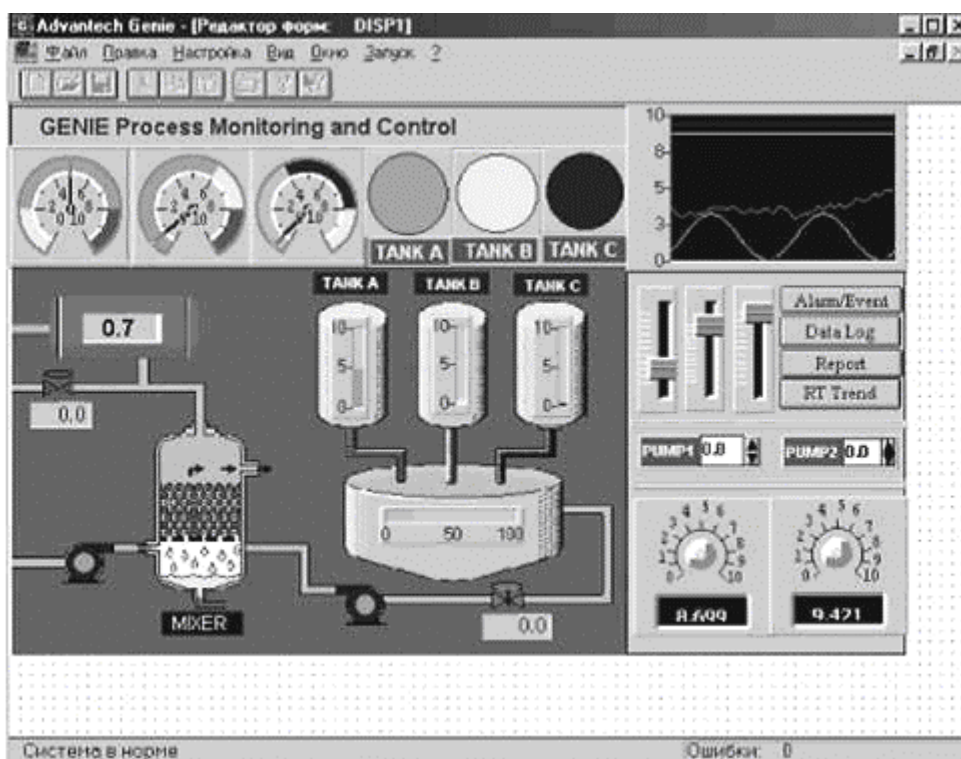


Рис. 60. Приклад відображення процесу змішування за допомогою пакету Genie

Найдешевшою і простою SCADA-системою є пакет Genie, орієнтований на застосування тільки пристроїв його фірми-розробника Advantech. У ньому відсутні вбудований графічний редактор і можливість анімації. Спрощене відображення процесу в середовищі Windows (рис. 60) дозволяє освоїти роботу з пакетом за декілька годин.

8.8.4. TraceMode

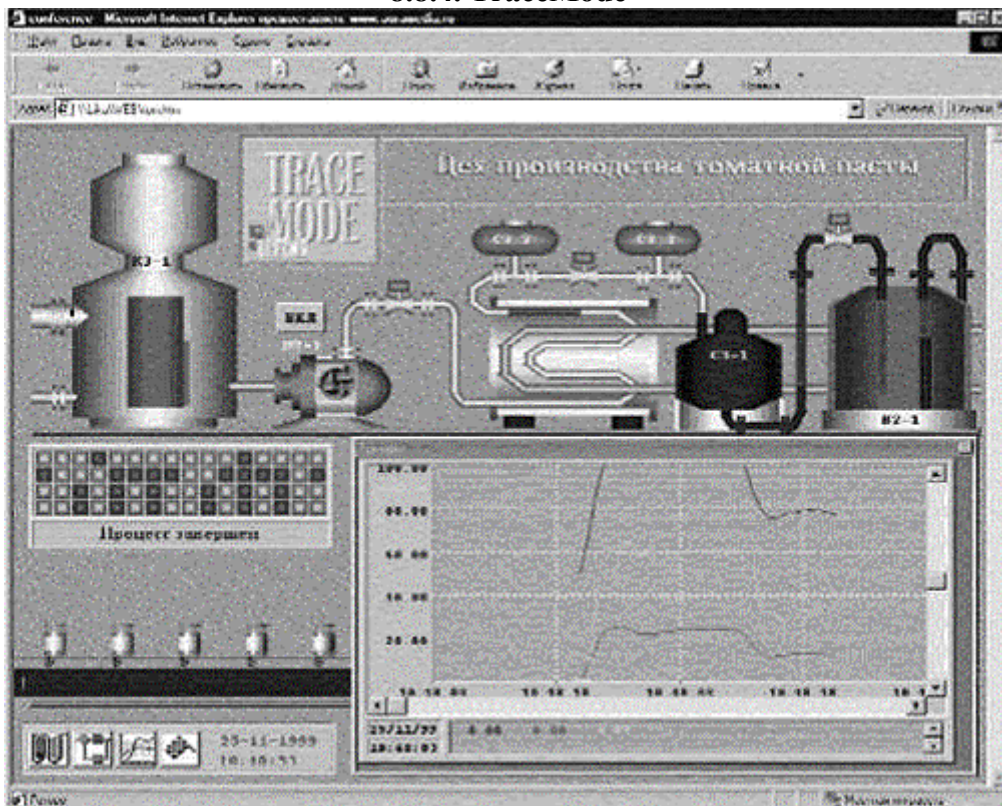


Рис. 61. Відображення виробництва томатної пасти в SCADA-системі Trace Mode

Близько половини застосувань SCADA в Україні реалізовано на пакеті TraceMode (AdAstra). В Україні цей пакет широко застосовують при автоматизації енергетики, у металургії, харчовій промисловості (цукрове виробництво, зберігання та заморожування овочів і фруктів), гірничо-добувній промисловості. Пакет відрізняється низькою вартістю та сумісністю з контролерами багатьох виробників. Програмування ведуть у три прийоми. Спочатку за допомогою вбудованого графічного редактора створюють базу каналів вводу-виводу і мнемосхему процесу. Потім формують представлення технологічних параметрів в динаміці. На останньому етапі запускають алгоритм управління виробництвом в режимі реального часу. Як і в усіх системах SCADA, робота з пакетом Trace Mode не вимагає від диспетчера знання мов програмування. Аналіз ходу виробництва ведуть по його простому відображенню на екрані (рис. 61).

У новій версії пакету розроблена технологія автопобудови проекту. Вводять інформацію про число точок виміру/контролю, кількість і розміщення контролерів і персональних комп'ютерів, алгоритм управління виробництвом. Пакет автоматично формує проект АСУТП і виробляє програми для контролерів на мовах функціональних блоків і списку інструкцій, відповідних міжнародному стандарту програмування контролерів ІЕС 61131-3. Тип контролера вибирають із вбудованої бібліотеки.

8.8.5. Система управління підприємством Factory Link ECS

Система управління підприємством Factory Link ECS (Enterprise Control) є програмним пакетом для завдань візуалізації на рівнях виконання виробництва MES, поведінка устаткування SCADA і зв'язки з об'єктом MMI. Вона базується на шині відкритого програмного забезпечення, в яку можуть вводитися різноманітні програмні модулі, що обмінюються даними в реальному часі.

Система побудована за принципом "конфігурація замість програмування". Її ядром є підсистема реального часу, що забезпечує відлік інтервалів часу, обліку даних, математичні

перетворення. З ним пов'язані наступні підсистеми:

- ◇ зв'язки з базою даних підприємства, що забезпечує доступ користувача до характеристик виробництва;
- ◇ графічного моніторингу і управління, що відображає мнемосхему конкретного виробництва з виводом тенденцій розвитку, попередження про аварії, початкові і результуючі дані;
- ◇ локальної мережі для двонаправленого обміну інформацією з іншими системами в режимах "клієнт-сервер" або "від точки до точки";
- ◇ організації і звіту для вводу змін у виробниче устаткування, отримання даних з віддалених джерел, генерування звітів;
- ◇ зв'язку із зовнішніми пристроями, що забезпечує з'єднання з сотнями механізмів, програмованих логічних контролерів (PLC), розподілених управляючих систем (DCS), віддалених персональних комп'ютерів.

Користувач буде мнемосхему технологічного циклу з елементарних блоків у вбудованій бібліотеці. Система побудована за принципом "Easy-To-Use" (легко застосовувати) і призначена для інженерів, що займаються плануванням, виготовленням і обслуговуванням систем промислової автоматизації. У ній можна міняти структуру і параметри системи автоматизації при заміні устаткування і його функцій. При наведенні курсора на будь-який елемент системи, відображений на екрані, поруч з'являється опис елементу.

8.8.6. CODESYS

Основою комплексу CODESYS є середовище розробки прикладних програм для програмованих логічних контролерів (ПЛК). Вона поширюється вільно і може встановлюватись на робочих місцях без обмежень.

У CODESYS для програмування є доступними усі п'ять визначених міжнародним стандартом IEC 61131-3 мов програмування:

- ◇ IL (Instruction List) — асемблеро-подібна мова
- ◇ ST (Structured Text) — Pascal-подібна мова
- ◇ LD (Ladder Diagram) — мова релейних схем
- ◇ FBD (Function Block Diagram) — мова функціональних блоків
- ◇ SFC (Sequential Function Chart) — мова діаграм станів.

У доповнення до FBD підтримується мова програмування CFC (Continuous Function Chart) з довільним розміщенням блоків й встановленням порядку їх виконання.

У CODESYS реалізовано низку інших розширень специфікації стандарту IEC 61131-3. Найсуттєвішим з них є підтримка технологій об'єктно-орієнтованого програмування (ООП).

Вбудовані компілятори CODESYS генерують машинний код для завантаження у контролер. Підтримуються основні 16- та 32-розрядні процесори архітектур: Infineon C166, TriCore, 80x86, ARM, PowerPC, SH, MIPS, Analog Devices Blackfin, TI C2000/28x та інші.

При підключенні до контролера середовище програмування переходить у режим відлагодження. У ньому є доступним моніторинг/змінювання/фіксація значень змінних, точки зупинки, контроль потоку виконання, гаряче оновлення коду, графічне трасування у реальному часі та інші відлагоджувальні інструменти.

CODESYS версії 3.5 побудовано на базі так званої платформи автоматизації: CODESYS Automation Platform. Вона дозволяє виробникам обладнання розвивати комплекс шляхом підключення власних плагінів.

Розширена професійна версія середовища розробки має назву CODESYS Professional Developer Edition. Вона містить підтримку UML-діаграм класів і станів, підключення системи керування версіями Subversion, статичний аналізатор й профілювальник коду. Поширюється за ліцензією.

Інструмент CODESYS Application Composer дозволяє перейти від програмування практичних додатків до їх швидкого складання. Користувач складає власну базу об'єктів, що відповідають певним приладам, механічним вузлам машини тощо. Кожен об'єкт включає

програмну реалізацію й візуальне представлення. Закінчений додаток збирається з необхідних об'єктів, конфігурується й на його основі автоматично генерується програма мовами IEC 61131-3.

8.8.7. InfinityLite

Розглянемо систему InfinityLite ЗАО ЭлеСи. Його повнофункціональна конфігурація включає :

1. InfinityServer.
2. InfinityHistoryServer.
3. InfinityReports.
4. Infinity Trends.
5. InfinityArmsю
6. InfinityHMI.

InfinityServer забезпечує безперервний моніторинг технологічного процесу та передачу сигналів телеуправління до систем автоматики в режимі реального часу. Його основні характеристики:

1. Збір даних. Це підтримка поширених стандартних протоколів для використання в системах автоматики та телемеханіки, таких як: Modbus, Modbus+, Modbus Ethernet, МІЕС 870.5, CAN, RP-570, TM120. Управління якістю вхідних значень забезпечує контроль актуальності та достовірності інформації, що надається, наявності зв'язку з джерелами даних, справності систем автоматики та комунікаційних пристроїв.

2. Надання даних. Це повідомлення клієнтських додатків про зміни вибраних сигналів забезпечує відображення інформації в реальному часі за стандартом OPC DA 2.05, а також можливість подачі команд управління, ввід даних нетелемеханізованих вимірювань, зміни порогових та контрольних значень, уставок технологічного процесу.

3. Телеуправління. Ця функція забезпечує негайне відправлення значення при зміні сигналу на сервері, високу швидкість доставки команд. Контроль якості значень, що відправляються, виключає передачу недостовірних команд і уставок.

4. Математична та логічна обробка включає вбудований перерахунок значень з фізичних в інженерні. Процедури обчислення сигналів при змінах дають можливість розрахунку параметрів технологічного процесу, що обчислюються, та реалізації алгоритмів управління, обчислення за розкладами та таймером забезпечують можливість проведення регламентних розрахунків, ведення лічильників, обчислення облікових даних.

5. Оперативний контроль забезпечує генерацію повідомлень про події та аварії та повідомлення клієнтських програм шляхом розсилки пакетів за протоколом OPC AE.

6. Контроль доставки значень телерегулювання гарантує передачу команд керування технологічним устаткуванням. Сервер повідомляє користувача про результати доставки через спеціальні сигнали відповіді на телекерування/телерегулювання

7. Продуктивність. Кількість тегів (каналів вимірювань та/або обчислень), що обслуговуються одним сервером: 1024. Кількість каналів автоматики та телемеханіки, що обслуговуються одним сервером: 16. Виконання елементарних логічних операцій: 80 000 в секунду. Максимальна кількість вхідних значень: 80 000 за секунду. Максимальна кількість тегів та груп, що обслуговуються за OPC: 1024. Мінімальна частота оновлення значень: 100 мс.

InfinityHistoryServer забезпечує збирання та зберігання історії технологічного процесу, а також доступ клієнтських додатків до архіву історичної інформації, акумулювання історичних даних. Точність хронології процесу— 100 насосекунд. Застосування алгоритмів фільтрації даних за їх складом, інтервалом часу та поріг чутливості, оптимізує обсяг даних, що зберігаються без втрати інформації про стан технологічного процесу. InfinityHistoryServer підтримує набір стандартних інтерфейсів доступу до історичних технологічних даних, реалізуючи всі переваги відкритих технологій. Підтримка протоколу OPC HDA забезпечує швидкий та зручний доступ до історії зміни технологічних параметрів для будь-якого OPC-клієнта. Запит історії з використанням SQL забезпечує

доступ до архіву історії програм, що підтримують протоколи OLE DB, ODBC. Це дає можливість використання історичних технологічних даних у MES системах (системах управління виробничим процесом) для контролю виробничих процесів, для формування звітів, в аналітичних завданнях оптимізації та планування. Одночасне зберігання історичних даних у кількох історичних архівах забезпечує можливість швидкого доступу до оперативної історії за останню добу та тривале зберігання архівованої інформації.

- ◇ Середня кількість операцій читання/запису: 40000 за секунду.
- ◇ Максимальна швидкість читання: до 70 000 значень за секунду.
- ◇ Середній розмір запису: 85 байт.
- ◇ Розмір історичної бази: до 15 ГБ.

InfinityOPCReports призначений для підготовки зведень та звітів на основі оперативних та історичних технологічних даних для аналізу стану автоматизованої системи в режимі реального часу, а також зберігання та надання сформованих звітів користувачеві. Оперативні звіти автоматизують процес створення звітів про стан системи на основі оперативних даних, отриманих від одного і більше серверів OPC DA. Це дозволяє фахівцям та керівникам, які приймають рішення, отримувати точну та повну інформацію про стан автоматизованої системи у зручній формі, як на поточний, так і на минулі моменти часу.

Звіти формуються на основі шаблонів, що визначають їх стильове оформлення та зміст. Шаблони створюються у форматі Microsoft Excel. Для зручності надається надбудова Microsoft Excel дозволяє користувачеві переглядати адресний простір OPC DA серверів і вибирати теги, що використовуються.

Звіти формуються як на запит користувача, так і автоматично, відповідно до заданого розкладу. При цьому для кожного шаблону може бути задано свій розклад. Звіти зберігаються на диску як файли у форматі Microsoft Excel. Для кожного шаблону визначається термін зберігання. Історичні звіти автоматизують процес створення зведень та звітів на основі історичних технологічних даних.

InfinityHMI - це управління технологічним процесом та відображення в режимі реального часу інформації про хід виконання технологічного процесу. InfinityHMI базується на OPC DA, є повноцінним графічним редактором і RunTime - середовищем виконання мнемосхем. Він забезпечує візуальне проектування та редагування мнемосхем, анімацію графічних об'єктів, має розвинену бібліотеку графічних символів та динамічних об'єктів.

Механізм «підказок» забезпечує швидке і наочне отримання уточнюючої інформації про технологічний процес.

Інструмент «Таблиця» робить зручним процес створення та коригування табличного подання інформації на мнемосхемі. Функція «Drag&Drop» виконує копіювання графічних та динамічних об'єктів з однієї мнемосхеми до іншої, забезпечує взаємодію з іншими додатками.

Графічний об'єкт "стрілка" має властивість "приклеювання" (автоматичної прив'язки) до кордонів інших об'єктів.

Динамічний об'єкт «Кнопка з екраном» забезпечує завантаження мнемосхеми, містить зменшене графічне зображення завантажуваної мнемосхеми.

Динамічний об'єкт «Значення параметра» забезпечує ручне ввід значень джерел даних. Динамічний об'єкт «Кнопка» забезпечує обробку дій користувача та містить набір сценаріїв; Вбудована система контекстно-орієнтованої допомоги.

Можливість підключення до InfinityHMI мови програмування Microsoft VBA. Редактор виразів забезпечує виконання математичних, логічних, функціональних та інших операцій із даними. Функція експорту мнемосхеми у формат *.html дозволяє переглядати мнемосхеми у браузері.

Характеристики продуктивності:

- ◇ Період оновлення значень OPC – від 100 мс.
- ◇ Дискретизація імітації сигналів – від 50 мс.
- ◇ Час оновлення даних на дисплеях – від 50 мс.

- ◇ Кількість об'єктів на мнемосхемі не обмежена. InfinityTrends використовується для побудови трендів на основі оперативних, історичних даних, а також для представлення трендів у табличному вигляді. Функціональні можливості:
- ◇ Відображення кількох графіків в одному трендовому полі.
- ◇ Можливість роботи у багатовіконному режимі.
- ◇ Автоматичне та ручне масштабування графіків.
- ◇ Одночасне відображення кількох реперних ліній.
- ◇ Налаштування без перезапуску параметрів тренду, додавання, видалення та редагування сигналів, що відображаються.
- ◇ Візуалізація точок перегину тренда забезпечує показ моменту зміни динаміки зміни сигналу.
- ◇ Обчислення статистичних характеристик контрольованих параметрів.
- ◇ Подання тренду в табличному вигляді.
- ◇ Збереження таблиці значень тренда у форматі *.xls.
- ◇ Експорт трендів до графічного файлу *.emf.
- ◇ Вивід графіків на принтер.

Можливості налаштування:

- ◇ - виду та складу панелей інструментів;
- ◇ - кольорів та стилів відображення графіків;
- ◇ - Кількість реперних ліній;
- ◇ - складу та ступеня точності виведених даних;
- ◇ - інтервалу та періоду оновлень даних в оперативному режимі.

Запуск програми з визначенням параметрів у командному рядку дозволяє здійснювати:

- ◇ конфігурацію користувача;
- ◇ запуск у оперативному режимі;
- ◇ автоматичне завантаження списку сигналів;
- ◇ приховування панелей інструментів.

InfinityAlarms – це відображення повідомлень про події та аварії, відображення оперативних повідомлень у режимі реального часу та перегляд історії повідомлень за довільний період.

Функціональні можливості:

- ◇ Відображення та фіксація оперативних повідомлень.
- ◇ Виділення різними кольорами тексту повідомлень різних типів та важливості.
- ◇ Мовне сповіщення про отримання повідомлення. Текст голосового повідомлення формується автоматично та залежить від структури OPC-тегу.
- ◇ Построковий друк оперативних повідомлень на матричний принтер забезпечує об'єктивний протокол подій SCADA.
- ◇ Фільтрування та сортування історичних повідомлень за призначенням, об'єктами, типами та важливістю.
- ◇ Доступ до історичної інформації.
- ◇ Гнучкий механізм налаштування відображення.

8.9. Вибір системи SCADA

Створення системи SCADA для конкретного підприємства можливо двома способами:

- ◇ самостійна розробка на універсальній алгоритмічній мові;
- ◇ прив'язка покупної SCADA-системи типу Genesis, Factory Suite, Trace Mode до підприємства.

Перший спосіб не вимагає великих коштів на придбання ліцензійного програмного забезпечення. Розроблена силами підприємства система SCADA може випереджати покупну систему SCADA по швидкодії і обсягу оброблюваної інформації. Проте розширення можливостей системи або зміна технологічного процесу вимагають великих витрат часу і

праці висококваліфікованих програмістів. При цьому кожне наступне завдання програміст буде вимушений вирішувати із самого початку.

Пропоновані на ринку системи SCADA орієнтовані на типові завдання і пристрої автоматизації виробництва. Їх орієнтація на широке коло користувачів і технічна підтримка користувача з боку розробника дозволяють швидко адаптувати систему до конкретного підприємства і розвитку автоматизації виробництва.

Досвід комп'ютерної диспетчеризації показав, що розробка системи SCADA силами фахівців підприємства доцільна для простих об'єктів управління або фрагментів складного об'єкту. В більшості випадків доцільно йти по другому шляху, закупляючи, освоюючи і адаптуючи до свого підприємства універсальний апробований пакет.

Вибір того або іншого способу створення системи SCADA для підприємства залежить від відповідей на питання:

- наскільки великий проект автоматизації?
- які терміни виконання проекту?
- які кваліфікація і досвід розробників програмного забезпечення?
- чи розвиватиметься система ?
- яка буде кваліфікація обслуговуючого персоналу?

Велике значення має якість технічної підтримки, яку забезпечує розробник SCADA-системи. Технічна підтримка можлива в наступних формах:

- виїзд фахівця фірми на підприємство;
- обслуговування регіональним представництвом фірми;
- взаємодія фірми з фахівцями підприємства через Інтернет.

Для допомоги при експлуатації системи SCADA фірми-розробники використовують детальні інструкції для технологів, регулярні курси для фахівців, Інтернет.

Вартість SCADA-систем складається з чотирьох складових:

- ◇ вартості ліцензійного програмного забезпечення (7-10 тис. доларів), яка залежить від кількості змінних в прикладній програмі (SCADA-система InTouch), числа каналів вводу/виводу (SCADA-система Simplicity), комерційного попиту (SCADA-система FactoryLink);
- ◇ вартості освоєння системи, залежної від зручності людино-машинного інтерфейсу;
- ◇ вартості експлуатації системи, залежної від репутації розробника, вартості зв'язку з постачальником системи, часу відгуку постачальника на проблеми покупця, ступеня відкритості і адаптивності пакету;
- ◇ • вартості розробки прикладного програмного забезпечення, котра залежить від ступеня універсальності пакету SCADA.

Термін окупності системи SCADA залежить від величини підприємства, кількості проектів і їх вартості. Для різних виробництв ефект від заміни систем традиційної диспетчеризації на системи SCADA складає сотні тисяч доларів в рік. Впровадження SCADA на середній тепловій електростанції щорічно приносить 200-400 тисяч доларів прибутку. Придбання пакету SCADA системним інтегратором зазвичай окупається після реалізації 2-3 проектів комп'ютерної автоматизації виробництва.

8.10. Програмування SCADA-системи

Типова послідовність дій під час програмування SCADA-системи:

- 1) Розробити алгоритм зв'язку SCADA із апаратною частиною АС.
- 2) Розробити та налагодити програмну підтримку цих алгоритмів зв'язку.
- 3) Сформувати статичні зображення робочих вікон екранів диспетчерського управління: тло, заголовки, мнемосхема процесу тощо.
- 4) Сформувати динамічні об'єкти кожного вікна. Як правило, динамічні об'єкти створюються за допомогою спеціалізованого графічного редактора самого SCADA-пакету за жорстко заданим алгоритмом або на основі набору бібліотечних елементів з наступним присвоєнням параметрів (наприклад, ручка на екрані).

5) Реалізувати алгоритми відображення, управління, архівування, документування у модулях проектування екранних форм, архівування, аварійного управління та бази даних.

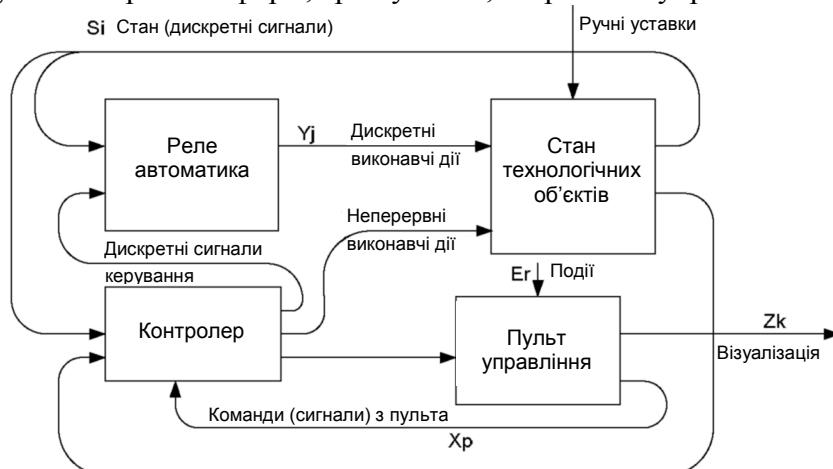


Рис. 62. Структурна схема зв'язку апаратної та програмної частин АС Тут показано зв'язок змінних Y , S , W , E , X , Z зі своїми найменуваннями і окремими пристроями АС.

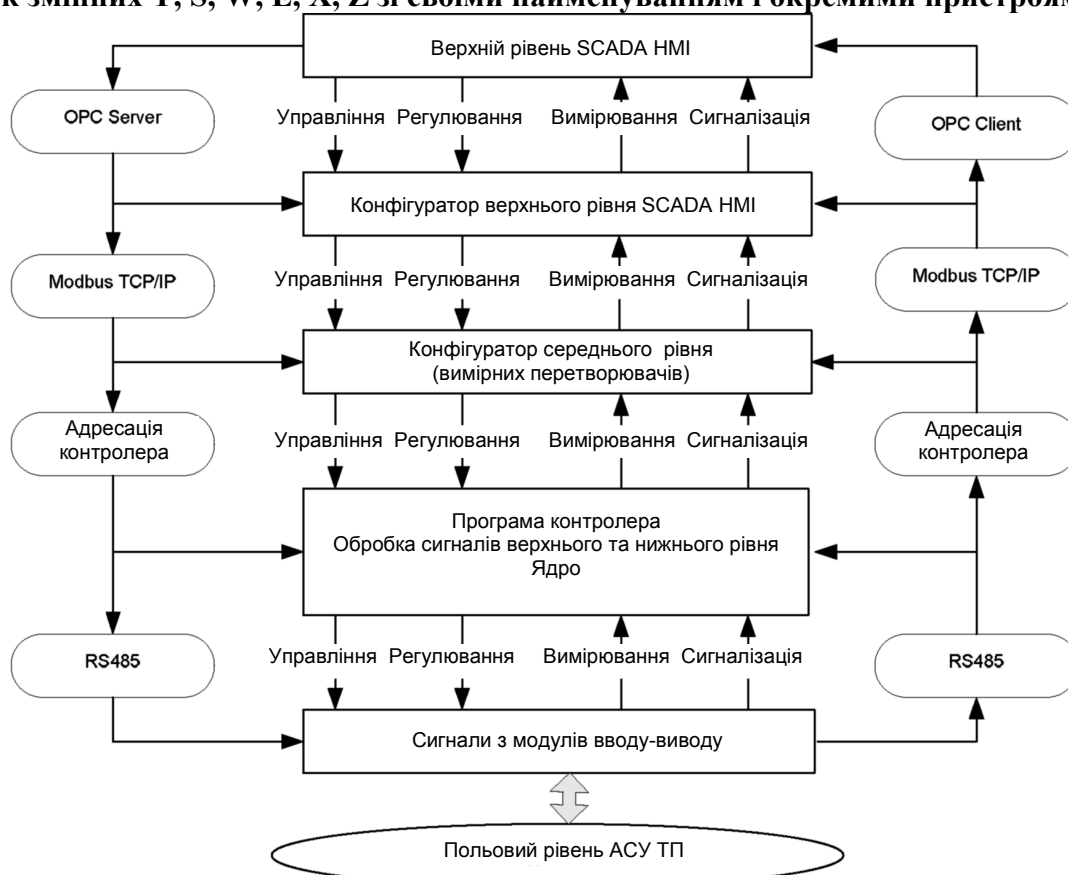


Рис. 63. Взаємозв'язок програмного забезпечення різних частин АС

Структурна схема зв'язку апаратної та програмної частин АС показаний на рис. 62

На рис. 63 показано взаємозв'язок програмного забезпечення різних частин АС з використанням RS-485 на польовому та Ethernet-комунікаційному рівнях та SCADA.

9. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

9.1. Основні шаблони проектування програмного забезпечення та їх класифікація

Шаблони (патерни) проектування описують типові способи вирішення поширених проблем при проектуванні програм. Можна успішно писати код і без знання патернів, однак насправді все одно програмісти користуються патернами.

Переваги патернів. Знання та використання патернів дозволяє:

- ◇ використовувати перевірені рішення, корі реалізовувались багато разів і в котрих всі проблеми вже вирішені
- ◇ здійснити стандартизацію коду при цьому здійснюється менше помилок оскільки всі приховані в них проблеми вже давно знайдено і винайдено шляхи їх уникнення.
- ◇ ввести спільну термінологію для короткого опису програм. Замість того, щоб годину пояснювати іншим про винохід достатньо вказати назву патерна та які класи при цьому використовуються.

Недоліки патернів.

- ◇ Потреба в патернах з'являється, коли обирають для проекту мову програмування, що не повністю сумісною із задачею. Однак, часто іншої мови або не має взагалі, або вона не може підтримуватись обладнанням. В цьому випадку, патерни — підпірки, які надають обраній мові здібності для роботи з задачею. Наприклад, патерн "Стратегія" в сучасних мовах можна реалізувати простою анонімною (лямбда) функцією, однак жодна із мов програмування промислового обладнання не має лямбда функцій.
- ◇ Патерни намагаються стандартизувати підходи, які вже широко використовуються, така стандартизація здається деяким людям догмою і вони починають усюди реалізовувати патерни «як в книжці», не пристосовуючи їх до реалій проекту.
- ◇ Невиправдане застосування. Патерни можна використовувати не там, не так і не для потрібної мети. Вникнувши в патерни, людина намагається застосувати свої знання всюди, навіть там, де можна було б обійтися більш простим кодом: "Якщо у тебе в руках молоток, то всі предмети навколо починають нагадувати цвяхи".

Шаблони відрізняються рівнем складності, деталізації та охопленням проектованої системи. Патерни відрізняються за призначенням. Є такі основні групи патернів:

- ◇ Основні шаблони, що визначають загальну поведінку системи.
- ◇ Порождуючі патерни, що турбуються про гнучкість створення об'єктів без внесення у програму додаткових залежностей.
- ◇ Структурні патерни показують різні способи побудови зв'язків між об'єктами.
- ◇ Поведінкові патерни виконують комунікацію між об'єктами і роботу програми.

9.2. Основні шаблони (Fundamental)

Основні шаблони, що визначають загальну поведінку системи.

- ◇ **Шаблон делегування (Delegation pattern)** У такому випадку сутність (об'єкт) зовнішньо виражає поведінку, але у реальності передає виконання поведінки зв'язаному чи підпорядкованому об'єктові.
- ◇ **Шаблон функціонального дизайну (Functional design).** Шаблон гарантує, що кожний модуль програми має лише один обов'язок і виконує її із мінімумом побічних ефектів на, наприклад інші частини системи чи програми.
- ◇ **Інтерфейс (Interface)** Загальний метод для структурування програм. Реалізація самого об'єкта є закритою, взаємодія із об'єктом відбувається виключно через інтерфейс.
- ◇ **Інтерфейс-маркер (Marker interface)** Призначений для вказання, що об'єкт має деякі властивості, котрі не відображаються інакшими методами і може вказати, на

зміну поведінки об'єкту.

- ◇ **Незмінний інтерфейс** (Immutable interface). Створює незмінний об'єкт через котрий відбувається управління іншим об'єктом чи іншою сутністю. Незалежно від того чим здійснюється керування інтерфейс не змінюється.
- ◇ **Контейнер властивостей** (Property container) Дозволяє додати додаткові властивості для класу без зміни самого інтерфейсу. Звертання до властивостей відбувається через контейнер.
- ◇ **Канал подій** (Event channel) Розширяє шаблон «Видавець-підписник», створюючи централізований канал для подій у системі. Всі потрібні події направляються видавцями у канал, звідки їх вибирають всі підписники, що підписані на канал. Підписник може отримувати події більше ніж від одного видавця навіть якщо він зареєстрований на одному каналі.

9.3. Породжуючи шаблони

Породжуючи патерни відповідають за зручне та безпечне створення нових об'єктів або навіть цілих сімейств об'єктів. До них відносять:

◇ **Фабричний метод** (Factory method) визначає інтерфейс для створення об'єкту, але дозволяє підкласам рішення про те який саме клас створювати. Наприклад є спільний контейнер для об'єктів різних типів. При створенні об'єкта у контейнері (наприклад, деякій різновидності списку) одним із параметром передається конструктор того класу об'єктів, що створюється. Контейнер спочатку проводить загальні операції з створення об'єкту, а потім викликає конструктор об'єкту що створюється.

◇ **Абстрактна фабрика** (Abstract factory). Клас, що представляє собою інтерфейс для створення сімейств взаємопов'язаних чи взаємозалежних об'єктів, не визначаючи їх конкретних класів. Шаблон реалізується створенням абстрактного класу Factory, котрий представляє собою інтерфейс для створення компонентів системи. Наприклад, для вікон програми абстрактна фабрика може створювати компоненти та кнопки і розміщати їх на вікнах, причому положення і форма вікна задається екземплярами-нащадками абстрактної фабрики, а тип компонентів котрі розміщаються – передаватись через єдиний всіх таких нащадків абстрактної фабрики.

◇ **Будівельник** (Builder) Клас, інтерфейс для створення складного об'єкту. Отримує при виклику вказання типу об'єкта, що створюється, і створює потрібний об'єкт. Може вести облік створених об'єктів.

◇ **Прототип** (Prototype) Визначає інтерфейс створення об'єкту через клонування іншого об'єкту замість його створення через конструктор. Використовується тоді коли є багато сутностей, котра з яких за своїми діями трохи відрізняється від інших, а створювати на кожну сутність окремий клас-нащадок не має можливості чи потреби.

◇ **Одинак** (Singleton) Програма має клас, що має лише один екземпляр. Створення інших екземплярів блокується. Приклад: є базовий клас TApplication котрий реалізує базовий функціонал програми (створення вікна, системних кнопок, робота з подіями, тощо) та клас нащадок TMyApplication, котрий реалізує функціонал програми користувача звертаючись у тому числі до функцій класу TApplication. При запуску програми створюється екземпляр TMyApplication, функції котрого і реалізують функціонал програми.

Додатково також виділяють такі патерни:

◇ **Відкладена ініціалізація** (Lazy initialization) Об'єкт створюється при першому звертанні до нього. Призначений для прискорення створення великої кількості об'єктів, патерн особливо корисний у випадку коли ці об'єкти створюються "про запас".

◇ **Мультитон** (Multiton) Гарантує, що клас має поименовані екземпляри об'єктів

і забезпечує глобальну точку доступу до них. Мультитон призначений для гнучкого керування набором об'єктів спорідненої чи однакової природи.

◇ **Об'єктний пул (Object pool)** Клас, представляє собою інтерфейс для роботи з набором ініційованих та готових до використання об'єктів.

◇ **Отримання ресурсів і є ініціалізація (Resource acquisition is initialization RAII)** отримання деякого ресурсу суміщається з ініціалізацією, а звільнення ресурсу — із знищенням об'єкту.

9.4. Структурні шаблони

Структурні шаблони (Structural) визначають різні складні структури, що змінюють інтерфейс вже існуючих об'єктів чи його реалізацію, дозволяючи полегшити розробку чи оптимізувати програму.

- ◇ **Адаптер (Adapter / Wrapper)** Об'єкт, що забезпечує взаємодію інших об'єктів один із котрих використовує, а інший представляє несумісний з першим інтерфейс. Адаптер створює клас-оболонку з потрібним інтерфейсом, що дозволяє взаємодіяти несумісним об'єктам.
- ◇ **Міст (Bridge)** Структура, що дозволяє змінювати інтерфейс звертання і інтерфейс реалізації класу сутностей незалежно між собою. У такому випадку виділяють об'єкти звертання А і об'єкти реалізацій В, кожні, можливо, із своєю ієрархією. У об'єктів А до котрих здійснюють звертання є посилання на відповідний об'єкт реалізації класу В. При виконанні дій об'єкт звертання звертається до відповідного об'єкту реалізації В і передає йому потрібні параметри.
- ◇ **Компонувальник (Composite)** Об'єкт, що поєднує в собі об'єкти, подібні йому самому, що теж можуть містити такі самі чи подібні об'єкти. Зрозуміло, що такі об'єкти утворюють деревовидну структуру, однак обхід дерева для проведення операцій потребує зусиль, а для проведення операцій над об'єктом "компонувальник" потребує щоб компонувальник викликав потрібну операцію лише над елементами, що містить він сам.
- ◇ **Декоратор (Wrapper/ Decorator)** Клас, що розширює функціональність базового класу без використання наслідування. Зміст полягає у розширенні функціональності класу створенням обгортки, котра виконує додаткові дії і звертається до базового класу за даними.
- ◇ **Фасад (Facade)** Об'єкт, що абстрагує роботу з кількома класами, об'єднуючі їх у єдине ціле. Наприклад коду необхідно працювати із складною бібліотекою, необхідно проводити ініціалізацію великої кількості об'єктів, слідкувати за вірним порядком залежностей, тощо. Фасад це простий інтерфейс для роботи із такою системою. Фасад може мати спрощений інтерфейс, що не має 100% початкової системи, а лише представляє основні можливості.
- ◇ **Пристосуванець (Легковаговик) (Flyweight)** Об'єкт, що представляє собою як унікальний екземпляр в різних місцях програми, але що не є таким. Використовується для зменшення витрат при роботі з великою кількістю мілких об'єктів. При використанні такого патерну необхідно розділити властивості на зовнішні і внутрішні. Внутрішні властивості завжди незмінні, тоді як зовнішні можуть відрізнятися залежно від місця та контексту застосування і повинні бути виведені за межі пристосування.
- ◇ **Проксі (заступник/замісник) (Proxy)** Об'єкт, що є посередником між двома іншими об'єктами, що реалізує та обмежує доступ до корисного об'єкту. Доступ до об'єкту здійснюється через проксі. Проксі перехоплює чи модифікує виклики до оригінального об'єкту дозволяючи зробити щось до чи після (а може і замість) передачі виклику оригінальному об'єкту.

Також виділяють патерн

- ◇ **Єдина точка входу (Front controller)** Що забезпечує уніфікований інтерфейс для інтерфейсів у підсистемі. Front Controller визначає високорівневий інтерфейс, що

полегшує використання підсистеми.

9.5. Поведінкові шаблони проектування

Поведінкові шаблони (англ. behavioral patterns) — шаблони, що визначають алгоритми та способи реалізації взаємодії різних об'єктів та класів. У поведінкових шаблонах рівня класу використовується наслідування, щоб визначити поведінку для різних класів. У поведінкових шаблонах рівня об'єкту використовується композиція. Деякі шаблони описують як з допомогою кооперації кілька рівноправних об'єктів працюють над задачею, що вони не можуть виконати по одному. Важливо як об'єкти отримують інформацію про існування один одного. Об'єкти-колеги можуть зберігати посилання один на одного, але це збільшує зв'язаність системи. При високій зв'язаності кожному об'єкту прийшлося б мати інформацію про всіх решта об'єктів.

- ◇ Ланцюг обов'язків (Chain of responsibility) Призначений для організації у системі рівнів відповідальності і включення різних обробників одної і тої ж самої події у системі. Він дозволяє передавати запити та відповіді по ланцюгу обробників. Кожний обробник вирішує чи може він сам обробити запит, якщо може – повертає результат, якщо ні – передає запит наступному у ланцюгу.
- ◇ Команда (Action/Transaction/Command) Представляє дію. Об'єкт команди заключає у себе саму дію і її параметри.
- ◇ Інтерпретатор (Interpreter) Вирішує задачу, що часто зустрічається, є подібною, але її виконання підпорядковано змінам.
- ◇ Ітератор (Cursor/Iterator) Представляє собою об'єкт, що дозволяє отримати послідовний доступ до елементів набору (колекції) об'єктів без явного звертання до кожного об'єкту, що входить у склад колекції.
- ◇ Посередник (Mediator) Забезпечує взаємодію множини об'єктів, формуючі при цьому слабку зв'язаність і позбавляє об'єкти від необхідності явно посилатись чи явно взаємодіяти між собою.
- ◇ Знімок/зберігач (Memento) Дозволяє не порушуючи інкапсуляцію зафіксувати та зберегти внутрішній стан об'єкту так, щоб пізніше відновити його стан.
- ◇ Спостерігач або Видавець-підписник (Observer) Визначає залежність типу «один до багатьох» між об'єктами так, що при зміні стану одного об'єкту всі залежні об'єкти повідомляються про цю подію. Різновидністю даного шаблону є "слухач подій" (Event listener) призначений для прослуховування подій котрі відбуваються у системі
- ◇ Стан (State) Використовується в тих випадках коли під час виконання програми об'єкт може змінювати поведінку в залежності від свого стану.
- ◇ Стратегія (Strategy) Призначений для визначення сімейства алгоритмів, що виконуються наприклад паралельно і забезпечення їх взаємозамінності.
- ◇ Шаблонний метод (Template method) визначає основу алгоритму і дозволяє нащадкам перевизначити деякі кроки алгоритму не змінюючи його структуру у цілому.
- ◇ Відвідувач (Visitor) Описує операцію, що виконується над іншими об'єктами. Цей об'єкт звертається до об'єктів іншої природи для обслуговування і здійснює певні операції над ними у заданому у класі Visitor порядку. При зміні класу Visitor змінюється алгоритм роботи програми, однак немає необхідності змінювати опис класів до котрих Visitor звертається. Одним із варіантів патерна може бути "Одноразовий відвідувач"(Single-serving visitor) котрий проходить один раз по об'єктам змінюючи їх стан і потім видаляється. Ще одною модифікацією є "ієрархічний відвідувач" (Hierarchical visitor) котрий представляє собою спосіб обходу всіх вершин ієрархічної структури і виконання дій над чи із використанням інформації з цієї структури.
- ◇ Слуга (Servant) Використовується для забезпечення загальної функціональності класів. Шаблон слуги визначає об'єкт, який використовується для надання певної

функціональності групі класів без визначення цієї функціональності в кожному з них. Це клас, екземпляр якого надає методи, які піклуються про бажаний сервіс, тоді як об'єкти, для яких (або з якими) сервант щось робить, приймаються як параметри.

- ◇ Специфікація (Specification) Служить для з'ясування правил роботи програми у ланцюжок об'єктів, пов'язаних операціями булевської логіки
- ◇ Нульовий об'єкт (Null Object) Виключає нульові вказівники і нульові обробники представляючи деякий об'єкт, що працює за "замовчуванням" а також описує таку поведінку.

У програмуванні систем автоматизації найбільше розповсюдження набули патерни програмування на основі станів, тому розглянемо їх окремо.

9.6. Шаблон стану (State) та автоматне програмування

Базовим поняттям автоматного програмування є «стан». Це поняття, було введено А. Тьюрингом. Стан об'єкта може залежати від будь-якого попереднього часу, що передуює часу спостереження t_0 , а реакція об'єкта зі складним поведінкою на вхідний вплив може залежати, зокрема, і від передісторії.

Об'єкт змінює свій стан залежно від попереднього свого стану і вхідних впливів. Новий стан об'єкта визначається так званою функцією переходів. Стан об'єкта, можливо, разом із вхідними впливами формує вихідний вплив. (рис. 64) залежно від функції виходів.

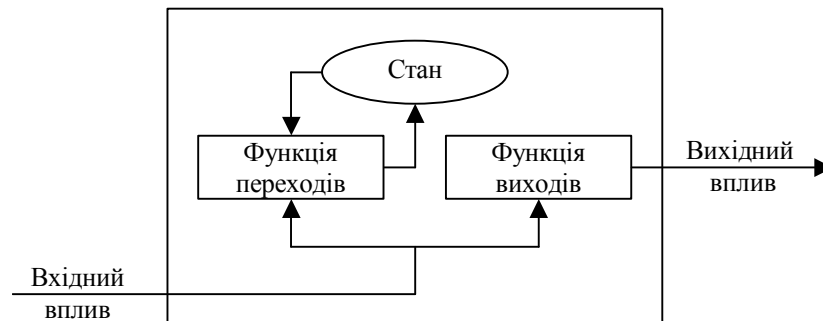


Рис. 64. Структура автомата

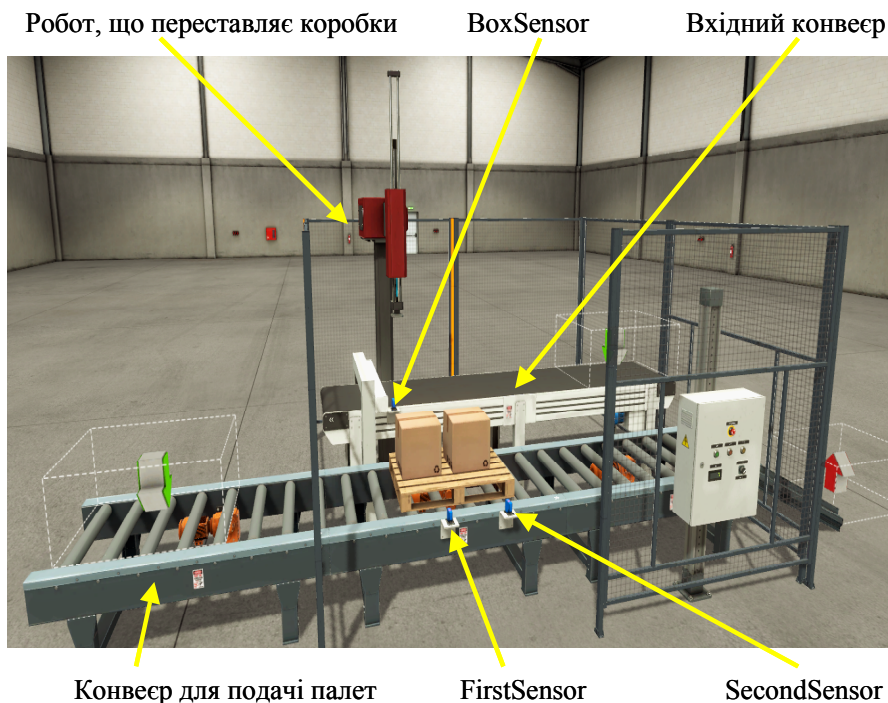


Рис. 65. Приклад системи, що автоматизується

Зауважимо, що автомат може містити у собі чи запускати ще кілька інших автоматів. Немає обмежень на кількість автоматів у системі, проте бажано розділяти автомати на

сутності із найменшим числом станів.

Проектування програми на основі автомата може здійснюватись за таким алгоритмом.

1 Виявити незалежні сутності, у котрих можна виявити деякі стани і описати їх автоматами.

2 Виявити для кожної сутності її набір станів, також вихідні впливи, що необхідно сформувати у цих станах. А також виявити для кожної сутності послідовність переходів із одного стану у інший

3 Визначитись із інтерфейсом взаємодії між сутностями у випадку коли їх декілька.

Наприклад нехай необхідно автоматизувати систему, що складається із робота, що розміщає коробки на піддоні. Коробки прибувають на позицію завантаження на конвеєрі, а по іншому конвеєру надходять коробки на завантаження.

Виявлення незалежних сутностей, у котрих можна виявити деякі стани і описати їх автоматами.

1 У системі є три незалежних об'єкти:

- ◇ вхідного конвеєру на котрий поступають коробки Box;
- ◇ конвеєру для подачі піддонів Palets;
- ◇ робота, що переставляє коробки Robot.

Тому зручно виділити 3 об'єкти і три автомати котрі описують керування відповідними об'єктами.

Виділення станів

Стан вхідного конвеєра (змінна BoxState).

Вхідний конвеєр – конвеєр на котрий поступають коробки може перебувати у 2 станах

0 - на вивантажувальній позиції відсутня коробка для вивантаження, конвеєр рухається. Умовою виходу з даного стану є спрацювання датчика BoxSensor.

1 - конвеєр зупинений, на вихідній позиції знаходиться коробка. Умовою виходу з даного стану служить команда від робота на включення, тобто, вхідний конвеєр перейде із 0 в 1 доти, доки робот не забере коробку.

Конвеєр для подачі піддонів і відповідна змінна Palets може набувати 5 станів:

0 - Немає жодного піддону для завантаження, двигуни відповідних конвеєрів включені. Виходом з даного стану буде спрацювання першого датчика позиціонування палети (FirstSensor). Коли датчик спрацює змінна PaletState набуває значення 1.

1 - Піддон знаходиться на 1 позиції. Двигун вхідного конвеєра виключений та двигун конвеєра завантажувача виключений. Перехід з 1-го стану у 2-й відбувається тоді коли робот поклав коробку на відповідний піддон.

2 - У стані піддон рухається на позицію завантаження номер 2. Двигун конвеєра завантажувача виключений Умовою виходу буде спрацювання 2-го датчика (SecondSensor), котрий відповідає 2-ій позиції завантаження.

3 - У стані двигун конвеєра виключається і конвеєр очікує встановлення другої коробки роботом. Умовою виходу з даного стану буде встановлення коробки роботом. Після чого конвеєр для подачі піддонів переходить у стан вивантаження піддону (стан 4).

4 - У стані 4 вихідний конвеєр піддонів включається до тих пір поки датчик 2 позиції не виключиться. Після чого змінна PaletState (і відповідний конвеєр) набуває стан 0.

Робот та відповідна змінна RobotState може набувати 9 станів:

0 - В стані захоплюючий пристрій виключений, рука робота втягнута і піднята. Умовою виходу з відповідного стану буде наявність коробки на позиції завантаження та готовність піддону до встановлення коробки - наявність піддона на першій чи другій позиції завантаження. У такому випадку робот переходить до стану 1.

1 - У стані робот здійснює опускання руки до тих пір поки це можливо (і поки рука рухається). Коли рух руки вниз закінчений, робот переходить у стан 2.

2 - У стані 2 здійснюється захоплення коробки. Так як захоплюючий пристрій є повільним, то перехід в наступний стан здійснюється після спрацювання таймера. Після

витримки часу робот переходить у стан 3.

3 - У стані 3 рука робота піднімається вгору. Рука робота піднімається до тих пір поки це можливо. Після закінчення руху руки вгору робот переходить у стан 4.

4 - У стані 4 робот витягує руку до спрацювання обмежувача. Коли рука зупиниться здійснюється перехід у стан 5.

5 - У стані 5 робот опускає руку з коробкою вниз на відповідну палету. Вихід з даного стану здійснюється коли рука досягнула нижньої позиції. У цьому випадку здійснюється перехід у 6-й стан.

6 - У стані 6 виключається захоплюючий пристрій і через певний час робот переходить у стан 7. Так як захоплюючий пристрій не має давачів спрацювання перехід здійснюється за таймером.

7 - У стані 7 робот піднімає руку вгору. Умовою виходу зі стану буде неможливість руху руки. Перехід із стану 7 здійснюється у стан 8.

8 - У стані 8 робот втягує руку. Умовою виходу є повне втягування руки. Після закінчення циклу роботи робота він знову повертається до стану 0.

Визначення інтерфейсу взаємодії між сутностями

У випадку коли сутностей декілька необхідна взаємодія між сутностями. Для визначення такої взаємодії можна використати події, або слідкувати з одного автомата за станом інших, або відсилати від одного автомата повідомлення іншим. Зазвичай сигналізація такого роду потрібна для визначення переходу одного з автоматів з деякого стану у інший.

10. ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОЕКТУВАННЯ

10.1. Основні положення теорії надійності

У ТЗ на розробку задаються основні показники надійності: кількісні і якісні. Усі вони повинні бути у процесі розробки підтверджені розрахунками й випробовуваннями.

Згідно державного стандарту надійність це властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи параметри в межах норм, протягом заданого часу і умовах експлуатації.

З погляду надійності усі вироби поділяються на 2 види:

- ◇ не відновлювані тобто ті, що не підлягають ремонту в експлуатації (радіоелементи, пристрої ракет, супутників і т.п.);
 - ◇ відновлювані, котрі можуть бути відремонтовані після відмови у заданий термін.
- Тут важливо - чи запропонований у документації режим ремонту (відновлення) і чи організована система проведення цих ремонтів.

Основні визначення:

1. Безвідмовність - це властивість виробу безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу.

2. Ремонтпридатність - властивість виробу, що полягає в пристосованості до попередження, виявлення й усунення відмов шляхом ремонту або техобслуговування.

3. Довговічність - властивість виробу довгостроково зберігати працездатність із можливими перервами на технічне обслуговування до настання граничного стану, що відповідає технічній неможливості або недоцільності подальшої експлуатації. Частіше - це економічні чинники, а для АС часто моральне зношення.

4. Збереженість - властивість виробу безупинно зберігати працездатність і параметри протягом і після зберігання і транспортування в заданих умовах.

Найважливіша подія, що розглядається у теорії надійності це - відмова, тобто повна або часткова втрата працездатності. Відмови бувають:

- ◇ поступові і раптові;
- ◇ залежні і незалежні;
- ◇ повні або часткові.

У логічних схемах до відмови відносять збої схемні або програмні. Окремо класифікують відмови:

- ◇ виробничі, викликані дефектами технологій виготовлення;
- ◇ схемні - помилки розробників;
- ◇ експлуатаційні, викликані порушенням правил експлуатації, помилками операторів і вони досягають 30% від загального числа відмов.

Усі ці визначення дають якісну характеристику виробу. У ТЗ задаються кількісні показники для конкретних експлуатаційних умов, що підлягають розрахунку. Відмова - подія випадкова, тому всі оцінки носять імовірнісний характер. Досвід показує, що надійність виробу протягом терміну служби описується спеціальною кривою (рис 15.1).

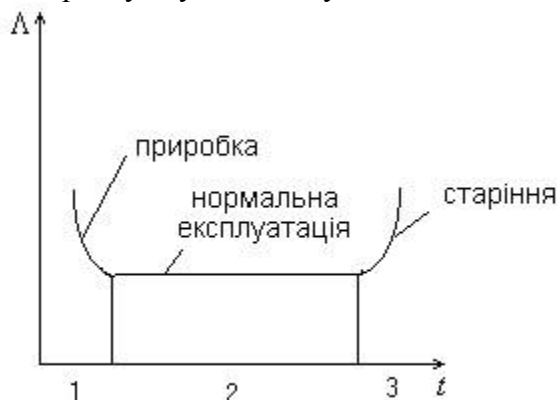


Рис. 66. Надійність виробу протягом терміну служби

Всі оцінки надійності робляться для періоду нормальної експлуатації, коли надійність постійна або стаціонарна. Період приробки вивчається окремо, як нестаціонарний процес і

цей період повинен бути виключений до початку експлуатації (шляхом введення тренування, обкатки). Стаціонарна ділянка нормальної експлуатації звичайно описується експонентним розподілом із постійним параметром λ .

Кількісні показники бувають:

- ◇ технічні, тобто властиві самому виробу;
- ◇ оперативні, тобто пов'язані з часом експлуатації.

Технічні характеристики

Найважливіший із них для невідновлюваних виробів:

- ◇ λ -інтенсивність відмов (1/год.) $\lambda = 1/T_0$, де T_0 - напрацювання до відмови,

Для відновлюваних виробів:

- ◇ параметр потоку відмов (1/год) $\Lambda = m/t$, де m - число відмов; t - час роботи виробу
- ◇ напрацювання на відмову (год), $T_0 = 1/\Lambda$
- ◇ середній час відновлення $T_B = \frac{1}{m} \sum_m t_{рем}$ де $t_{рем}$ - час m -того ремонту;
- ◇ інтенсивність відновлення $\mu = 1/T_B$

Оперативні характеристики

Найважливіший із параметрів є такими:

- ◇ імовірність безвідмовної роботи (ІБР): $P(t) = \exp(-\Lambda t)$;
- ◇ коефіцієнт готовності: $K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_B}$, він показує імовірність працездатного стану в будь-який момент часу.

Оскільки надійність пристроїв визначається кількістю елементів і з'єднань, то розрахунок технічних показників для експонентного закону полягає в підсумовуванні надійності елементів і пайок, що входять у пристрій при наступних допущеннях:

1. Відмови незалежні.

2. З погляду надійності елементи з'єднані послідовно, тобто вихід із ладу будь-якого елемента приводить до відмови виробу в цілому.

3. Закон розподілу експонентний.

Тоді для системи в цілому:

$$\Lambda = k_e \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i$$

де λ_i - інтенсивність відмови i -того елемента; n_i - число однакових елементів пристрою; k_e - коефіцієнт експлуатації, який задається для різних груп пристроїв (стаціонарних, автомобільних, морських тощо). Це найпростіший розрахунок коефіцієнтним методом без врахування реальних режимів елемента. При детальному розрахунку враховується коефіцієнт навантаження k_n , для АС він повинен бути меншим від 0,7.

Другою технічною характеристикою є напрацювання на відмову: $T_0 = 1/\Lambda$

Потім розраховуються оперативні показники імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, коефіцієнт готовності K_r по заданих вимогах. Якщо умова не виконується, то використовується резервування:

- ◇ постійне;
- ◇ заміщенням;
- ◇ мажоритарне.

Резервування заміщенням (холодне) - це включення резерву після відмови основного. Мажоритарна схема - це вибірка з більшості, коли вихідний стан визначається станом більшості входів.

Заходи забезпечення надійності.

Вибір елементів і їхніх режимів роботи, мінімізація схем і програм - це завдання розробника. Але значна частина відмов відбувається через помилки і недосконалості

технологічного процесу виготовлення. Тому високу надійність можуть мати тільки ті пристрої, при виробництві яких широко використовуються механізація й автоматизація виробничих операцій, особливо пайок та монтажу.

Велику роль грає правильна організація технічної експлуатації. Істотну роль на підтримку надійності грає ремонтпридатність. Тут необхідно виконати низку вимог:

1. Вироби повинні мати вбудовану систему контролю, що дозволяє локалізувати несправність до змінної частини.

2. Розрахувати і виготовити ЗіП, що включає в себе конструктивні модулі для заміни.

3. Конструкція повинна допускати швидку заміну вузлів без застосування пайки.

4. При заміні вузлів не повинно бути підгонок, регулювальних або налагоджувальних операцій.

5. Організувати систему технічного обслуговування стосовно до особливостей об'єкта експлуатації і кваліфікації операторів.

10.2. Особливості забезпечення надійності АСК

При вирішенні питань, пов'язаних із забезпеченням необхідного рівня надійності АСК, необхідно враховувати такі особливості АСК:

- ◇ кожна АСК є багатофункціональною системою, функції якої мають істотно різну значимість і, відповідно, характеризуються різним рівнем вимог до надійності їх виконання;
- ◇ у багатьох АСК можливе виникнення деяких виняткових (аварійних, критичних) ситуацій, що представляють поєднання відмов або помилок функціонування системи і здатних привести до значних порушень функціонування об'єкта управління (аварій);
- ◇ у функціонуванні АСК беруть участь різні види її забезпечення і персонал АСК, які можуть в тій чи іншій мірі впливати на рівень надійності АСК;
- ◇ до складу кожної АСК входить велика кількість різномірних елементів: технічних, програмних, ергатичних та ін. При цьому у виконанні однієї функції АСК зазвичай беруть участь декілька різних елементів, а один і той же елемент може брати участь у виконанні декількох функцій системи.

При вирішенні питань надійності АСК кількісний опис, аналіз, оцінка і забезпечення надійності проводять по кожній функції АСК окремо.

В необхідних випадках використовують також аналіз можливості виникнення в системі аварійних ситуацій, що ведуть до значних технічних, економічних або соціальних втрат внаслідок аварії об'єкта управління (або автоматизованого комплексу в цілому).

Перелік функцій і видів їх відмов, за якими задаються вимоги до надійності конкретної АСК, а також критерії цих відмов встановлює замовник АСК за погодженням з розробником АСК і вносить в технічне завдання на АСК (ТЗ на АСК).

Для встановлення критеріїв відмов становлять перелік ознак або параметрів, за якими може бути виявлений факт виникнення кожної відмови, а за необхідності - кількісні (критеріальні) значення цих параметрів

Рівень надійності АСК залежить від надійності та інших властивостей її технічного забезпечення (комплексу технічних засобів), програмного забезпечення і персоналу, який бере участь у функціонуванні АСК.

Рівень надійності АСК залежить від таких основних факторів:

- ◇ складу і рівня надійності використовуваних технічних засобів, їх взаємозв'язку в структури комплексу технічних засобів АСК (КТЗ АСК);
- ◇ складу і рівня надійності використовуваних програмних засобів, їх змісту (можливостей) і взаємозв'язку у структурі програмного забезпечення АСК (ПЗ АСК);
- ◇ рівня кваліфікації персоналу, організації роботи та рівня надійності дій персоналу АСК;
- ◇ раціональності розподілу завдань, що вирішуються системою, між КТЗ АСК, ПЗ

АСК та персоналом АСК;

- ◇ режимів, параметрів організаційних форм технічної експлуатації КТЗ АСК;
- ◇ ступеня використання різних видів резервування (структурного, інформаційного, часового, алгоритмічного, функціонального);
- ◇ ступеня використання методів і засобів технічної діагностики;
- ◇ реальних умов функціонування АСК.

Сукупність технічних, програмних і ергатичних елементів АСК (технічних і програмних засобів і частини персоналу АСК), що виділяється з усього складу АСК за ознакою участі у виконанні деякої (і-ої) функції системи, утворює і-ту **функціональну підсистему АСК (ФП АСК)**.

Аналіз надійності АСК в реалізації її функцій проводять по кожній ФП АСК окремо з урахуванням рівня надійності та інших властивостей, що входять в неї технічних, програмних і ергатичних елементів.

10.3. Показники надійності АСК

Як показники надійності АСК використовують показники, що характеризують:

- ◇ надійність реалізації функцій системи;
- ◇ небезпеку виникнення у системі аварійних ситуацій.

Опис надійності АСК за функціями (по ФП АСК) здійснюють:

- ◇ за окремими складовими надійності - одиничними показниками;
- ◇ за кількома складовими надійності сумісно - комплексними показниками надійності.

Небезпека виникнення аварійних ситуацій

Опис надійності АСК по аварійних ситуаціях здійснюють за допомогою комплексних показників надійності.

Показниками надійності АСК по аварійних ситуаціях є показники, що характеризують:

- ◇ небезпеку виникнення аварійної ситуації протягом деякого заданого інтервалу часу нормального функціонування системи;
- ◇ небезпеку виникнення аварійної ситуації в результаті впливу на систему зовнішнього екстремального фактора.

Для опису надійності АСУ по аварійних ситуаціях можуть бути використані наступні показники:

- ◇ середнє напрацювання системи до виникнення в ній j-ої аварійної ситуації при нормальних умовах функціонування АСК;
- ◇ ймовірність виникнення в системі j-ої аварійної ситуації протягом заданого часу τ при нормальних умовах функціонування АСК;
- ◇ ймовірність виникнення в системі j-ої аварійної ситуації в результаті впливу s-го екстремального фактора.

Опис довговічності АСК здійснюється по АСК в цілому або, при необхідності, за окремою її підсистемою за допомогою одиничних показників надійності.

Основними показниками довговічності є:

- ◇ середній ресурс i-ої підсистеми АСК (АСК в цілому);
- ◇ середній термін служби i-ої підсистеми АСК (АСК в цілому).

10.4. Вимоги по зовнішніх впливах

10.4.1. Загальні вимоги

Залежності від умов експлуатації і використання АС поділяється на:

- ◇ наземну, яка буває стаціонарною, возимою і носимою;
- ◇ морську;
- ◇ бортову авіаційну;
- ◇ бортову космічну.

Для кожного типу АС у ТЗ задається набір видів впливів із конкретними кількісними показниками, що підлягають обов'язковим випробуванням.

У відношенні зовнішніх впливів до АС ставляться наступні вимоги:

1. **Усталеність** - це здатність АС протистояти зовнішньому впливові, зберігаючи параметри в межах норм і працездатність в умовах даного впливу, тобто при випробовуваннях пристрої включені.

2. **Міцність** - це здатність АС протистояти зовнішнім впливам, зберігати параметри, працездатність, зовнішній вигляд після механічного впливу.

3. **Стійкість** - це вимога міцності тільки як в умовах впливу, так і після нього.

10.4.2. Кліматичні чинники

Вони бувають: нормальні умови (Н.У.), стандартні умови і конкретні експлуатаційні впливи. До Н.У. відносяться: температура $25 \pm 10^{\circ} \text{C}$, вологість $65 \pm 20\%$, тиск $715 \pm 85 \text{ мм.рт.ст.}$

Стандартні умови: температура $20 \pm 1^{\circ} \text{C}$, вологість $65 \pm 2\%$, тиск $715 \pm 85 \text{ мм.рт.ст.}$. Вони використовуються для експертних перевірок.

Температуру середовища (t_c) розрізняють: підвищену (тепло) і знижену (холод), експлуатаційну температуру середовища. Для кожного типу АС у ТЗ задається 2 значення температури середовища:

1. Робоча - це температура середовища, при якій виріб повинен нормально працювати.

2. Гранична - після впливу якої АС повинна зберігати працездатність.

Вплив температури середовища може бути стаціонарним і циклічним (термоудар).

Шкідливі наслідки тепла і холоду

В основному це:

- ◇ виникнення теплових пробок, через погіршення опору ізоляції діелектриків;
- ◇ погіршення характеристик елементів і зниження їхньої надійності у 10 разів;
- ◇ інтенсивне старіння плат і джгутів (термін їхньої служби > 8 років).

Засоби теплозахисту: радіатори, вентиляція, що приводить до збільшення маси і габаритів.

Вироби з пластмас, гуми твердіють і втрачають міцність - це означає, що погіршується герметизація пристрою, змінюються характеристики гумових амортизаторів. Деякі елементи змінюють при холоді свої характеристики, наприклад, електролітичні конденсатори, також змінюються властивості пайок з оловом при використанні без свинцевих припоїв. Так наприклад при -13°C біле олово перетворюється у сіре, при -50°C пайка може відпасти.

Циклічна зміна температури

Перепади можуть бути дуже великими (від -50 до $+70^{\circ} \text{C}$). У цьому випадку:

- ◇ при повільній зміні від холоду до тепла, виникає точка роси, коли виникає явище "інею і роси";
- ◇ при швидкій зміні температури спостерігаються обриви контактів і мікротріщини герметиків.

Усі перераховані явища є видами випробовувань на усталеність, міцність і стійкість.

Підвищення вологості

Випробовування тривають до 25 діб для АС виконання "О". Вологість вимірюється у абсолютних і відносних одиницях.

Абсолютна вологість - це гранична кількість пари води, що може знаходитися в повітрі при даній температурі не конденсуючись (при -20°C у повітрі утримується 1 г/м^3 ; при $+20^{\circ}\text{C}$ вже 17 г/м^3);

Відносна вологість - це процентне відношення парів які знаходяться у повітрі до абсолютної вологості.

Заходи вологозахисту залежать від конкретних вимог, які бувають двох видів і є два види виконання пристроїв:

1. О - загальнокліматична АС;
2. ПХК - помірно холодний клімат

Шкідливі наслідки вологості:

- ◇ різко знижуються всі ізоляційні властивості діелектриків;
- ◇ на платі опір ізоляції може знизитись до 1 МОм;
- ◇ утворюються непровідні плівки на контактах, знижується надійність елементів і пайок;
- ◇ у морських умовах може бути середовище насичене сіллю, це теж особливий вид випробовувань на "сольовий" туман.

Понижений атмосферний тиск

Цей вплив поширюється на АС авіаційні, космічні, і що працюють в гірських умовах на висотах більших за 1 км.

Усі типи АС повинні витримувати транспортування літаками (300 мм.рт.ст). Знижений атмосферний тиск впливає на надійність пристроїв і погіршує тепловіддачу за рахунок зниження конвекції (Табл. 11).

Табл. 11 Залежність коефіцієнта надійності від атмосферного тиску

Висота км	Тиск мм.рт.ст	Коефіцієнт надійності	Відносна тепловіддача %
0	700	1	100
8	300	1.2	30
20	40	1.3	10

Атмосферні домішки

До них відносяться: пил, сажа, хімічні сполуки. Пил - це абразиви, що руйнують покриття, панелі і контакти. Осідаючи на платах пил різко знижує ізоляцію і приводить до пробойів. Тому випробовування на пилозахист - це важкі випробовування (в камері пилу).

Сонячне опромінення

Воно буває двох видів:

1. Сонячне світло - довгохвильова частина спектру; викликає: тепловий ефект, перегрів в пристроях, утворення кірки на гумі.

2. Ультрафіолетове опромінення - короткі хвилі, дають фотохімічний ефект. При цьому відбувається:

- ◇ руйнування і вицвітання лакофарбових покриттів корпусів, лицьових панелей;
- ◇ скорочення терміну служби чохла і кабелів;
- ◇ часткове руйнування полімерів (поліхлорвінілу).

Водяне середовище

Деякі типи АС повинні зберігати працездатність після занурення у воду на глибину до 3 м. Багато типів АС повинні мати захист від бризок у відкритому виді і протистояти дощеві, як у відкритому вигляді так і в чохлах.

Спеціальні явища у водяному середовищі - це зледеніння, а в арктичних умовах небезпечний найтонший сніговий пил, що має дуже високу проникаючу здатність.

10.4.3. Біологічні чинники

Дуже небезпечні при експлуатації і збереженні є цвілеві гриби, терміти і різні мікроби.

Живильне середовище для грибів - це органічні матеріали: шкіра, гетинакс, текстоліт.

При цьому відбувається зниження ізоляції і порушення контактів, руйнування натуральної гуми, зміна оптичних властивостей скла. Тому біологічні чинники також входять у ряд обов'язкових випробовувань.

10.4.4. Механічні впливи

Практично усі види АС при експлуатації або транспортуванні піддаються **механічним впливам**. Ці впливи поділяються на:

- ◇ вібраційні навантаження;
- ◇ ударні навантаження одиничні і багаторазові;
- ◇ лінійні навантаження;
- ◇ акустичні шуми до 140 дБ.

Механічні впливи при випробовуваннях оцінюють по величині прикладеного навантаження (прискорення), в одиницях сили ваги g. Для кожного типу АС задається робочий діапазон частот (РДЧ), що діє в конкретних об'єктах. Для пристроїв найбільш небезпечними є 2 ділянки РДЧ:

- ◇ 0-150 Гц - коли можливі резонанси корпусу пристрою або масивних його частин;
- ◇ 150-600 Гц - де небезпечні резонанси елементів, субблоків, плат.

Ударні навантаження характеризуються:

- ◇ величиною прискорення в імпульсі g;
- ◇ тривалістю ударного імпульсу (у середньому 2-10 мс);
- ◇ частота проходження ударів (до 200 у хвилину);
- ◇ форма ударного імпульсу: прямокутна, напівсинусоїдальна, трикутна, трапецеїдальна.

Способи впливу імпульсів: одиничні (до 1000g) і багатократні. Крім того, для багатьох типів пристроїв необхідно забезпечити сейсмічну стійкість з тривалістю удару до 50 мс.

У процесі розробки застосовуються активні заходи захисту від вібрації та ударів:

1. Вибір оптимального розміру плати і її орієнтація в просторі.
2. Дуже важливо дотримуватись вимог по формуванню виводів радіоелементів перед пайкою і якості самої пайки.
3. Розрахунок і введення амортизації пристрою в цілому.

10.5. Оцінювання проекту

Отримані результати проектування слід оцінити з технічної точки зору враховуючи можливість подальшого його розвитку та зручності користування ним. Оцінювання зручно проводити у вигляді контрольного переліку.

Контрольний перелік вимог — це інструмент, який допомагає визначити, чи є вимоги задокументованими, правильними, повними, однозначними, послідовними, перевіреними та затвердженими. Шаблон специфікації вимог містить приклади та може використовуватися для документування вимог до вашого продукту чи послуги, включаючи пріоритет і затвердження. Налаштуйте специфікацію відповідно до свого проекту, організувавши відповідні розділи так, як це найкраще, і використовуйте цей контрольний список для запису рішень щодо відповідних областей.

Кожен результат, зазначений нижче як відповідний, має бути задокументований і включений до пакету перевірки вимог.

Табл. 12. Вимоги до результатів проектування

Вимоги	Ключові питання або проблеми для розгляду
Характеристики користувача	Чи визначено загальні характеристики або профілі передбачуваних користувачів?
Припущення	Чи задокументовані припущення, які впливають на вимоги?
Загальна мова	Чи кожен акронім або спеціальний термін включено до глосарію чи словника?
Обмеження та обмеження	Чи задокументовано технічні, фінансові чи бізнес-обмеження, які можуть обмежити варіанти розробки?
Залежності	Чи залежать вимоги від випуску або функціональності інших програм/служб? Чи потрібні для створення системи організаційні зміни? Чи потрібні для створення системи додаткові ресурси?
Продуктивність	Чи визначено статичні та динамічні чисельні вимоги до продуктивності? Чи всі вимоги до ефективності піддаються вимірюванню? Чи визначено чіткі вимоги до затримки? Чи піддаються вимірюванню вимоги до потужності? Чи визначено конкретні та вимірювані вимоги щодо доступності? Чи визначено конкретні та вимірювані вимоги до надійності?

Табл. 12. Вимоги до результатів проектування

Вимоги	Ключові питання або проблеми для розгляду
Керованість і ремонтпридатність	Чи є специфічні вимоги до управління продуктом або послугою, що постачається? Чи є вимоги до моніторингу стану продукту чи послуги, умов збою, виявлення помилок, реєстрації та виправлення? Чи є вимоги, які стосуються простоти обслуговування? Чи вказано звичайні та спеціальні операції?
Юзабіліті	Чи визначені вимоги до зручності використання?
Інтерфейси (системи, мережа, обладнання) та інтеграція	Чи описано кожен необхідний інтерфейс з іншим продуктом або системою? Чи описано кожен необхідний інтерфейс із мережевим компонентом? Чи описано кожен необхідний інтерфейс із апаратним забезпеченням або компонентом обладнання? Чи всі вхідні, вихідні та системні умови та їх взаємодія описані? Чи є посилання на наявну документацію інтерфейсу? Чи є потреба в вимогах, які є специфічними для даного місця, наприклад океанографічних суден?
Управління даними	Чи визначені вимоги до даних?
Відповідність стандартам	Чи описані вимоги, виведені з існуючих стандартів, політик, нормативних актів або законів?
Безпека	Чи описані вимоги безпеки, включаючи фактори авторизації та автентифікації?
Портативність	Чи потрібно переносити систему на інші хост-машини та/або операційні системи? Чи є вимогою незалежність від середовища?
Ремотноздатність	Чи є будь-які існуючі дефекти, які потрібно усунути у процесі розвитку системи? Вони задокументовані?
Простежуваність	Чи всі вимоги пронумеровані чи однозначно ідентифіковані?
Пріоритет	Чи кожна вимога має пріоритет?
Підтвердження вимог	Чи всі вимоги затверджені та підтверджені спонсором?
Лаконічність	Чи кожна вимога однозначна, тільки з одним тлумаченням?
Послідовність	Чи узгоджені вимоги? Чи суперечать будь-які вимоги іншим вимогам або дублюють їх?
Повнота	Чи всі вимоги правильні та повні? Чи враховує документація вимог усі заявлені потреби клієнта? Чи існують якісь невикладені потреби клієнта, які, якщо їх не задовольнити, викликають незадоволення? Чи є якісь невказані потреби клієнта, які, якщо їх задовольнити, призведуть до того, що клієнт буде більш ніж задоволений? Чи всі визначені вимоги задокументовані? Чи суперечать вимоги? Чи є якісь особливі міркування, не враховані у вимогах?
Бізнес-сценарії випадки використання	Чи були розроблені бізнес-сценарії, щоб проілюструвати (або окреслити) вимоги?
Зобов'язання рецензента	Чи перевіряльники всіх вимог взяли на себе зобов'язання брати участь у перевірках? Чи є план забезпечення безперервності роботи групи перевірки?

Табл. 12. Вимоги до результатів проектування

Вимоги	Ключові питання або проблеми для розгляду
Видалені або відкладені вимоги	Чи були якісь вимоги затверджені та згодом видалені? Відомо, що вихід відкладено до майбутніх версій продукту? Чи ідентифіковані вони?
Тестування та можливість тестування	Чи кожна вимога піддається перевірці? Чи зазначаються вимоги, що не підлягають перевірці (і не перевіряються)? Чи можуть вимоги служити основою для визначення прийнятності продукції? Які типи тестування та методика тестування очікуються?
Ясність	Чи достатньо детально описані вимоги, щоб команда впровадження могла розробити систему, яка задовольняє вимоги, і перевірити, чи система задовольняє вимоги? Чи є специфікації вимог читабельними та зрозумілими?
Доречність	Чи вимоги визначають, що потрібно зробити, а не описують, як продукт або послуга мають бути реалізовані? Чи вимоги не вказують на певний дизайн?
Планування	Чи є план вирішення кожного питання «Вирішити», зазначеного у вимогах? Чи існує план відстеження кожної вимоги до елемента впровадження (наприклад, діаграми дизайну або тестового випадку)? Чи можна повторно використовувати вимоги після впровадження? Чи сумісні вимоги з наступними етапами проекту? Чи можна використовувати специфікації вимог як основу для продовження проекту?
Управління вимогами	Чи всі документи щодо вимог зберігаються відповідно до змін продукту? Чи існує система управління змінами для відстеження змін до вимог? Чи є вимоги під керуванням конфігурації? Чи структуровані документи з вимогами відповідно до змін? Чи були розроблені документи з вимогами відповідно до задокументованих процесів, які були погоджені командою проекту? Чи документи вимог сприяють збору даних про процес управління вимогами?

ДОДАТОК Д1. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Результатом виконання курсового проекту є технічні описи, розрахунки, таблиці, графіки, креслення, схеми і пояснення до них тощо. Ці матеріали оформляють у вигляді пояснювальної записки і відповідного графічного матеріалу.

Кожне висунуте положення потрібно обґрунтувати розрахунками, фактичним матеріалом і посиланнями на науково-технічні джерела. Не допускається посилання на усні вказівки керівників, викладачів та інших осіб.

За прийняті в дипломному проекті рішення та правильність усіх даних відповідає студент - автор курсового проекту. Матеріали курсового проекту подаються українською мовою. У виняткових випадках студенту за дозволом декана факультету комп'ютерних технологій, надається право написання курсового проекту іншою мовою.

Існує декілька систем державних стандартів, які визначають правила оформлення технічної документації. Основна з них - Єдина система конструкторської документації (ЕСКД), яка містить комплекс державних стандартів, що встановлюють правила й положення з розробки, оформлення, обігу конструкторських документів.

Конструкторську документацію складають текстові та графічні документи, які визначають конструкцію технічного виробу і містять дані, потрібні для його розробки, виготовлення, контролю, приймання, експлуатації та ремонту.

Д1.1. Формати графічних конструкторських документів

Графічні конструкторські документи виконують на листах, які мають назву форматів. Формати листів визначаються розмірами зовнішньої рамки листа. У відповідності до вимог ISO 216 «Формати» виділяють основні і додаткові формати аркушів. Переважно використовують позначення і розміри основних форматів, які наведено в табл. 13.

Табл. 13. Основні формати

Позначення	A0	A1	A2	A3	A4
Розміри	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297

Допускається застосування додаткових форматів, які створюють збільшенням коротких сторін основних форматів на значення, кратне їх розміру.

Вибираючи формати, враховують:

- ◇ об'єм і складність проєктованого виробу;
- ◇ необхідний ступінь деталізації даних, обумовлених призначенням схеми;
- ◇ умови зберігання і обігу схем;
- ◇ особливості і можливості техніки виконання, репродукування і (або) мікрофільмування схем;
- ◇ можливості обробки схем засобами обчислювальної техніки.

Обраний формат повинен забезпечувати компактне виконання без порушення її наочності та зручності користування нею. Якщо виконують схему на декількох листах, її формат має бути однаковим. При цьому треба по можливості прагнути до зменшення формату за рахунок збільшення загальної кількості листів.

Кожний лист, на якому виконано схему, повинен мати порядковий номер. Як відомо, перший аркуш схеми виконують за формою 1, а наступний за формою 2а згідно з ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 "Основні написи". Основні і пояснювальні надписи на схемі виконують від руки або машинним способом за допомогою ЕОМ шрифтом згідно з ISO 3098 «Technical product documentation — Lettering».

Якщо виконують схему на декількох аркушах, лінії, які переходять з одного аркуша на інший, переривають за межами зображення схеми. Поряд з перерваною лінією вказують позначення або найменування цієї лінії. Наприклад, номер проводу, найменування сигналу чи його скорочене позначення, і в круглих дужках - номер аркуша, на який переходить лінія: A32(2) лінія з умовним позначенням A32 переходить на аркуш 2; A32(1) лінія з умовним позначенням A32 переходить на даний аркуш з аркуша 1. Допускається до номера аркуша

додавати після знака дробової риски позначення зони, в яку продовжено лінію, наприклад: А32(2/В4) - лінія з умовним позначенням А32 переходить на аркуш 2 в зону В4.

Д1.2. Основні написи і порядок їх заповнення

Уся конструкторська документація супроводжується основним написом і додатковими графами до нього. Основні написи розміщуються у правому нижньому куті документа, а на листах формату А4 тільки по короткій стороні листа, тобто формат А4 має завжди вертикальне положення.

Розміщення основних написів і додаткових граф до них на листах різних форматів показано на рис. 67. Графи, показані штриховими лініями, вводяться за потреби.

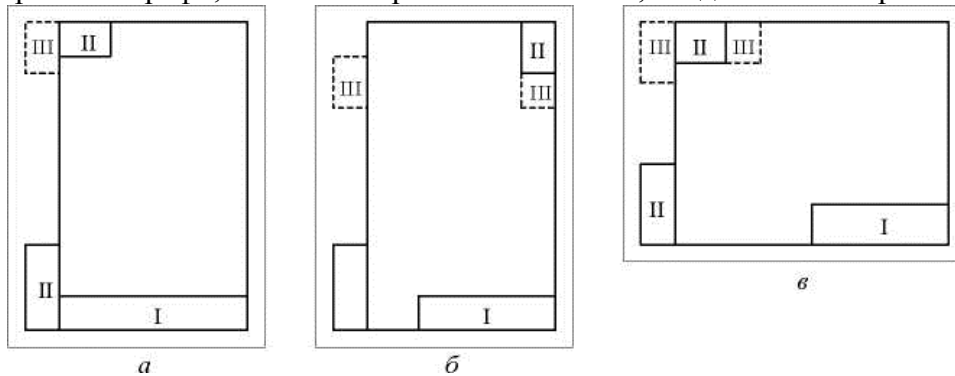


Рис. 67. Розміщення основних написів: а - формат А4; б, в - формат більший за А4 з основним написом відповідно по короткій і довгій стороні; І - основний напис; ІІ, ІІІ - додаткові графи

Вимоги до форми, розмірів і порядку заповнення конструкторської документації установлює ДСТУ ГОСТ 2.104:2006. Передбачено три типи основних написів шириною 185 мм:

- 1) для перших листів креслень і схем висотою 55 мм (рис. 68);
- 2) для перших (або заповнених) листів текстових документів висотою 40 мм (рис. 69);
- 3) для наступних аркушів будь-яких конструкторських документів висотою 15 мм (рис. 70).

185									
7	10	23	15	10	70	50			
					(2)				
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(1)	Літера	Маса	Масштаб	15 20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5	5	5	
Виконав						(4)	(5)	(6)	
Керівник									
Консульт.									
(10)	(11)	(12)	(13)		(3)	лист (7)	листів (8)		
Н. контр.						(9)			
Зав.каф.									

Рис. 68. Основний напис для креслень і схем

185										
7	10	23	15	10	70	50				
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(2)	15	15	20	15	
Зм.	Лит	№ докум.	Підпис	Дата	(1)	Літера	Лист	Листів	15	
Виконав						(4)	(7)	(8)	10	
Керівник						(9)				15
(10)	(11)	(12)	(13)							
Н.контр.										
Зав.каф.										

Рис. 69. Основний напис для текстових документів

185											
7	10	23	15	10	110					10	
										Лист	15
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)						(2)	
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						(7)	

Рис. 70. Основний напис для наступних листів креслень, схем і текстових документів

В основному написі для текстових документів немає граф «Маса», «Масштаб», «Позначення матеріалу». Основні написи і рамки виконують суцільними основними та тонкими лініями. У графах основного напису (номери граф на рис. 68 - рис. 70 показано в дужках) указують таку інформацію. У графі 1 дають найменування виробу (тема курсового проекту), а також найменування документа, яке записують у називному відмінку однини. Найменування документа, яке складається з декількох слів, розміщують в окремому рядку після найменування виробу і записують шрифтом меншого розміру малими літерами (перша літера велика). Наприклад: "ПРОЦЕСОР ЦЕНТРАЛЬНИЙ Схема електрична структурна".

У графі 2 записують позначення документа у відповідності до вимог ГОСТ 2.201-80: код організації-розробника, можна вказувати код предмету (допускається скорочення - КППАВС), дві останні цифри року захисту, порядковий номер теми, дві останні цифри залікової книжки, номер документа (від 000 до 999) та два символи шифра документа. Наприклад, КППАВС 04 12 20 001 Е1 - позначення схеми електричної структурної.

У графі 3 вказують матеріал деталі (графу заповнюють тільки для креслень деталей). У графу 4 записують літеру, присвоєну документу у відповідності до ГОСТ 2.103-68 залежно від стадії розробки конструкторської документації. Графу заповнюють послідовно, починаючи з крайньої лівої клітинки. У навчальних документах проставляють: Д - дипломний проект, К - курсовий проект, КР - курсова робота, РГ - розрахункова робота.

У графі 5 вказують масу виробу в кілограмах без одиниці фізичної величини. Допускається подавати масу в інших одиницях з їх позначеннями, наприклад 0,5 т, 10 г. Зміст граф 6-18 зрозуміло з рис. 68 - рис. 70.

Д1.3. Загальні вимоги до пояснювальної записки

Пояснювальну записку до курсового проекту оформляють у відповідності до вимог таких стандартів:

- ◇ ГОСТ 2.105-95 «Загальні вимоги до текстових документів»;
- ◇ ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення»;

Текстовий та графічний матеріали записки друкують комп'ютерним способом на одному боці односторонніх білих аркушів (листів) формату А4 (розмір 210x297 мм) через один міжрядковий інтервал, текст вирівнюють по ширині аркуша. Шрифт - Times New Roman Сур, 14. Обсяг пояснювальної записки для курсового проекту становить 50-60 сторінок (з урахуванням таблиць, графіків, діаграм, схем, додатків).

Виконуючи пояснювальну записку, потрібно витримувати рівномірну щільність, контрастність і чіткість зображення по всьому тексту. Всі лінії, букви, цифри та знаки мають бути однакового чорного кольору по всій записці. Окремі слова, формули і знаки, які вписують у надрукований текст, мають бути чорного кольору, а тон вписаного тексту максимально наближуватися до тону основного кольору.

Помилки, описки і граматичні неточності, виявлені у процесі виконання, допускається виправляти підчисткою або забілювати коректором з подальшим нанесенням на цьому місці виправленого тексту (графіки). Пошкодження листів записки, помарки і сліди неповністю вилученого старого тексту (графіки) не допускаються.

Відстань від рамки до межі тексту на початку і в кінці рядка має бути не менше 3-5 мм. Відстань від верхнього або нижнього рядка тексту до верхньої або нижньої рамки форми - не менше 10 мм. Абзаци в тексті починаються з відступом 15-17 мм (п'ять знаків). Скорочення слів і словосполучень у записці наводять згідно з діючими стандартами бібліотечної і видавничої справи.

Д1.4. Будова пояснювальної записки

Загалом пояснювальна записка містить такі структурні елементи: «ЗМІСТ», «ВСТУП», розділи основної частини, «ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ», «ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ», «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ», додатки. Розділи, за потреби, поділяють на підрозділи, пункти на підпункти. Розділи і підрозділи повинні мати заголовки. Пункти і підпункти можуть мати заголовки. Заголовки розділів основної частини

записки розміщують симетрично в середині рядка і друкують великими буквами (подібно до інших структурних елементів). Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів починають з абзацу і друкують малими буквами, крім першої великої. Абзац має бути однаковим по всьому тексту записки. Усі заголовки в тексті записки не підкреслюють і в їх кінці крапку не ставлять. Кожний розділ пояснювальної записки, як і інших структурних елементів, починають з нового листа (сторінки).

Якщо заголовок складається з двох і більше речень, то їх розділяють крапкою. Перенесення слів у заголовках розділів не допускається. Відстань між заголовком і наступним текстом - 15 мм.

Не допускається розміщувати найменування підрозділу, пункту, а також підпункту, якщо нижче є тільки один рядок тексту.

Д1.5. Нумерація складових частин

Розділи, підрозділи, пункти і підпункти записки нумерують арабськими цифрами. Порядкові номери записують з абзацу і в кінці їх ставлять крапку.

Розділи записки послідовно нумерують у межах документа, наприклад, 1., 2., 3. і т. д. Підрозділи нумеруються у межах кожного розділу, наприклад, 2.1. (перший підрозділ другого розділу).

Розділи, як і підрозділи, можуть складатися із декількох пунктів. Якщо розділ не має підрозділів, то пункти нумерують в межах розділу; при цьому пункти не мають найменування і записуються з абзацу, наприклад, 4.1. (четвертий пункт першого розділу). Якщо записка має підрозділи, то номер пункту в них складається з номера розділу, підрозділу і порядкового номера пункту, наприклад, 1.2.1., 1.2.2. і т. д.

Пункти, за потреби, розбивають на підпункти з порядковою нумерацією в межах кожного пункту, наприклад, 1.3.4.1., 1.3.4.2. і т. д.

Заголовки інших структурних елементів пояснювальної записки («ЗМІСТ», «ВСТУП» і т. ін.) не нумерують.

Сторінки записки наскрізно нумерують арабськими цифрами. Титульний лист не нумерують. Ілюстрації, схеми, таблиці, які розміщені на окремих сторінках, включають у загальну нумерацію записки.

У середині пункту або підпункту можна подавати перелік вимог, вказівок та положень. Перед кожною позицією переліку потрібно ставити дефіс або за потреби посилання в тексті записки на одну із позицій переліку - малу букву, після якої ставиться дужка. Для подальшої деталізації використовують арабські цифри з дужкою, а запис виконують з абзацу, наприклад: а), б), 1), 2), в) і т. ін.

Кожний рядок переліку починається з абзацу. Перший лист структурного елемента «ЗМІСТ» повинен мати основний напис (розмір 40Н185 мм). Таблична форма, в яку вноситься основний напис, на практиці називається «штампом». Усі подальші аркуші супроводжуються основним написом для наступних листів (розміри штампа 15х185 мм). За потреби перші листи назв підрозділів основної частини пояснювальної записки також можуть мати основний напис розміром 40Н185 мм.

Д1.6. Викладення тексту записки

Порядок слів у назві має бути таким: на першому місці визначення (прикметник), а потім назва виробів (іменник). Назви, які наводяться в тексті записки і на ілюстраціях, повинні бути однаковими.

Текст записки має бути чітким і не допускати різних тлумачень. Викладаючи обов'язкові вимоги у записці, потрібно використовувати слова «повинен», «потрібно», «вимагається щоб», «дозволяється тільки», «не допускається».

Використовуючи інші положення потрібно вживати слова «можна», «як правило», «за потреби» і т. ін. У тексті записки не рекомендується вживати звороти із займенниками першої особи, наприклад, «я вважаю...», «ми вважаємо:...» тощо. Текст пояснювальної записки рекомендується викладати у безособовій формі, наприклад, «На основі проведеного аналізу можна зробити висновок...», або від третьої особи однини чи множини, наприклад,

«цей результат показує...», «виконані дослідження підтверджують...».

Пояснювальна записка має бути написана логічно послідовно, грамотною технічною мовою. Варто звернути увагу на вибір потрібних формулювань, які б якомога простіше, чітко, стисло і доступно виражали б зміст питання, що викладається.

У записці належить застосовувати науково-технічні терміни, позначення і визначення, установлені чинними стандартами, а за їх відсутності - загальноприйняті у науково-технічній літературі.

Усі скорочені найменування потрібно пояснювати в тексті з їх першою появою, наприклад, «Центральний процесорний елемент (ЦПЕ)...», далі можна користуватися скороченням «ЦПЕ».

Якщо у документі прийнято специфічну термінологію, то в кінці його перед списком літератури наводять перелік використаних термінів з відповідними поясненнями.

У тексті записки не допускається:

- ◇ застосовувати для одного і того самого поняття різні науково-технічні терміни, близькі за змістом (синоніми), а також іноземні слова і терміни за наявності таких в українській мові;
- ◇ скорочувати позначення одиниць фізичних величин, якщо їх використовують без цифр, за винятком фізичних величин в головках і боковиках таблиць і в розшифровках буквених позначень, які входять у формули;
- ◇ використовувати без числових значень математичні знаки, наприклад, $\leq$ (менше або дорівнює), $\geq$ (більше або дорівнює), $\neq$ (не дорівнює), а також № (номер), % (відсоток);
- ◇ використовувати знак «» для позначення діаметра (треба писати слово
- ◇ «діаметр»);
- ◇ застосовувати індекси стандартів, технічних умов і інших документів (ГОСТ, ДСТУ, ТУ тощо) без реєстраційного номера.

Якщо у записці наводять пояснювальні написи, які наносяться безпосередньо на проєктований виріб (планки, панелі, таблички з елементами керування), то їх виділяють шрифтом (без лапок), наприклад, ВКЛ., ВІДКЛ., або лапками, якщо напис складається з цифр та знаків. У тексті записки перед позначенням параметра дають його пояснення, наприклад, «Тривалість фронту сигналу t_{HL} ».

Числові значення величин в тексті вказують з необхідним ступенем точності, при цьому в ряду величин вирівнювати число знаків після кожної коми не обов'язково.

Д1.7. Подання формул і рівнянь

У тексті пояснювальної записки зазвичай подаються формули і рівняння. Формула - це сукупність величин, виражених символами і з'єднаних за допомогою математичних знаків $=$, $\neq$, $>$, $<$ та ін. Рівняння - це аналітичний запис задачі про розшукування невідомих значень аргументів. Усі фізичні величини наводять в одиницях СІ.

Формули і рівняння розміщують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються вперше, посередині сторінки. Вище та нижче кожної формули або рівняння залишають по одному вільному рядку. Формули і рівняння послідовно нумерують у межах розділу. Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера, розділених крапкою. Номер вказується в круглих дужках на рівні формули у крайній правій позиції по рядку, наприклад, (2.5) - п'ята формула другого розділу.

Пояснення символів і числових коефіцієнтів, які входять у формулу або рівняння, наводять безпосередньо під виразами в тій послідовності, в якій їх подано у формулі чи рівнянні. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом «де» без двокрапки.

Наприклад:

$$I = U / R, \tag{1}$$

де I - сила струму, А; U - напруга, В; R - опір електричному струму, Ом.

Розрахунки за наведеними формулами розміщують безпосередньо за ними. У випадку розрахунків і друкування результатів за допомогою комп'ютера вказують тип машини та

назви використаних алгоритмів і програм. Переносити формули або рівняння на наступний рядок допускається тільки на знаках виконання операцій, при цьому знак операції на початку наступного рядка повторюється. У разі перенесення формули або рівняння на знаку операції множення застосовують знак «×». Якщо в записі є тільки одна формула або рівняння, то їх також нумерують за наведеними правилами.

Формули, які слідують одна за одною і не розділені текстом, відділяють комою. Наприклад:

$$f_1(x, y) = S_1 \text{ і } S_1 < S_{1max}, \quad (2)$$

$$f_2(x, y) = S_2 \text{ і } S_2 \leq S_{2max}, \quad (3)$$

Числовий результат розрахунків одержують тільки після підстановки у формули замість символів їх числових значень:

◇ правильно

$$T = \frac{M}{W} = \frac{100}{0.2} = 500 \text{ МПа} \quad (4)$$

◇ не правильно

$$T = \frac{M}{W} = 500 \text{ МПа} \quad (4)$$

Д1.8. Правила написання позначень і найменувань фізичних величин

Застосування і написання одиниць фізичних величин має відповідати вимогам ГОСТ 8.417-81 та ДСТУ 3651-97. Буквенні позначення одиниць виконують шрифтом без нахилу. В позначеннях одиниць крапку як знак скорочення не ставлять, позначення одиниць треба застосовувати після числових значень і розміщувати у рядку з ними (без перенесення на наступний рядок). Останню цифру і позначення одиниці необхідно записувати через пробіл:

◇ правильно 150 кВт;

◇ неправильно 150кВт.

Винятком є позначення у вигляді знака, піднятого над рядком, перед яким пробіл не залишають:

◇ правильно 20°;

◇ неправильно 20 °.

За наявності десяткового дробу в числовому значенні величини позначення одиниці виміру ставлять після нього:

◇ правильно 423,06 м

Подаючи значення величин з граничними відхиленнями числа беруться в дужки, після яких пишуть позначення одиниці:

◇ правильно (100,0±0,1) мА;

◇ неправильно 100,0±0,1 мА.

Буквені позначення одиниць, які входять у добуток, відділяють крапками на середині лінії як знаками множення, або пробілами, якщо не виникає непорозумінь:

◇ правильно Н·м;

◇ неправильно Нм.

У буквених позначеннях відношень одиниць для знака ділення використовують тільки одну риску: навісну або горизонтальну. Допускається використовувати позначення одиниць, зведених у степені (додатні або від'ємні). Позначення одиниць в чисельнику і знаменнику за допомогою навісної риски розміщують в одному рядку:

◇ правильно м/с;

◇ неправильно $\frac{м}{с}$.

Для складних одиниць, які складаються із двох і більше простих, не допускається комбінувати буквені позначення і назви одиниць (тобто для одних - позначення, для других - назви):

◇ правильно 50 г/м;

◇ неправильно 50 г/метр.

Одиниця фізичної величини одного і того самого параметра в межах пояснювальної записки має бути однаковою. Записуючи групу числових значень, виражених однаковою одиницею фізичної величини, її вказують після останньої цифри в ряду, наприклад, 5, 9; 8,5; 12,0 мм.

Числові значення величин із позначенням одиниці пишуть із цифрами, а без позначення фізичних величин - словами, наприклад: «струм не більше 2 мА», «опір збільшити в три рази».

Д1.9. Оформлення ілюстрацій

Усі ілюстрації в пояснювальній записці (креслення, схеми, фотографії, діаграми, графіки) називають рисунками. Кількість ілюстрацій має бути достатньою для пояснення тексту, який викладається. Ілюстрації потрібно розміщувати як по тексту записки (якомога ближче до відповідних частин тексту), так і в кінці його або наводити в додатках. Ілюстрації належить виконувати у відповідності до вимог стандартів ЄСКД і ЕСПД за допомогою різних графічних редакторів та систем автоматизованого проектування.

Усі ілюстрації послідовно нумерують у межах розділу арабськими цифрами. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених крапкою, наприклад, «Рис. 2.5». Посилання на ілюстрації подають так: «... на рис. 2.5 ...». Повторне посилання на ілюстрацію можна наводити із скороченням слова «дивись», наприклад, «... див. рис. 2.5 ...». Допускається нумерація ілюстрацій у межах усієї записки.

Номер ілюстрації в додатках визначають окремою нумерацією з додаванням перед арабською цифрою позначення додатка, наприклад, «Рис. А.1. ». Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують під ілюстрацією в одному рядку з її номером, наприклад, «Рис. 3.2. Схема електрична структурна». За потреби під назвою ілюстрації записують пояснювальні дані (рис. 71).

Графічні позначення елементів цифрової техніки

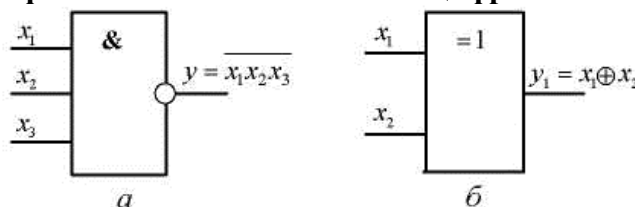


Рис. 71. Умовні графічні позначення логічних елементів: а - логічний елемент І-НЕ; б - логічний елемент ВИКЛЮЧАЮЧЕ АБО

Допускається, за потреби, записувати над ілюстрацією узагальнений смисловий заголовок, наприклад, для рис. 2.5: «Графічні позначення елементів цифрової техніки». Розмір шрифту всіх без винятку надписів у рисунках має бути таким самим, як і в тексті пояснювальної записки. Ілюстрації розміщують так, щоб їх можна було розглядати, не повертаючи або повертаючи за ходом стрілки годинника. На електричних схемах, які наводяться у записці, біля кожного елемента вказується його позиційне позначення і, за потреби, номінальні значення величин, а у випадку необхідності і тип елемента.

Д1.10. Побудова таблиць

Цифровий матеріал, як правило, оформляють у вигляді таблиць (рис. 72).

Горизонтальні лінії, які розмежовують рядки таблиці, можна не використовувати, якщо це не затрудняє користування таблицею. Таблицю розміщують безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті записки. Таблиці послідовно нумерують арабськими цифрами в межах розділу, за винятком таблиць у додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, розділених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 - перша таблиця другого розділу. Якщо у записці тільки одна таблиця, то її також нумерують за наведеними правилами. Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами, окрім першої великої, і розміщують над таблицею. Назва повинна бути короткою і відображати зміст таблиці.

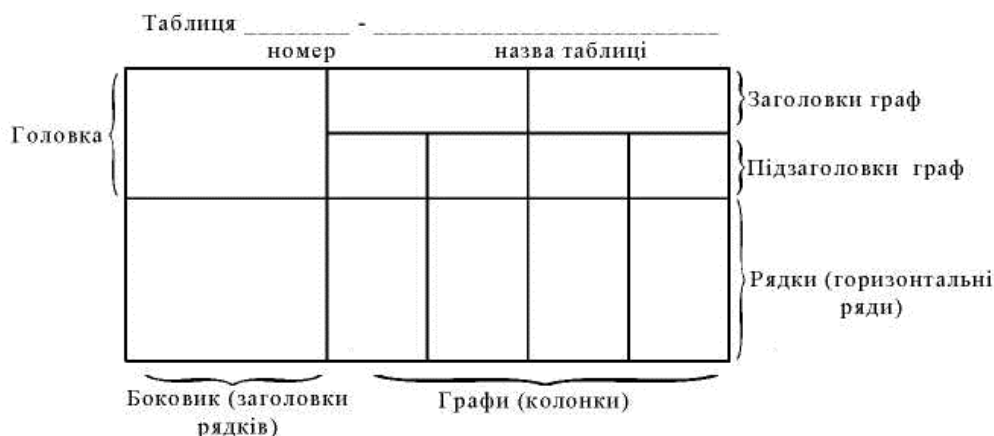


Рис. 72. Формат таблиць

Заголовки граф і рядків таблиці пишуть з великої букви, а підзаголовки - з малої букви, якщо вони складають одне речення із заголовком, або з великої букви, якщо вони мають самостійне значення. Заголовки і підзаголовки вказують в однині, в кінці їх крапку не ставлять.

Розділяти заголовки і підзаголовки боковика і граф діагональними лініями не допускається. Заголовки граф записують паралельно рядкам таблиці, але за потреби допускається їх вертикальне розміщення. Головка відділяється лінією від решти таблиці. Висота рядків повинна бути не менше 8 мм. Допускається розміщувати таблицю уздовж довгої сторони листа.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, то її ділять на частини, які розміщують одну під одною або поряд; при цьому в кожній частині таблиці повторюють її головку і боковик (таблиця. 14).

Таблиця. 14. Статичні параметри K155TM2

Параметр	Норма
Вихідна напруга низького рівня U_{OL} , В	00,5
Вихідна напруга високого рівня U_{OH} , В	2,4
Вхідний струм низького рівня I_{IL} , мА	20
Вхідний струм високого рівня I_{IH} , мА	[-0,1]

Закінчення таблиці 2.

Параметр	Норма
Вихідний струм I_O , мА	[-30]
Струм споживання	20

При діленні таблиці на частини допускається її головку або боковик замінювати відповідно до номерів граф чи рядків. При цьому нумерують арабськими цифрами графи і (або) рядки першої частини таблиці. Слово «Таблиця _» вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть: «Продовження таблиці» із вказанням номера таблиці.

Д1.11.Оформлення приміток і посилань

Примітки у записці наводять за потреби пояснень або довідкових даних до змісту тексту, таблиць або графічного матеріалу. Примітки не повинні містити вимог; їх розміщують безпосередньо після матеріалу, якого вони стосуються.

Одну примітку не нумерують. Слово «Примітка» друкують з великої букви з абзацу, не підкреслюючи. Після слова «Примітки» ставлять крапку, з великої букви у цьому ж рядку дають текст примітки.

Примітка. При роботі параметри можуть змінюватись від температури.

Рис. 73. Оформлення однієї примітки

Декілька приміток нумерують послідовно арабськими цифрами з крапкою.

Після слова «Примітки» ставлять двокрапку і з нового рядка з абзацу після номера примітки з великої букви наводять текст.

Примітки:

1. При роботі параметри можуть змінюватись від температури.
2. Ще одна важлива примітка.

Рис. 74. Оформлення кількох приміток

Посилання в тексті записки на джерела треба вказувати порядковим номером за переліком посилань, які виділені двома квадратними дужками, наприклад, «... в роботах [1-7] показано ...». Посилаючись на розділи, підрозділи, пункти і підпункти, рисунки, формули та таблиці, додатки вказують їх номери. У разі посилань треба писати «... в розділі 4...», «... див. 3.4.1...», «... в додатку Б».

Д1.12. Оформлення додатків

Ілюстративний матеріал, таблиці або текст допоміжного характеру допускається подавати в додатках. Їх оформляють як продовження записки на наступних листах або у вигляді самостійного документа за загальними правилами.

Додатки можуть бути обов'язковими або інформаційними. Додатки виконують на листах формату А4; допускається використання інших форматів.

Кожний додаток має починатися з нової сторінки. Додаток повинен мати заголовок, надрукований зверху малими буквами з першою великою симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком малими буквами з першою великою друкують слово «Додаток__».

Додатки позначають послідовно великими буквами українського алфавіту за винятком Г, Є, З, И, І, Ї, О, Ъ, наприклад, Додаток А, Додаток Б і тощо. Один додаток позначається як додаток А.

Додатки повинні мати спільну з рештою записки наскрізну нумерацію сторінок. За потреби текст додатка можна поділяти на розділи, підрозділи, пункти і підпункти, які нумерують у межах кожного додатка за загальними правилами. Наприклад, Г.3.1 - підрозділ 3.1 додатка Г.

Якщо у тексті додатка є рисунки, таблиці, формули і рівняння, то їх нумерують в межах кожного додатка, наприклад, рис. Г.3 - третій рисунок додатка Г; табл. А.2 - друга таблиця додатка А; формула (Д.3) - третя формула додатка Д.

Якщо у додатку є по одній ілюстрації, таблиці, формулі або рівнянню, то їх нумерують, наприклад, Рис. А.1, Таблиця А.1, Формула (В.1).

Д1.13. Оформлення переліку посилань

Джерелами можуть бути книги, багатотомні видання, періодичні видання (газети, журнали), спеціальні види нормативно-технічних документів (стандарты, патенти, каталоги) та ін. Перелік посилань містить перелік джерел, використаних у пояснювальній записці. Застосовується декілька способів угруповання матеріалу в списку літератури: алфавітний, систематичний, хронологічний, по розділах роботи, в порядку цитування та згадки літератури в тексті. Зазвичай джерела розміщують у списку в порядку появи посилання на них в тексті записки і послідовно нумерують арабськими цифрами. Допускається розміщувати літературні джерела в алфавітному порядку, у такому випадку спочатку розміщуються джерела українською мовою, а потім - література на іноземних мовах у порядку латинського алфавіту.

Відомості про джерела подають у відповідності до вимог ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 "Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1-2003, IDT)"

та згідно вимог ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання»

Бібліографічний опис є сукупністю відомостей, що приводяться в певній послідовності, як про твір друку в цілому, так і про його частину або групу творів друку. Бібліографічний опис є основною частиною бібліографічного запису, який крім власне бібліографічного опису містить додатково: анотацію або реферат, терміни індексування (класифікаційні індекси і предметні рубрики), шифри зберігання та іншу інформацію про документ.

Загальні правила:

- ◇ Опис книги проводиться за титульним листом. Відомості, яких бракує, запозичують з інших місць книги: обкладинки, обороту титульного листа, передмови, змісту, випускних даних та ін., а також з джерел поза документом. Відомості, запозичені з сторонніх відносно матеріалу джерел інформації, наводять у квадратних дужках.
- ◇ Мова бібліографічного опису, як правило, відповідає мові вихідних відомостей документа. Перевагу віддають вихідним відомостям на офіційній мові країни. Якщо вихідні відомості в документі на всіх мовах неповні, то вибирають мову, на якій приведені найповніші відомості. Назви літературних джерел наводять мовою, якою вони написані - українською, англійською тощо, крім мов, що важко чи не можливо відтворити із використанням поширених кодових сторінок, наприклад японської, китайської, хінді. У такому випадку використовують англійську транслітерацію бібліографічного опису.
- ◇ При складанні списку літератури з метою забезпечення його компактності можна застосовувати скорочення слів і словосполучень, пропуск частини елемента, об'єднання різних записів в один бібліографічний запис і інші прийоми скорочення. Не допускається скорочувати будь-які заголовки в будь-якій області.
- ◇ При складанні бібліографічного опису слід дотримуватись сучасних норм орфографії.
- ◇ Прописними літерами починають перше слово кожної області, а також перше слово наступних елементів: загального позначення матеріалу і будь-яких заголовків у всіх областях опису. Решту всіх елементів записують з малої літери.
- ◇ Вказівки на том, частину, випуск, номер, а також на рік видання наводяться арабськими цифрами.

Правила розстановки розділових знаків:

- ◇ . — (крапкою і тире) — розділяються між собою області бібліографічного опису;
- ◇ : (двокрапка) — перед відомостями, що відносяться до заголовка; перед найменуванням видавництва;
- ◇ / (коса риска) — перед відомостями про авторів;
- ◇ ; (крапка з комою) — у відомостях про авторі: для відокремлення основних авторів від інших осіб, що брали участь в створенні роботи; для відокремлення групи відомостей одна від одної; для відокремлення першого місця видання від подальшого;
- ◇ — після найменування видавництва, а при його відсутності — після місця видання; при відокремленні однорідних відомостей усередині групи; при відокремленні найменувань головної організації і її підрозділу або підпорядкованої до неї організації;
- ◇ // (дві косі риски) — для відокремлення частин аналітичного опису джерела; перед заголовком збірки, багатотомного або продовжуваного документу, періодичного документу, до складу якого входить описуваний документ;
- ◇ . (крапка) — ставиться в кінці бібліографічного опису.

Для розділення областей і елементів, а також для розрізнення приписаної та граматичної пунктуації застосовують пропуски в один друкарський знак до і після

приписаного знаку, крім крапки і коми — пропуски залишають тільки після них.

Обов'язковими елементами бібліографічного опису літературних джерел є:

- ◇ прізвища індивідуальних або колективних авторів у називному відмінку;
- ◇ назва видання;
- ◇ характеристика видання та відомості про повторне видання;
- ◇ місце видання, видавництво;
- ◇ рік видання, кількість сторінок.
- ◇ Міжнародний стандартний номер серіального видання, що було надано серії чи підсерії (ISSN) (за наявності);
- ◇ окремі примітки в описі певних видів документів, в описі електронних ресурсів — примітки про джерело основної назви, примітки про системні вимоги, тощо.

Схема опису електронного ресурсу:

Основний заголовок [Загальне позначення матеріалу] = Паралельний заголовок: відомості, що відносяться до заголовка / відомості про відповідальність. — Відомості про видання = паралельні відомості про видання / відомості про відповідальність, що відносяться до видання, додаткові відомості про видання. — Позначення виду ресурсу (об'єм ресурсу). — Місце видання: ім'я видавця, дата видання (Місце виготовлення: ім'я виробника, дата виготовлення). — Специфічне позначення матеріалу і кількість фізичних одиниць: інші фізичні характеристики; розмір + відомості про супровідний матеріал. - (Основний заголовок серії або під серії = Паралельний заголовок серії або під серії: відомості, що відносяться до заголовка серії або підсерії / відомості про відповідальність, що відносяться до серії або підсерії, 1881ЧГ; нумерація усередині серії або підсерії). -Примітка. — Стандартний номер. — Ключовий заголовок: умови доступності і ціна. — Дата останнього звернення.

Приклад:

10. Електронний каталог Бібліотеки ТНТУ [Електронний ресурс] : база даних містить відомості про всі види літ., що поступає до фонду Бібліотеки ТНТУ. — Електрон, данні. (100 файлів, 178 тис. записів). — Тернопіль. — [1999—]. — Режим доступу : <https://library.tntu.edu.ua/catalog/search/>. — Загол. з екрану. — (Дата звернення: 15.01.2025).

Д1.14. Оформлення посилань:

У включеному до списку літератури посиланні, котре наведено у тексті необхідно в квадратних дужках вказати номер, під яким джерело значиться в списку, номер тому, частини, випуску (для багатотомного видання) і в необхідних випадках сторінку. Приклади:

на одне джерело	[18]
на декілька джерел	[18; 20; 25;108]
на багатотомне видання	[25, т.2]
на конкретну сторінку	[32, с. 150]

ДОДАТОК 2 . ВАРІАНТИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НЕПЕРЕРВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Варіант №1

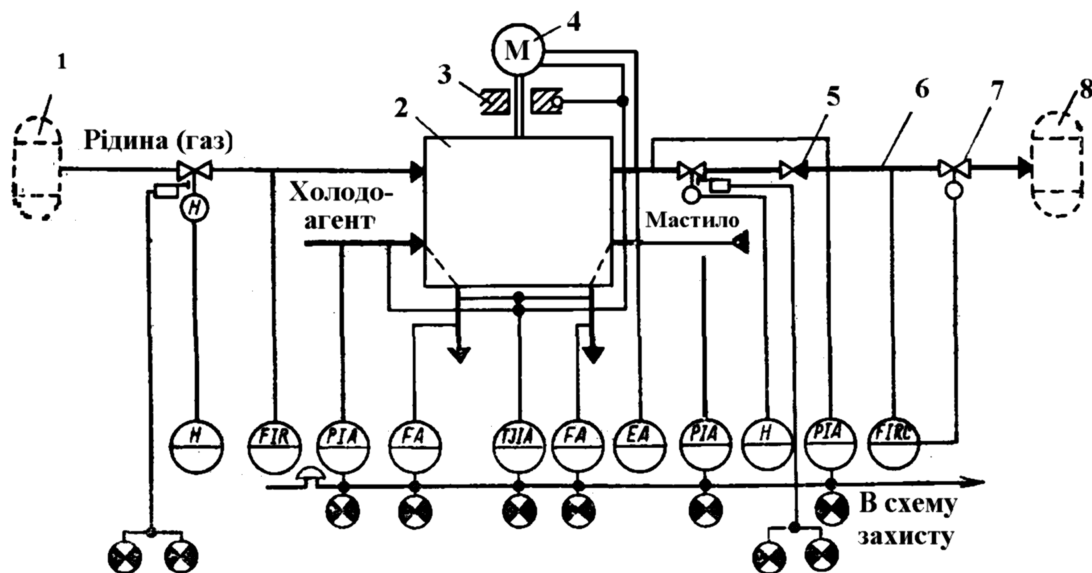


Рис. Схема автоматизації процесу переміщення потоку:

1, 8 - технологічні апарати; 2 - насос (компресор); 3 - підшипники; 4 - електродвигун; 5 - зворотний клапан; 6 - трубопровід; 7 - дросельний орган. [1, ст. 235, рис.5.1]

Варіант №2

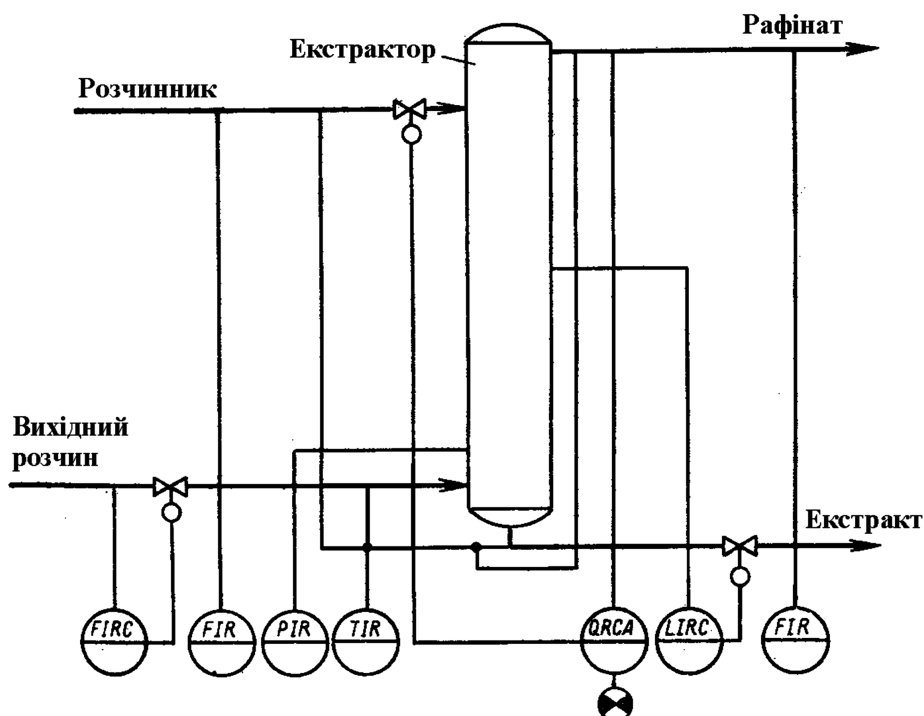


Рис. Схема автоматизації процесу екстракції:

[1, ст. 298, рис.7.19]

Варіант №3

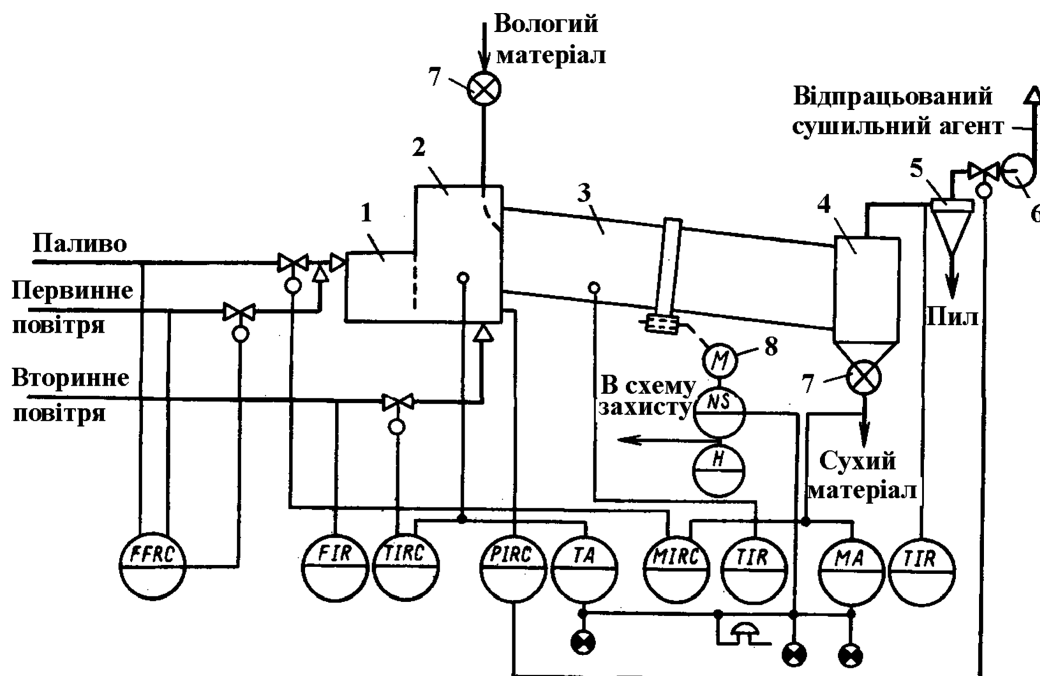


Рис. Схема автоматизації процесу сушіння:

1 - піч; 2 - змішувальна камера; 3 - барабан; 4 - бункер; 5 - циклон; 6 - вентилятор;
7 - автоматичний дозатор; 8 - електродвигун барабана. [1, ст. 300, рис.7.20]

Варіант №4

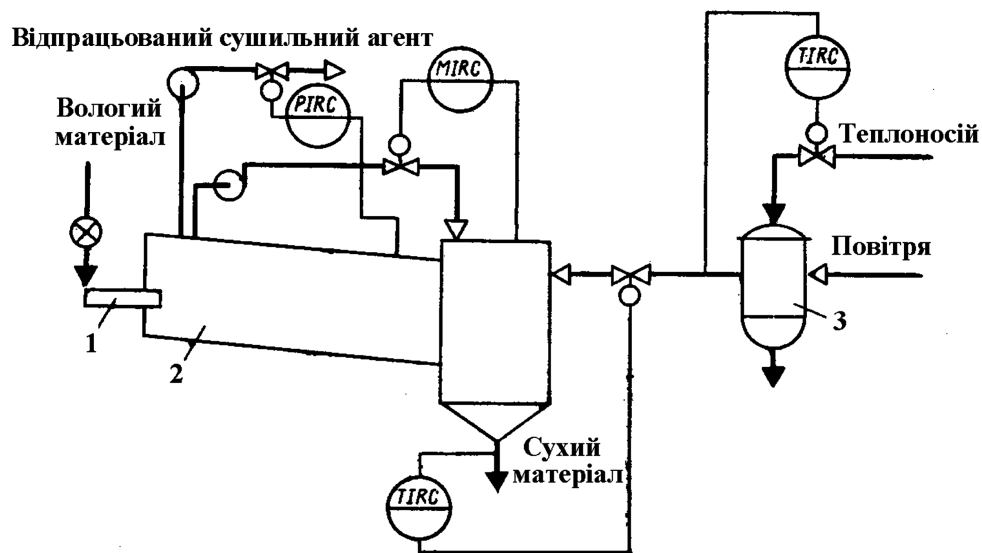


Рис. Схема регулювання протиточної барабанної сушилки:

1 - транспортер вологого матеріалу; 2 - барабан; 3 - повітренагрівач. [1, ст.302, рис.7.22]

Варіант №5

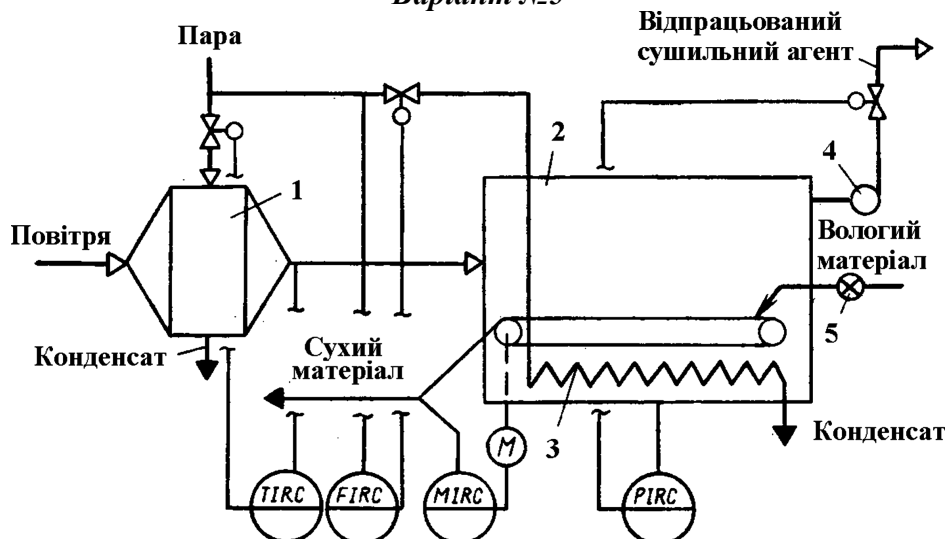


Рис. Схема регулювання стрічкової (конвеєрної) сушилки:

1 - калорифер; 2 - сушилка; 3 - додатковий підігрівач; 4 - вентилятор;
5 - живильник. [1, ст. 303, рис.7.23]

Варіант №6

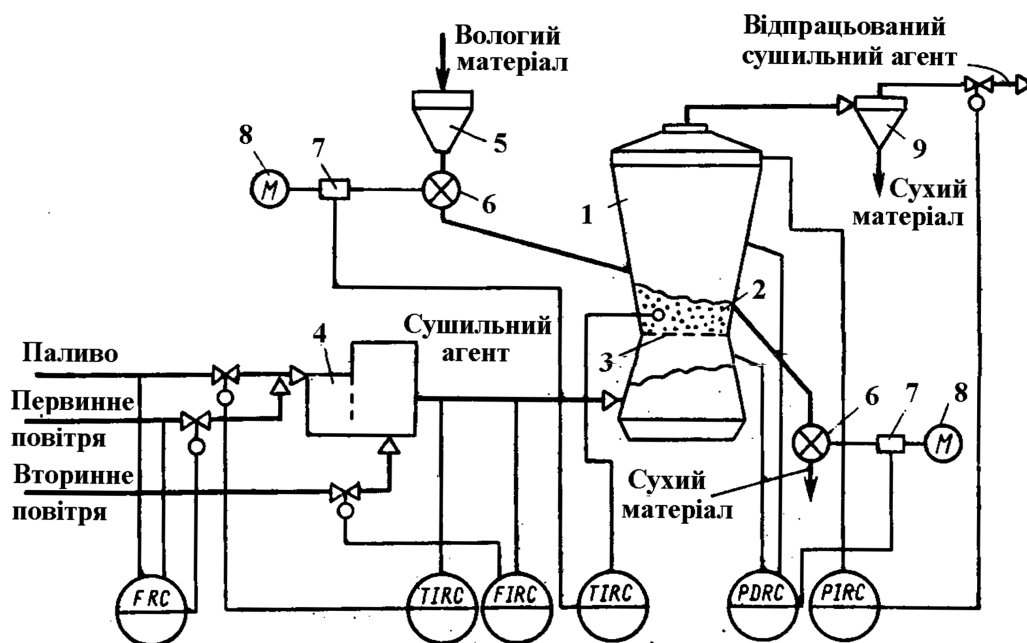


Рис. Схема регулювання процесу в сушилках з киплячим шаром:

1 - сушилка; 2 - киплячий шар; 3 - решітка; 4 - піч; 5 - проміжний бункер; 6 - живильники;
7 - варіатори; 8 - електродвигуни; 9 - циклон. [1, ст. 305, рис.7.25]

Варіант №7

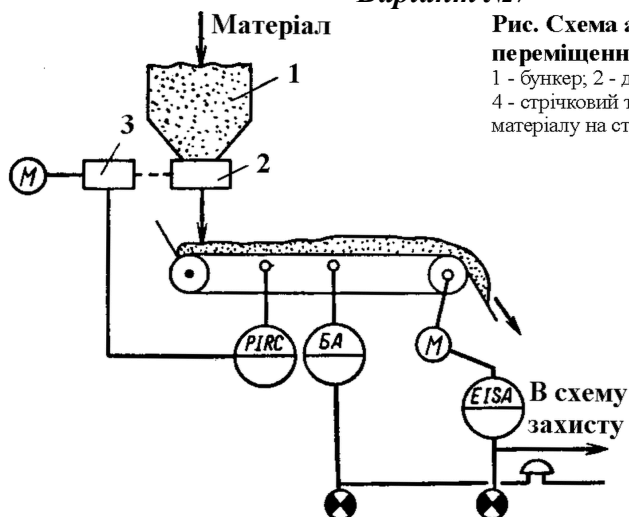


Рис. Схема автоматизації процесу переміщення сипучих матеріалів:

1 - бункер; 2 - дозатор; 3 - варіатор;
4 - стрічковий транспортер; Б - наявність матеріалу на стрічці. [1, ст. 310, рис.8.1]

Варіант №8

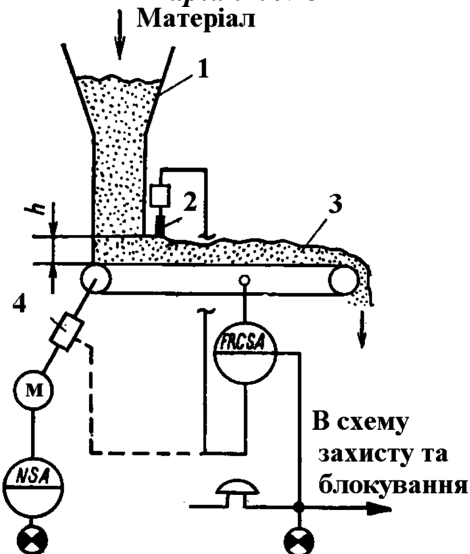


Рис. Схема автоматизації процесу дозування:

1 - бункер; 2 - заслінка; 3 - транспортер; 4 - варіатор. [1, ст. 316, рис.8.4]

Варіант №9

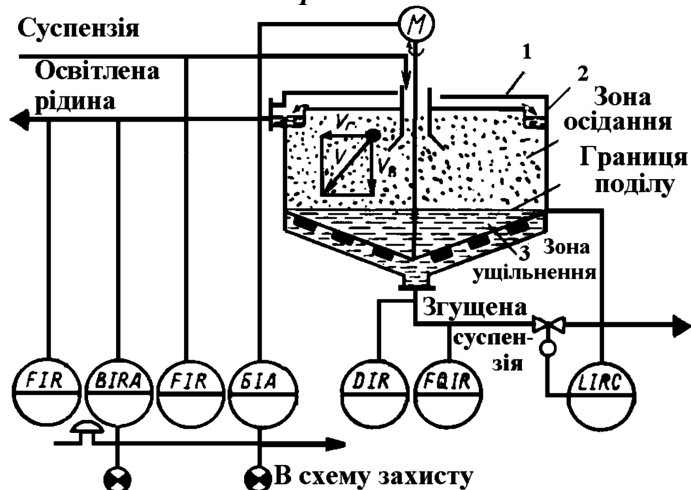


Рис. Схема автоматизації процесу відстоювання:

1 - відстійник; 2 - переливний пристрій; 3 - мішалка; Б - момент на валу електродвигуна; В - мутність рідини. [1, ст. 244, рис.5.8]

Варіант №10

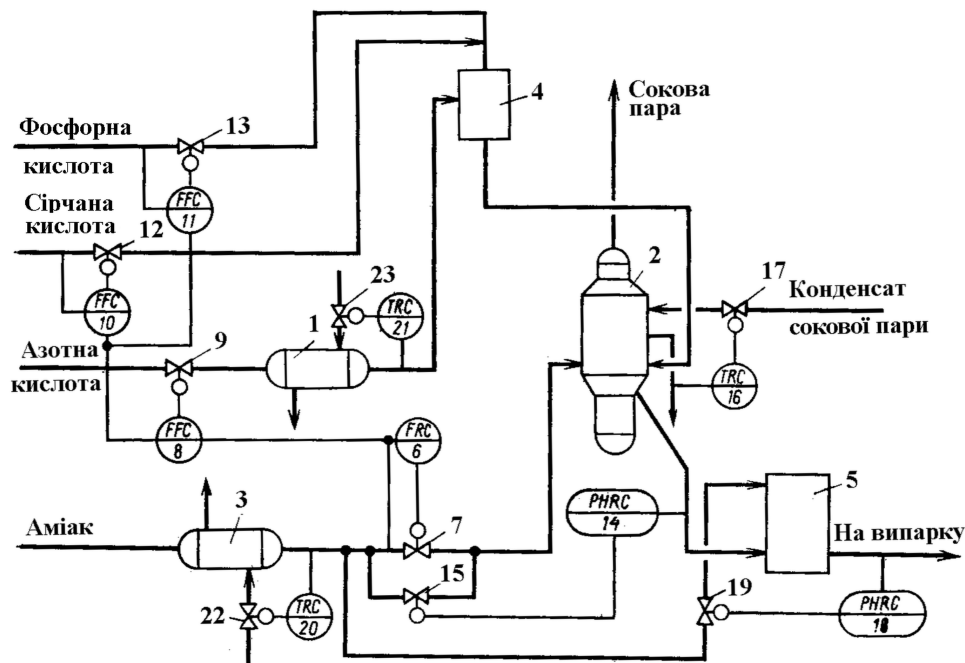


Рис. Схема автоматизації стадії нейтралізації:

1, 3 - теплообмінники; 2 - апарат ІТН; 4 - змішувач; 5 - донейтралізатор; 6 - регулятор витрати;
7, 9, 12, 13, 15, 17, 19, 22, 23 - регулюючі клапани; 8, 10, 11 - регулятори співвідношення
витрат; 14, 18 - регулятори рН; 16, 20, 21 - регулятори температури. [1, ст. 341, рис.9.8]

Варіант №11

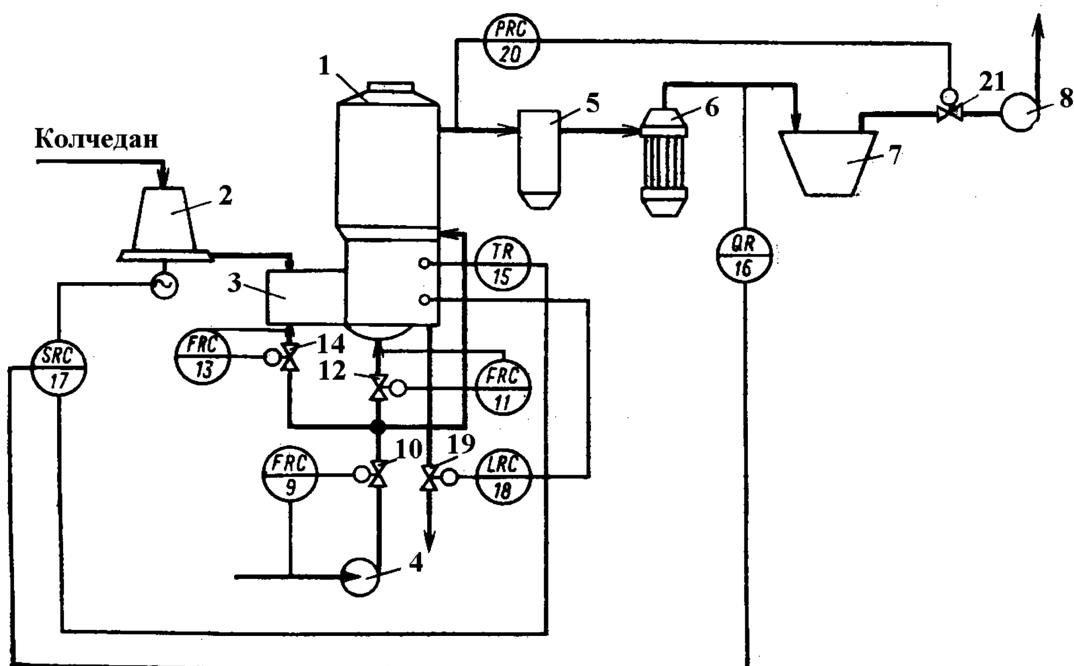


Рис. Технологічна схема і схема автоматизації установки обпалення колчедану в печі з киплячим шаром:

1 - піч; 2 - живильник; 3 - форкамера печі; 4, 8 - вентилятори; 5 - котел-утилізатор; 6 - циклон;
7 - електрофільтр; 9, 11, 13 - регулятори витрат; 10, 12, 14, 21 - дросельні заслінки; 15 - датчик
концентрації; 17 - регулятор числа обертів; 18 - регулятор рівня; 19 - дисковий затвор;
20 - регулятор розрідження. [1, ст. 354, рис.9.14]

Варіант №12

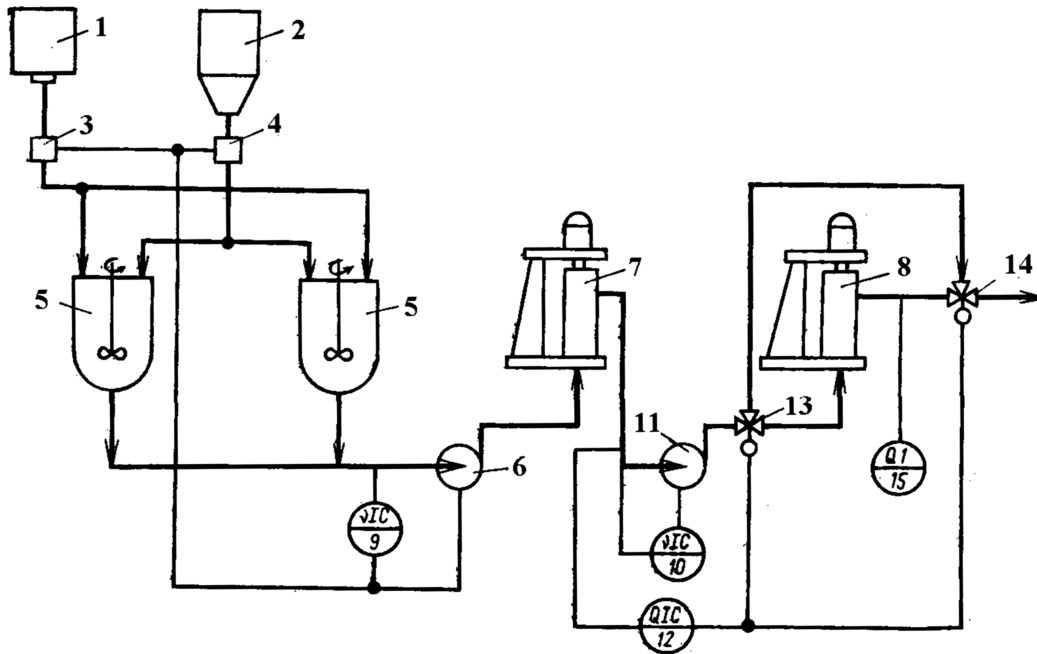


Рис. Схема контролю і регулювання процесу диспергування пігментованих лакофарбових систем:

1 - ємність; 2 - бункер; 3, 4 - дозатори; 5 - змішувачі-дисольвери; 6, 11 - насоси; 7, 8 - бісерні млини; 9, 10 - регулятори в'язкості; 12 - регулятор коефіцієнта відображення; 13, 14 - триходові клапани; 15 - датчик коефіцієнта відображення. [1, ст. 385, рис.10.16]

Варіант №13

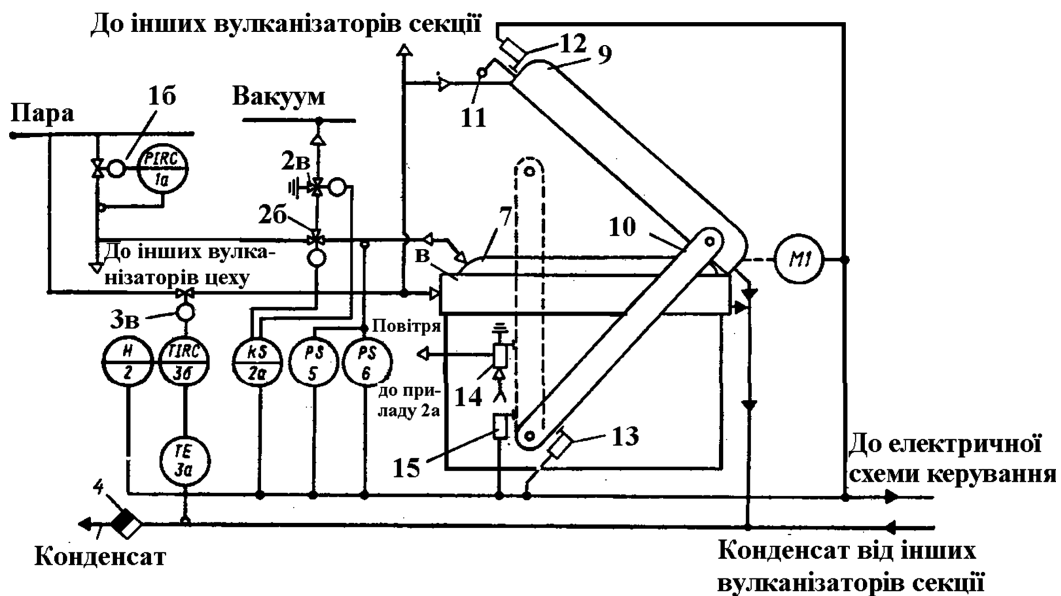


Рис. Функціональна схема автоматизації процесу вулканізації автомобільних камер:

1а - регулюючий пристрій; 16 - виконавчий пристрій; 2 - кнопочний пункт керування ("Закриття", "Відкриття", "Стоп"); 2а - командний прилад; 26, 2в - триходові клапани; 3а - термоелектричний перетворювач; 36 - регулюючий потенціометр; 3в - виконавчий пристрій; 4 - конденсатовідводчик; 5, 6 - реле тиску; 7 - камера; 8, 9 - нижня і верхня половини прес-форми; 10 - шатун; 11 - дуга аварійного вимикача; 12, 13, 15 - кінцеві електричні вимикачі; 14 - кінцевий пневматичний вимикач. [1, ст. 422, рис.13.7]

Варіант №14

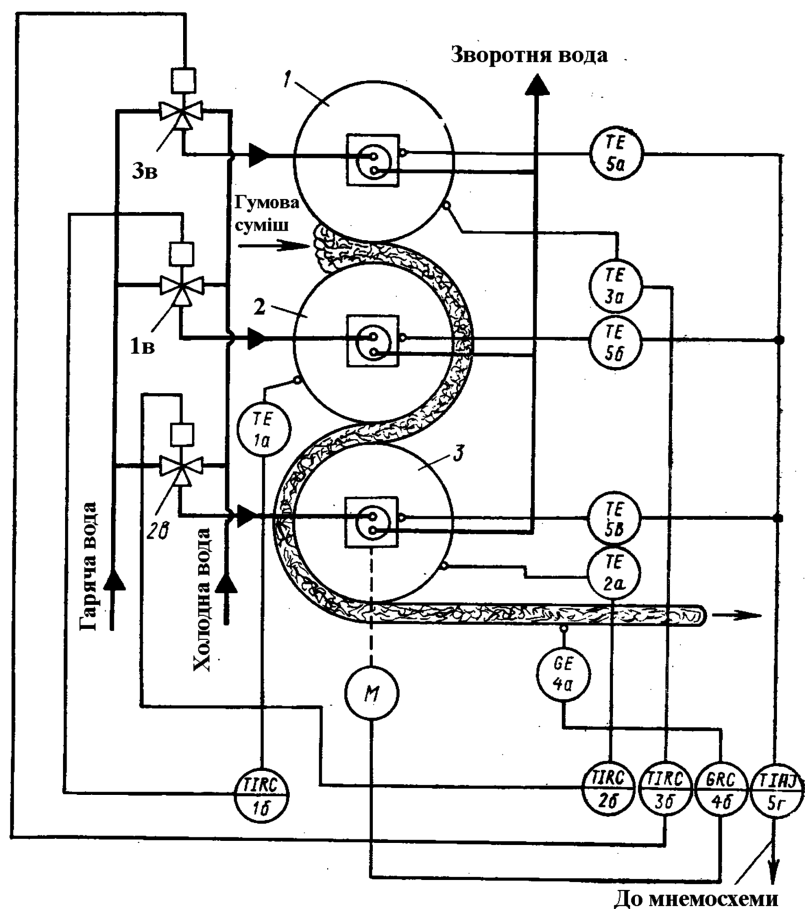


Рис. Функціональна схема автоматизації каландра:
1-3 - валки; 1а, 2а, 3а - термоелектричні перетворювачі; 16-36 - електронні потенціометри з пневматичною регулюючою системою; 1в-3в - триходові змішувальні клапани; 4а - датчик товщини (калібру); 4б - вторинний прилад з електричним регулюючим пристроєм; 5а-5в - термоелектричні перетворювачі (або термоперетворювачі опору); 5г - електронний потенціометр (або міст) з об'їгаючою системою контролю і сигналізації. [1, ст.418, рис.13.4]

Варіант №15

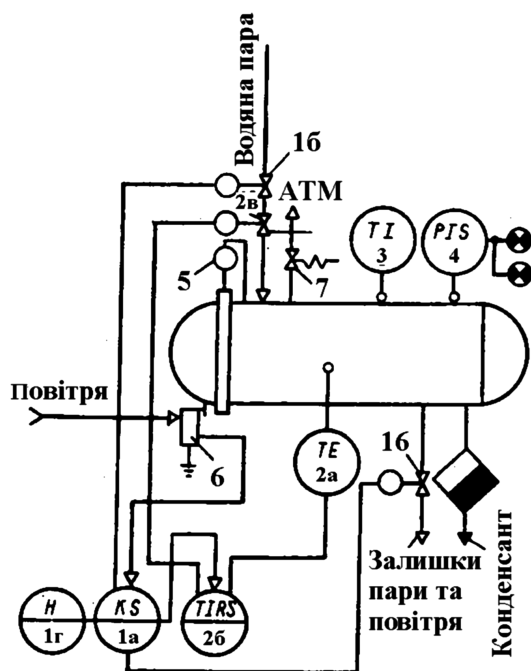


Рис. Схема автоматизації гумових виробів в котлах з обігрівом гострою парою:
1а - командний прилад; 1б, 1в - запірні клапани;
1г - кнопочний виимач; 2а - термоелектричний перетворювач; 2б - регулятор температури;
2в - регулюючий клапан; 3 - термометр розширення;
4 - контактний манометр; 5 - мембрана блокуючого пристрою; 6 - кінцевий пневматичний виимач;
7 - запобіжний клапан. [1, ст. 432, рис.13.13]

Варіант №16

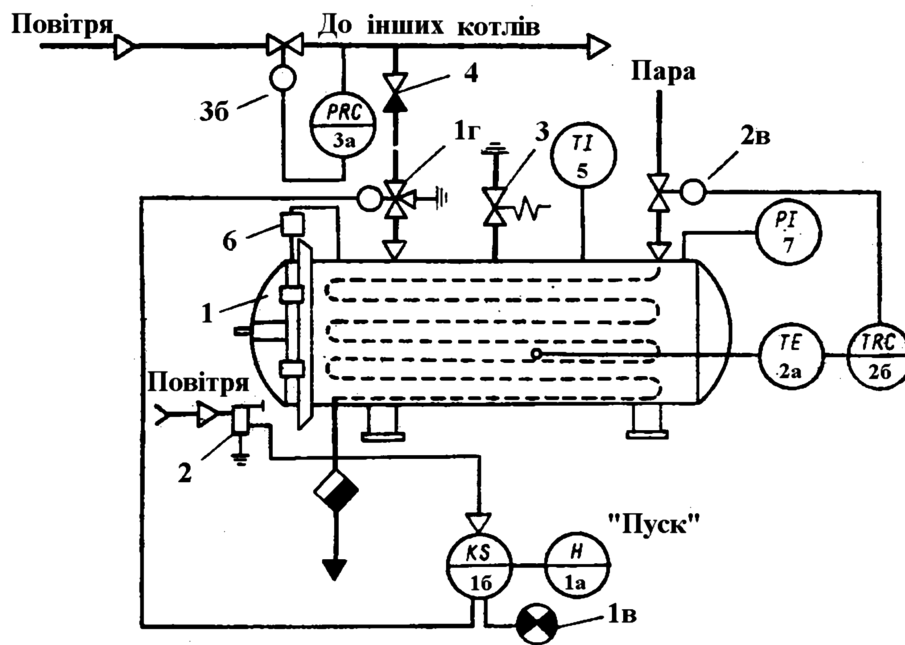


Рис. Схема автоматизації процесу вулканізації гумових виробів в котлі з обігрівом "глухою" парою:

1 - кришка; 2 - пневматичний кінцевий вимикач; 1а - кнопочний вимикач; 1б - командний прилад; 1в - сигнальна лампа "Цикл іде"; 1г - триходовий клапан; 2а - термоелектричний перетворювач; 2б - регулюючий потенціометр; 2в, 3б - мембранні виконавчі пристрої; 3а - регулятор тиску; 3 - запобіжний клапан; 4 - зворотний клапан; 5 - термометр розширення; 6 - пристрій блокування; 7 - манометр. [1, ст. 431, рис.13.12]

Варіант №17

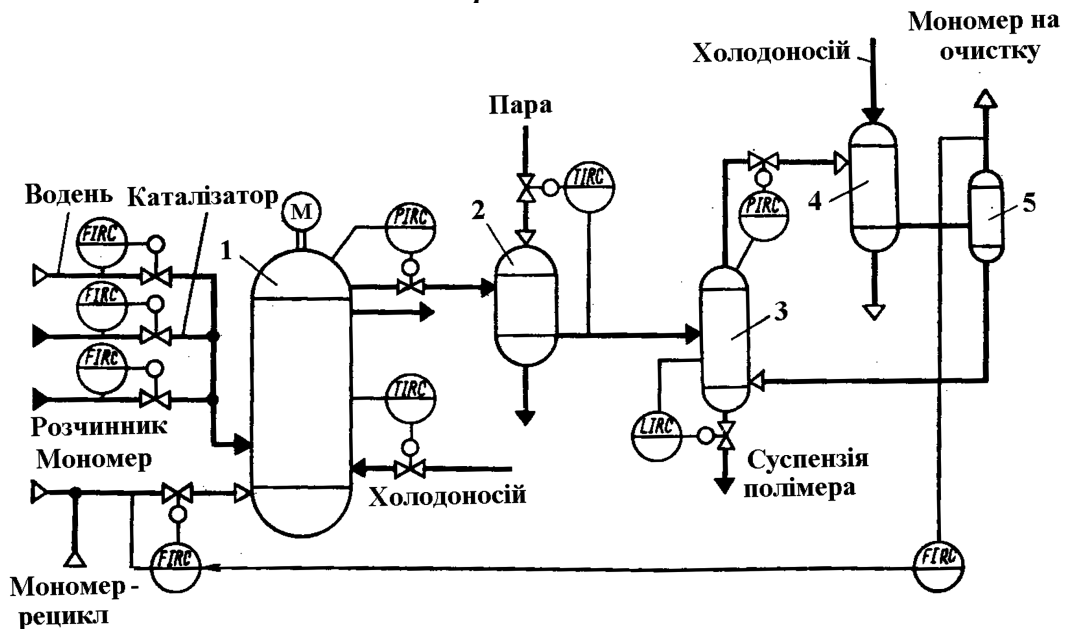


Рис. Схема регулювання процесу полімеризації пропілену у виробництві поліпропілену:

1 - реактор-полімеризатор; 2 - підігрівач; 3 - випарна камера; 4 - холодильник; 5 - сепаратор. [1, ст. 436, рис.14.2]

Варіант №18

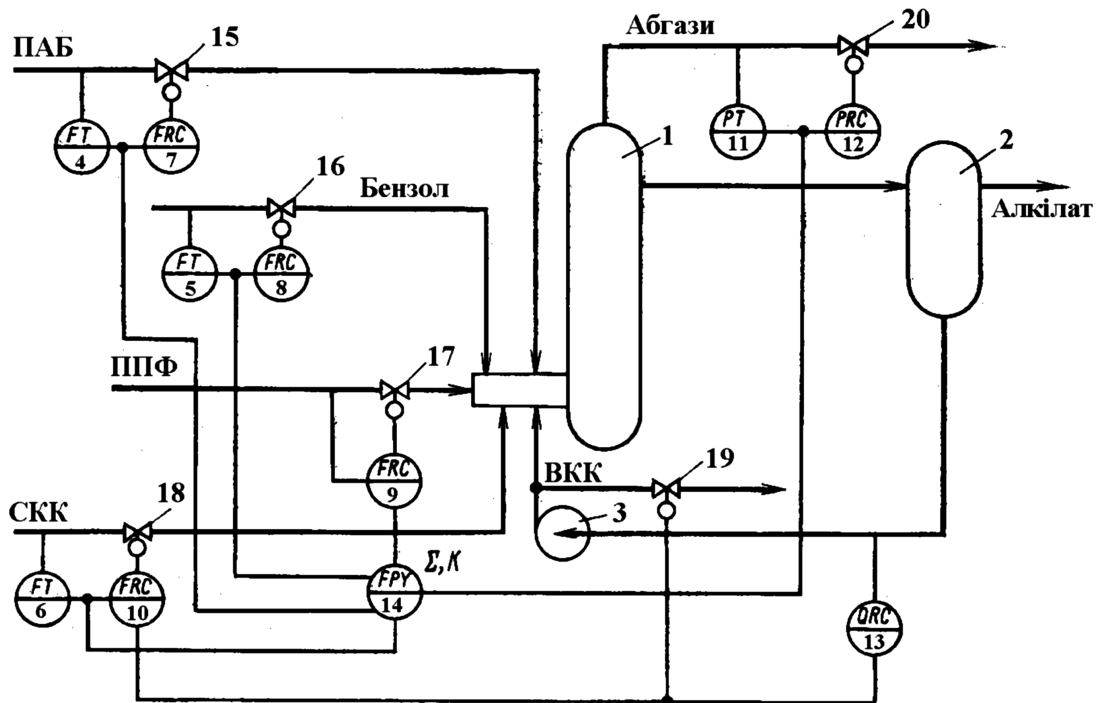


Рис. Схема автоматичного регулювання процесу алкілювання бензолу:

1 - алкілятор; 2 - відстійник; 3 - насос; 4-6 - датчики витрат; 7-10 - регулятори витрат; 11 - датчик тиску; 12 - регулятор тиску; 13 - регулятор складу каталізаторного комплексу; 14 - обчислювальний пристрій; 15-20 - регулюючі клапани. [1, ст. 450, рис.15.5]

Варіант №19

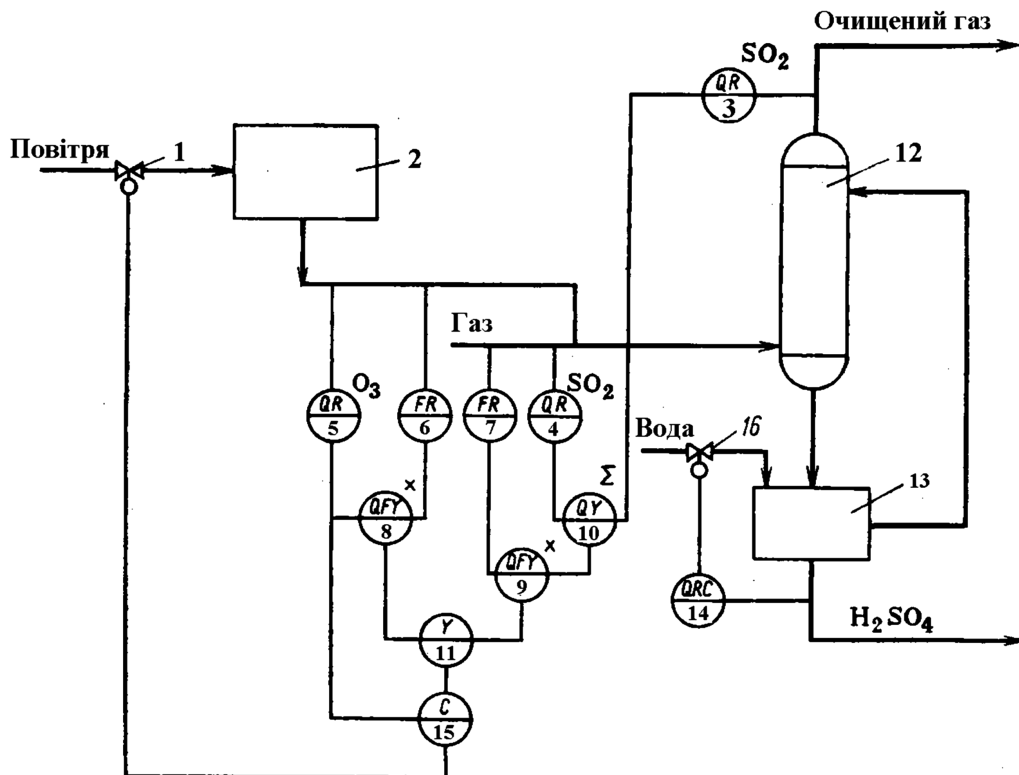


Рис. Принципова схема автоматичного регулювання озонно-каталітичного процесу газоочистки:

1, 16 - регулюючі органи; 2 - озонатор; 3, 4 - датчики концентрації SO_2 ; 5 - датчик концентрації озону; 6, 7 - датчики витрати; 8, 9 - блоки множення; 10 - алгебраїчний суматор; 11 - подільник; 12 - скруббер; 13 - циркуляційний збірник; 14 - регулятор концентрації сірчаної кислоти; 15 - регулятор показника (П). [1, ст. 465, рис.17.2]

Варіант №20

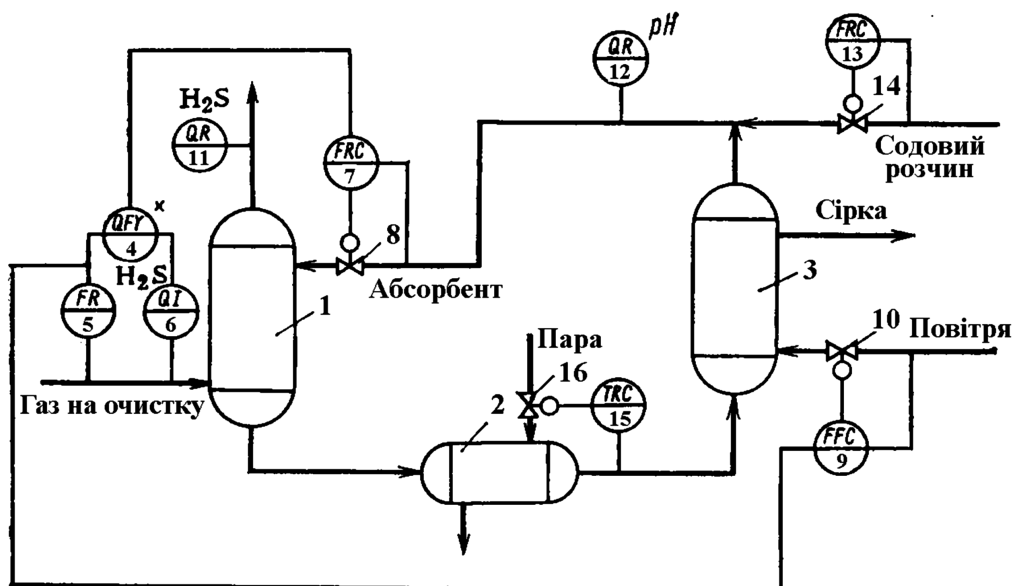


Рис. Схема автоматизації миш'яково-содової очистки газів від сірководню:

1 - абсорбер; 2 - теплообмінник; 3 - апарат окислення; 4 - блок множення; 5 - датчик витрати газу; 6, 11 - газоаналізатори сірководню; 7, 13 - регулятори витрати; 8 - регулюючий клапан; 9 - регулятор співвідношення витрат; 10, 14, 16 - регулюючий клапан; 12 - датчик рН; 15 - регулятор температури. [1, ст. 468, рис.17.4]

Варіант №21

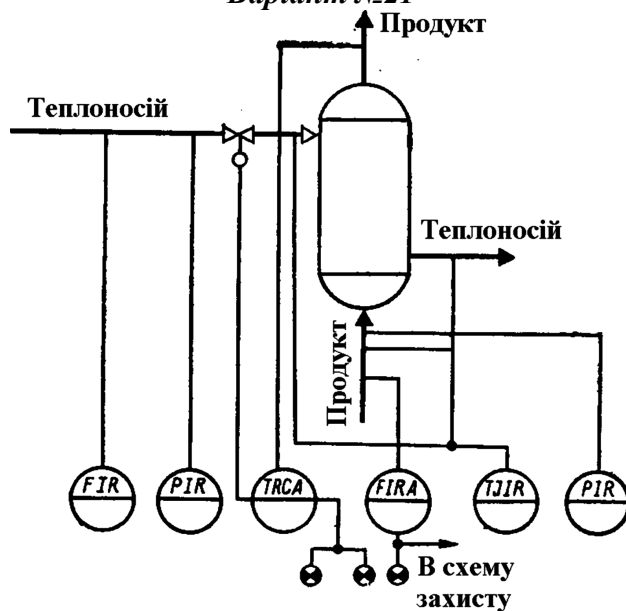


Рис. Схема автоматизації процесу нагрівання

[1, ст. 258, рис.6.1]

Варіант №22

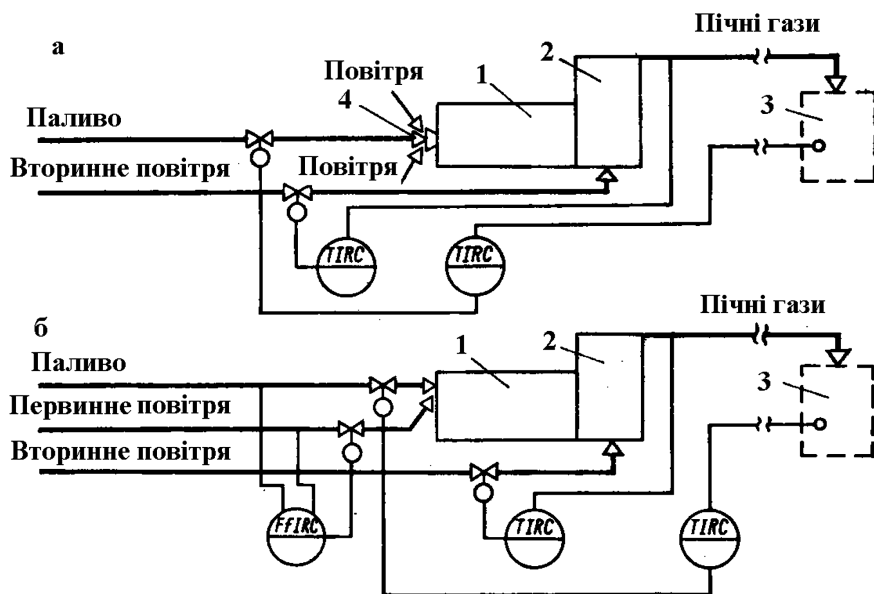


Рис. Схеми регулювання печей:

а - з інжекційним паливом; б - з примусовою подачею первинного повітря; 1 - піч; 2 - змішувальна камера; 3 - технологічний апарат; 4 - інжекційний паливник. [1, ст. 263, рис.6.6]

Варіант №23

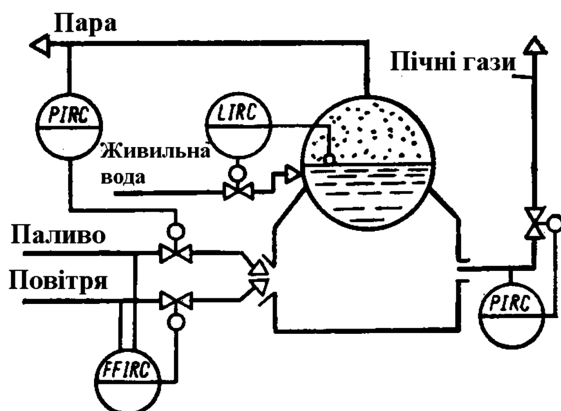


Рис. Схема регулювання роботи парокотельної установки [1, ст. 265, рис.6.7]

Варіант №24

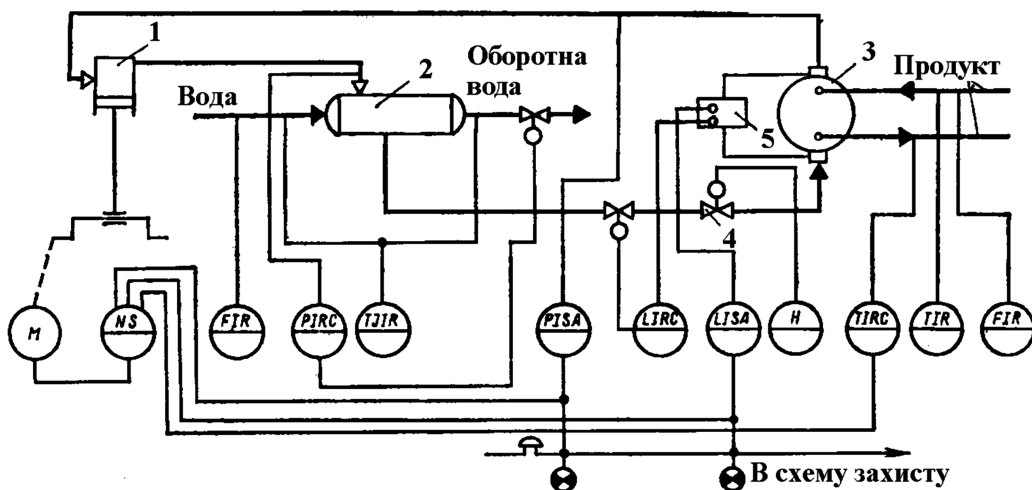


Рис. Схема автоматизації процесу штучного охолодження:

1 - компресор; 2 - конденсатор; 3 - випарник; 4 - дроселюючий елемент; 5 - виносна камера. [1, ст. 265, рис.6.8]

Варіант №25

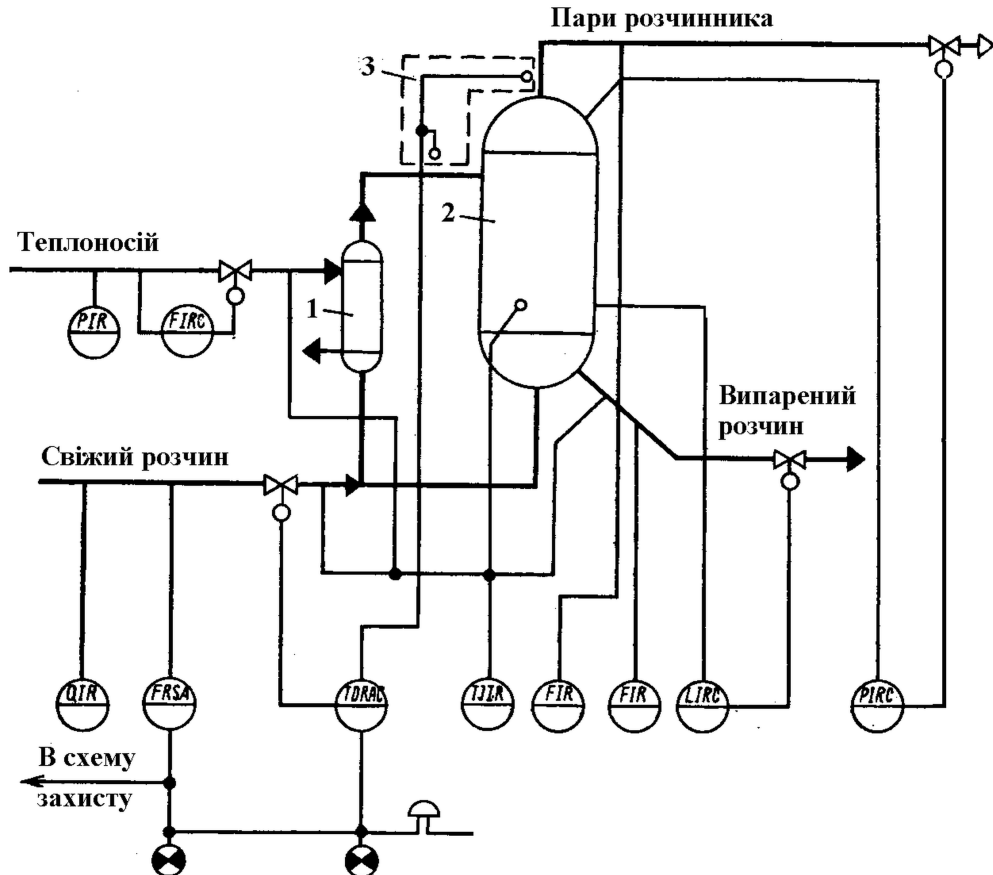


Рис. Схема автоматизації процесу випарювання:

1 - кип'ятильник; 2 - випарний апарат; 3 - пристрій для вимірювання температурної депресії. [1, ст. 268, рис.6.10]

Варіант №26

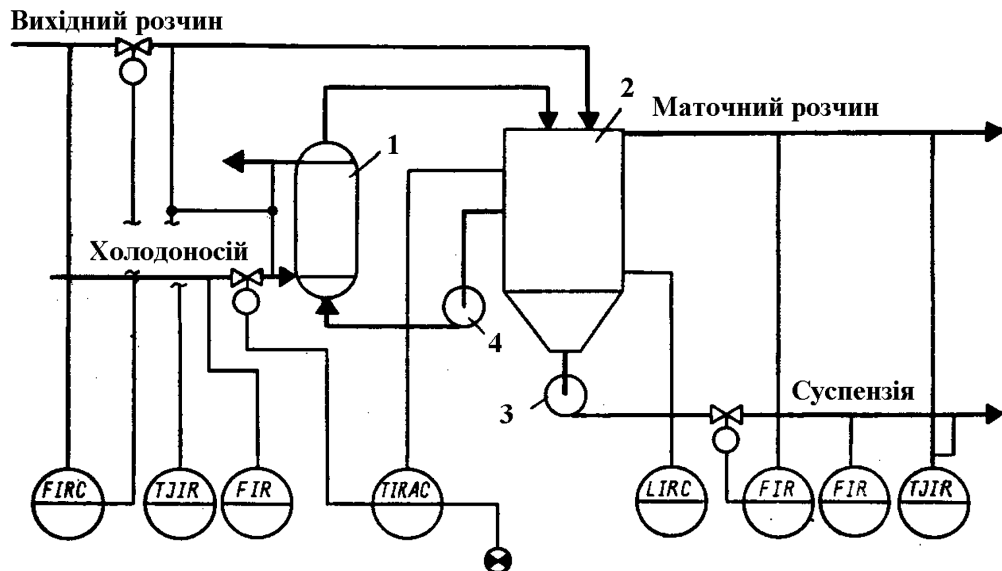


Рис. Схема автоматизації процесу кристалізації:

1 - холодильник; 2 - кристалізатор; 3 - насос для суспензії; 4 - циркуляційний насос. [1, ст. 273, рис.6.12]

Варіант №27

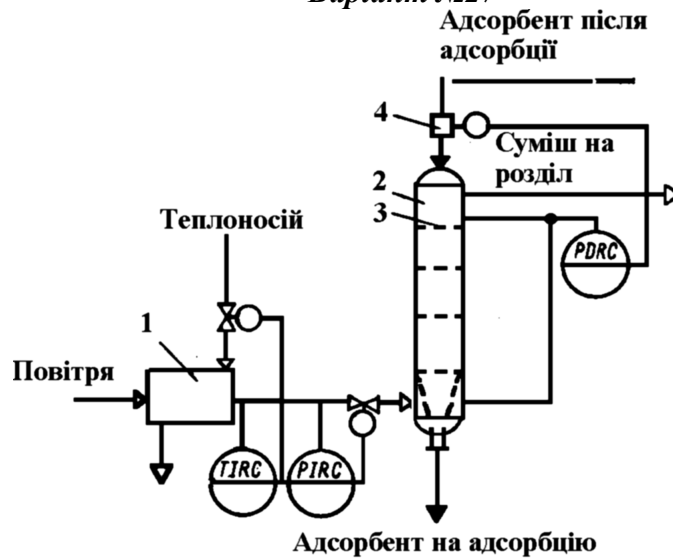


Рис. Схема регулювання процесу десорбції в киплячому шарі:

1 - калорифер; 2 - десорбційна колона; 3 - тарілки; 4 - дозатор. [1, ст. 297, рис. 7.17]

Варіант №28

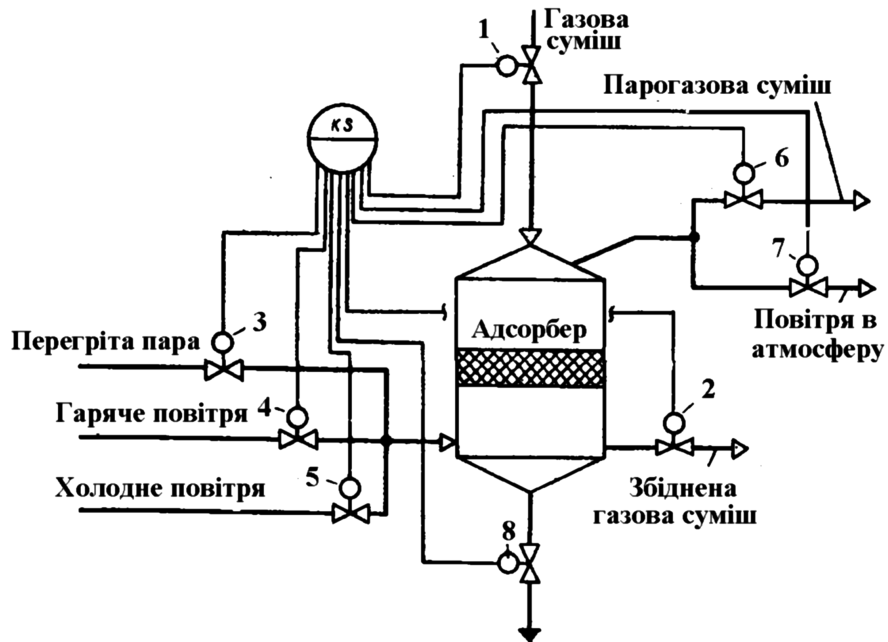


Рис. Схема регулювання адсорбера з нерухомим шаром адсорбента

[1, ст. 297, рис.7.18]

Варіант №29

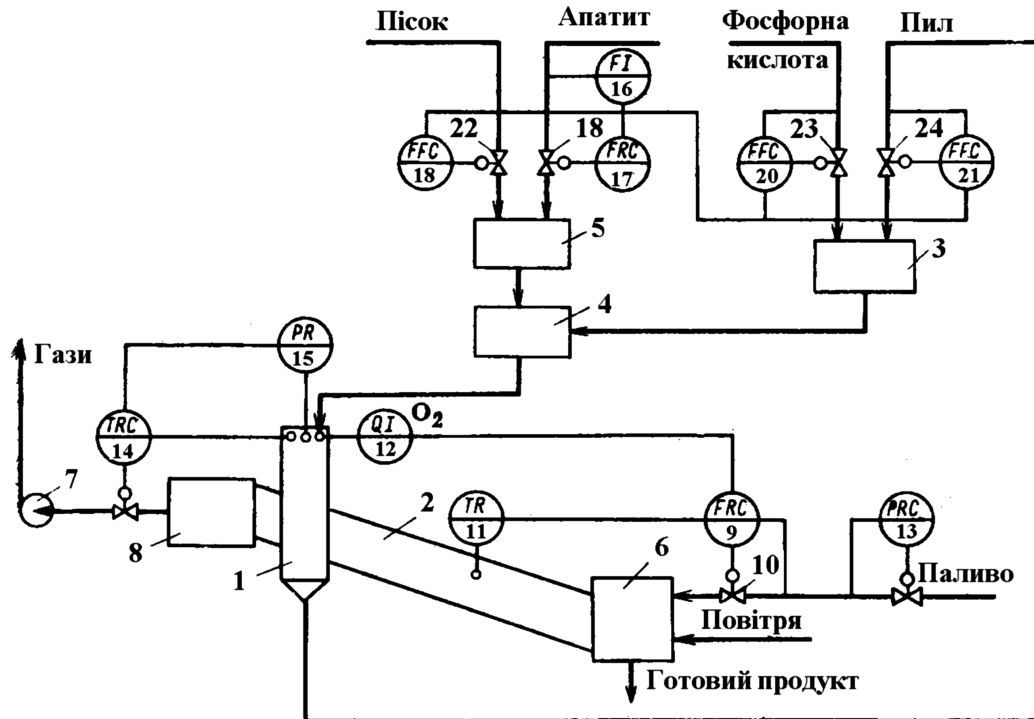


Рис. Схема автоматичної системи регулювання процесу обпалення апатитового концентрату:
1 - пілова камера; 2 - піч, що обертається; 3-5 - змішувачі; 6 - рекуператори; 7 - димосос; 8 - відділення утилізації тепла; 9, 17 - регулятори витрати; 10, 18, 22-24 - регулюючі клапани; 11 - датчик температури; 12 - датчик концентрації; 13 - регулятор тиску; 14 - регулятор температури; 15 - датчик розрідження; 16 - датчик витрати; 19-21 - регулятори співвідношення витрат. [1, ст. 352, рис.9.13]

Варіант №30

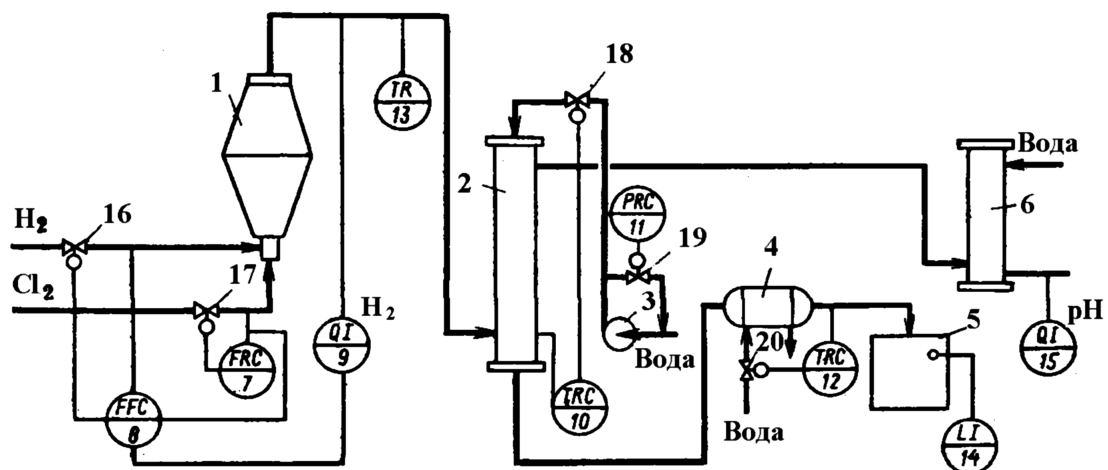


Рис. Схема автоматичного регулювання і контролю процесу отримання соляної кислоти:
1 - піч синтезу; 2 - колона абсорбції; 3 - насос; 4 - холодильник; 5 - збірник; 6 - хвостова колона; 7 - регулятор витрати; 8 - регулятор співвідношення витрат; 9 - аналізатор; 10, 12 - регулятори температури; 11 - регулятор тиску; 13 - датчик температури; 14 - датчик рівня; 15 - pH-метр; 16-20 - регулюючі клапани. [1, ст. 362, рис.9.18]

Варіант №31

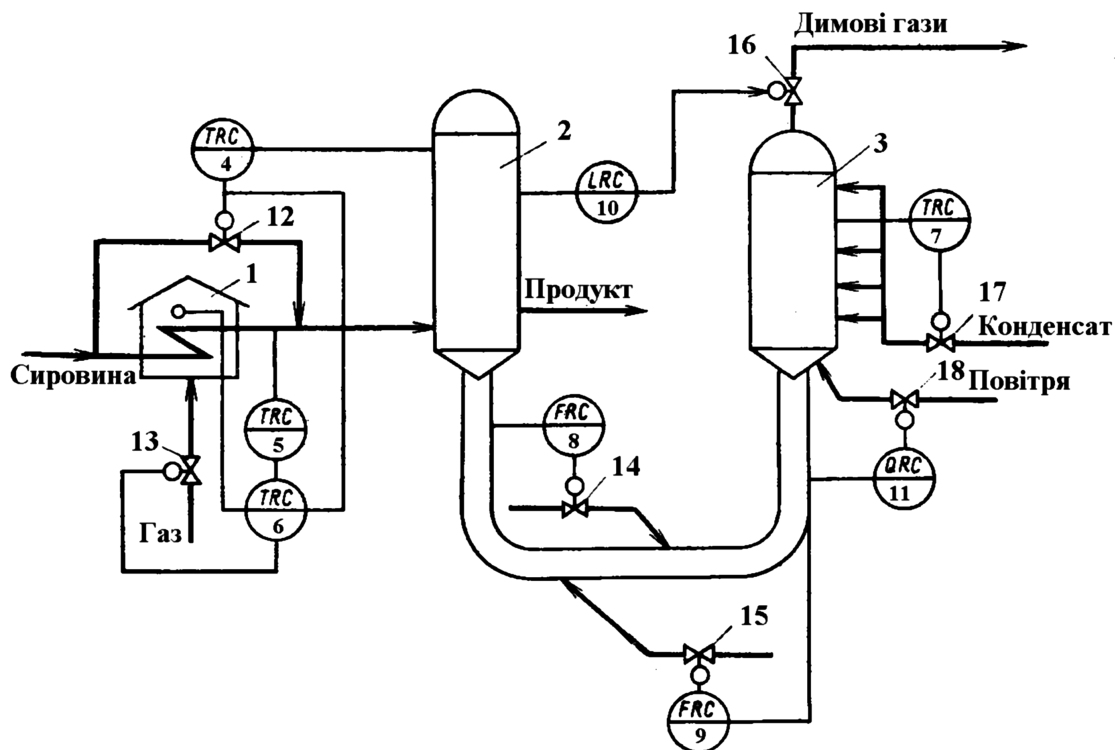


Рис. Схема автоматичного регулювання реакторно-регенераторного блока установки каталітичного крекінгу:
1 - нагрівальна піч; 2 - реактор; 3 - регенератор; 4-7 - регулятори температур; 8, 9 - регулятори витрат; 10 - регулятор рівня; 11 - регулятор закоксованості каталізатора; 12-18 - регулюючі клапани. [1, ст. 443, рис.15.2]

Варіант №32

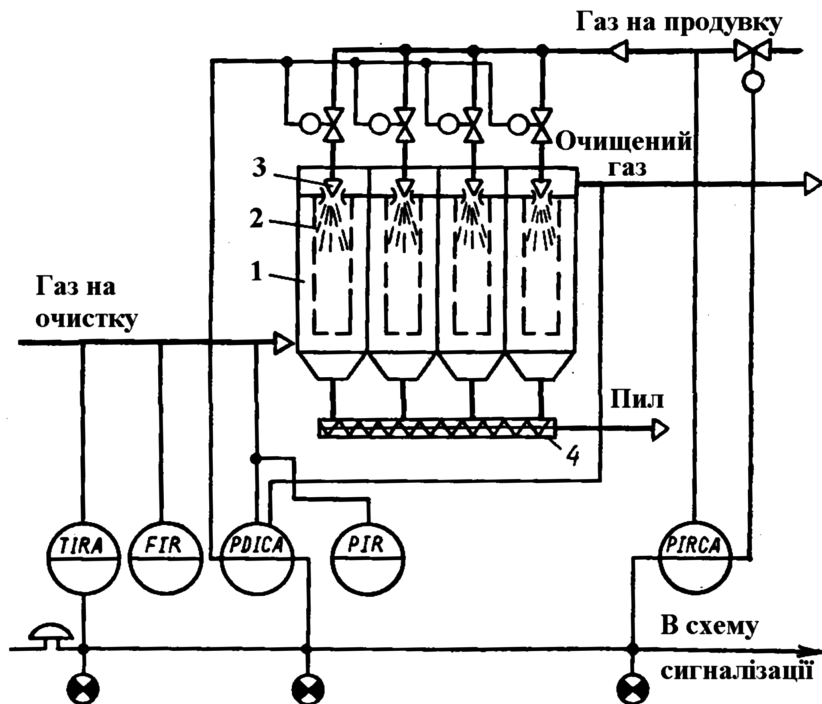


Рис. Схема автоматизації процесу фільтрування газових систем:
1 - корпус фільтра; 2 - рукави; 3 - сопла імпульсної продувки; 4 - шнек. [1, ст. 252, рис.5.13]

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. / Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344с.
2. Проектування систем автоматизації: Навчальний посібник./Трегуб В.Г.- Київ: Видавництво Ліра-К, 2016. - 344 с.
3. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник./Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. – К.: Вид-во “Ліра-К”, 2011. – 552 с.
4. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / Пушкар М.С., Проценко С.М.- Львів: Національний гірничий університет, 2013. - 268 с. ISBN 978-966-35 -423-0
5. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): Навчальний посібник/Пальчевський Б.О. -Львів:Світ, 2007. - 392с.
6. Промислові контролери. Навчальний посібник/Ельперін І. В.- К.: НУХТ, 2003.- 320 с.
7. Транспортно-нагромаджувальні і завантажувальні системи у складальному виробництві: Навчальний посібник / Пашков Е.В., Карлов А.Г.. К.:НМКВО, 1992.-520с.
8. Автоматизація неперервних технологічних процесів: Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Проць Я.І., Данилюк О.А., Лобур Т.Б. Під ред. проф. Проця Я.І. Тернопіль : ТДТУ, 2008 -240 с.
9. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів. Лабораторний практикум: Навчальний посібник / Крих Г.Б., Матіко Г.Ф. Publication: Львів : Львівська політехніка, 2017 - 156 с.
10. Автоматизація об'єктів періодичної дії: Підручник /Трегуб В. Г. : Київ : Ліра-К, 2019 - 136 с.
11. Віртуальні контрольно-вимірювальні прилади і системи: навчальний посібник/ Сиротюк В.М.; Хімка С.М.; Сиротюк С.В.: Львів : Магнолія 2006, 2024 - 128 с.
12. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами. Луцька Н.М., Ладанюк А. П., Львів, ТОВ Ліра-К. 2019, - 288 с.
13. Автоматизовані системи управління технологічними процесами / Єремєєв І.С., Кисельов В.Б. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика». 2022. – 324с
14. Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики: навчальний посібник/ Анастасенко С.М. Бугрім Л.І. Білюк І.С., Гаврилов С.О. Жигуліна В.В. Семенов М.М., Шостак О.В., Львів, «Новий Світ - 2000», 2020.- 111 с.
15. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів. Навчальний посібник. /Крих Г. Б., Матіко Г. Ф./ Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. -156 с
16. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів: навчальний посібник/Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.
17. Електромехатронні перетворювачі систем автоматики/Біляковський І.С. Львів.: Магнолія. 2024. 155 с.
18. Обладнання автоматизованого виробництва./Бочков В.М., Сілін Р.І., Львів: Львівська політехніка. 2015. 404 с.
19. Виконавчі пристрої систем автоматизації./Васильківський І.С., Фединець В.О., Юсик Я.П. Львів: Львівська політехніка, 2020. 220 с.
20. Автоматизація виробничих процесів: Навчальний посібник./Ельперін І.В. Київ: Ліра-К. 2024. 378 с.
21. Розрахунки систем контролю та керування : навчальний посібник/Манко Г.І., Тараненко Ю.К., Тітова О.В., Трішкін В.Я., Швачка О.І., Чумаков Л.Д. Дніпро: УДХТУ, 2018. 191 с.
22. Системи автоматичного керування технологічними комплексами: навчальний посібник./Сільвестров А.М., Островерхов М.Я., Шефер О.В., Ладік Н.А., Зіменков Д.К. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. 466 с.

23. Комп'ютерні мережі. Навчальний посібник. Книга 1 / Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
24. Комп'ютерні мережі. Навчальний посібник. Книга 2 / Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
25. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [На заміну ДСТУ 3321-96; чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 51 с.
26. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Автоматизація технологічних процесів. зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2010. 10 с. (Інформація та документація).
27. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. структура та правила оформлення. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 51 с. (Інформація та документація).
28. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ, 2005. 26 с. (Інформація та документація).
29. ДСТУ 8302:2015. «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання». [Чинний від 2016-03-04]. Вид. офіц. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
30. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. [Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 92 с.
31. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. [На заміну ДСТУ 2391-94; чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 35 с.