

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Науково-методичний центр вищої освіти
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

О.Є. Федорович, О.В. Прохоров, К.В. Головань

**СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ
І УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ
ВИРОБНИЦТВАМИ**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів

Харків "ХАІ" 2006

УДК 65.012.123

Системи обробки інформації і управління розподіленими виробництвами / О.Є. Федорович, О.В. Прохоров, К.В. Головань. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2006. – 236 с.

ISBN 966-662-141-X

Проаналізовано ряд проблем у галузі створення комплексних інтегрованих систем промислової автоматизації.

На основі аналізу сучасних тенденцій розвитку методів, технічних і програмних засобів і технологій розробки автоматизованих систем управління на виробництві викладено комплексний підхід до вирішення задач створення розподілених АСУ ТП, вибору технічних, програмних та інструментальних засобів для реалізації необхідних алгоритмів контролю і управління.

Головну увагу приділено автоматизації задач розробки систем управління, збирання, обробки, передачі, збереження і відображення інформації на основі SCADA-систем. Розглянуто особливості та вимоги до розробки проекту розподілених систем управління, функції та структуру SCADA-системи, основи створення людино-машинного інтерфейсу. Дано опис апаратно-технічних засобів автоматизації управління виробництвом польового (датчики і виконавчі пристрої) і контрольного рівнів, розглянуто сучасні промислові мережі й технології зв'язку. Висвітлено принципи і характеристики операційних систем реального часу. Описано сучасні інформаційні технології інтеграції між рівнями систем промислової автоматизації.

Для студентів і аспірантів, що вивчають методи і технології створення систем промислової автоматизації, а також для викладачів, фахівців науково-дослідних і промислових організацій.

Іл. 60. Табл. 13. Бібліогр.: 92 назви

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В.М. Томашевський,
д-р техн. наук, проф. С.О. Дмитрієв,
д-р техн. наук, проф. В.М. Левикін

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(лист № 14/18.2-2952 від 21.12.05)

ISBN 966-662-141-X

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", 2006 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	6
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	8
Розділ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ	9
1.1. Поняття промислової автоматизації. Цілі та задачі	9
1.2. Об'єкти автоматизації й технології, що автоматизуються	11
1.3. Сучасні тенденції в промисловій автоматизації.	24
1.4. Проект промислової автоматизації.....	28
Контрольні запитання і вправи.....	32
Розділ 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ АСУ ТП	34
2.1. Рівні АСУ підприємства	34
2.2. Основні вимоги до систем промислової автоматизації.....	36
2.3. Основні поняття розподіленої АСУ ТП.....	38
2.4. Функції розподіленої АСУ ТП	40
2.5. Структурна схема розподіленої АСУ ТП	42
Контрольні запитання і вправи.....	47
Розділ 3. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТП ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SCADA-СИСТЕМ	49
3.1. Визначення терміна SCADA.....	49
3.2. Задачі, що розв'язуються SCADA-системою. Основні вимоги. ..	50
3.3. Загальна структура SCADA	51
3.4. Функціональна структура SCADA.	54
3.5. Види інформації. Джерела даних.	60
3.6. Склад і загальна характеристика апаратно-технічних і програмних засобів автоматизації.	63
Контрольні запитання і вправи.....	74
Розділ 4. АПАРАТНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОЛЬОВОГО РІВНЯ	75
4.1. Польовий рівень. Загальна класифікація і основні характеристики датчиків.....	75
4.1.1. Датчики положення та переміщення.....	77
4.1.2. Силомоментні датчики.	82
4.1.3. Датчики температури й рівня.....	83
4.1.4. Локаційні датчики і системи технічного зору.	84
4.2. Інтелектуальні датчики.	86
4.3. Виконавчі механізми.	88
Контрольні запитання і вправи.....	90
Розділ 5. ПРОГРАМУВАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ	91
5.1. Класи контролерних засобів.	91
5.2. Програмувальні логічні контролери PLC.....	95
5.2.1. Архітектура контролера. Принцип роботи	95
5.2.2. Резервовані архітектури контролерів.	99
5.2.3. Загальна характеристика стандарту IEC 61131-3 з програмування контролерів.	101
5.2.4. Огляд мов програмування контролерів.	103

5.3. Промислові комп'ютери або РС-контролери.....	113
Контрольні запитання і вправи.....	119
Розділ 6. ПРОМИСЛОВІ МЕРЕЖІ Й ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ'ЯЗКУ	121
6.1. Сучасні промислові мережі й інтерфейси. Загальна характеристика.....	121
6.2. Застосовувані мережні топології, фізичні інтерфейси і середовища передачі даних.	124
6.3. Загальна характеристика методів доступу до шини.	127
6.4. Класи промислових мереж.....	129
6.5. Протокол MODBUS.	133
6.6. Шина PROFIBUS. Загальна характеристика, типи й реалізації.	135
6.7. Шина CANBUS.	137
6.8. Протокол HART.	139
6.9. Технології безпроводного зв'язку в промисловій автоматизації. Використання стандартів GSM, SMS, GPRS.	140
Контрольні запитання і вправи.....	150
Розділ 7. СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ	151
7.1. Системи реального часу.	151
7.1.1. Класифікація і основні особливості СРЧ.	152
7.1.2. Операційні системи реального часу. Архітектура ОСРЧ....	153
7.1.3. Основні особливості планування задач в ОСРЧ.	156
7.1.4. Механізми синхронізації в ОСРЧ.	158
7.1.5. Загальна порівняльна характеристика сучасних ОСРЧ.	162
7.2. Основні інформаційні технології інтеграції в АСУ ТП.	169
7.2.1. Компонентні об'єктні моделі COM/DCOM.	170
7.2.2. Динамічний обмін даними DDE.	171
7.2.3. Технологія ActiveX.....	172
7.2.4. Технологія OPC.	174
7.2.5. Web-технології.....	178
Контрольні запитання і вправи.....	181
Розділ 8. РОЗРОБКА АСУ ТП ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SCADA-СИСТЕМ	182
8.1. Сучасні SCADA-системи та їхні характеристики.	182
8.2. Етапи розробки проекту АСУ ТП із використанням SCADA-систем.	190
8.3. Приклад розробки структури АСУ ТП.....	194
8.4. Основи і ергономіка створення людино-машинного інтерфейсу HMI.	201
8.5. Комп'ютерна когнітивна графіка в HMI.	207
Контрольні запитання і вправи.....	209
Розділ 9. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ІНТЕГРАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ АСУ ПІДПРИЄМСТВА	211
9.1. Інтеграція багаторівневих систем автоматизації.....	211

9.2. MES і EAM системи для вирішення задач управління виробництвом.....	216
9.3. Інтегральні показники ефективності виробництва.	224
Контрольні запитання і вправи	226
Бібліографічний список	227

ПЕРЕДМОВА

В даний час практично всі експлуатовані в промисловості виробничі системи оснащені засобами автоматизації: від локальних систем контролю й стабілізації параметрів технологічних процесів до могутніх автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП), для побудови яких використовують сучасні технології за допомогою комп'ютерних засобів автоматизації й інформаційних технологій різного рівня.

Прогрес у галузі інформаційних технологій зумовив розвиток основних складових частин таких систем. Сучасні видалені термінали, які будують на основі мікропроцесорної техніки, працюють під управлінням операційних систем реального часу, за необхідності поєднуються в мережу, безпосередньо або через мережу взаємодіють з інтелектуальними електронними датчиками об'єкта управління і комп'ютерами верхнього рівня.

Однією з важливих проблем, що вирішують у процесі створення сучасних систем промислової автоматизації, є вибір технічних, програмних та інструментальних засобів для реалізації необхідних алгоритмів контролю і управління. Успіх програмно-технічних комплексів різної архітектури на ринку засобів промислової автоматизації, з одного боку, дає широкі можливості для створення високоякісних АСУ ТП, з іншого боку, вимагає обґрунтованого і ретельного підходу до прийняття технічних рішень щодо складу апаратури та програмного забезпечення.

Для промислових систем існує два конкуруючі напрямки – промислові комп'ютери та програмувальні логічні контролери. Вибір каналів зв'язку для сучасних диспетчерських систем залежить від архітектури системи, відстані між диспетчерським пунктом і видаленим терміналом, кількості контрольованих точок, вимог по пропускній здатності й надійності каналу, наявності доступних комерційних ліній зв'язку.

Робота комп'ютерної техніки, що функціонує в галузі автоматизації, базується на використанні досить широкого спектра операційних систем: від стандартної MS DOS та Windows NT (2000) фірми Microsoft до Unix-подібних систем і систем реального часу.

Для підвищення якості й термінів проектування спеціального програмного забезпечення використовують спеціалізовані програмні засоби. Такі комплексні програми для іншого, більш пріоритетного, напрямку створення систем називаються системами диспетчерського управління і збору даних, або SCADA-системами.

В *першому розділі* розглянуті такі питання: поняття промислової автоматизації, основні цілі і задачі промислової автоматизації, виробничий процес як об'єкт управління, особливості автоматизованого управління технологічними процесами. Розглянуто сучасні тенденції в галузі промислової автоматизації і основних учасників проекту.

У *другому розділі* описано основи побудови автоматизованих систем. Дано класифікацію систем промислової автоматизації, описано рівні АСУ. Наведено основні вимоги до систем управління на виробництві. Розглянуто структуру й функції розподіленої АСУ ТП.

Третій розділ присвячений питанням сучасних технологій проектування АСУ ТП із використанням SCADA-систем. Розглянуто задачі, функції та можливості, структуру SCADA-системи. Описано види інформації й типи параметрів. Дано огляд продукції ринку промислової автоматизації найбільш відомих виробників апаратно-технічних і програмних засобів.

У *четвертому розділі* описано апаратно-технічні засоби автоматизації управління виробництвом польового рівня. Наведено спектр використовуваних в автоматизації датчиків і виконавчих пристроїв. Розглянуто принципи побудови інтелектуальних пристроїв промислової автоматизації.

В *п'ятому розділі* описано рівень контролерних засобів. Розглянуто всі класи контролерних засобів від програмувальних логічних контролерів до розподілених систем управління. Описано стандарти програмування контролерів.

В *шостому розділі* розглянуто сучасні промислові мережі й технології зв'язку. Дано короткий опис широко розповсюджених шин і протоколів PROFIBUS, CANBUS, MODBUS, HART. Описано можливості й принципи організації безпроводних промислових мереж на базі сучасних стандартів зв'язку GSM, GPRS, WiFi, Bluetooth.

Сьома глава присвячена програмним засобам промислових систем автоматизації. Розглянуто принципи і характеристики операційних систем реального часу. Описано сучасні інформаційні технології інтеграції в АСУ: COM/DCOM, ActiveX, DDE, OPC. Дано опис можливостей використання Web-технологій у системах управління.

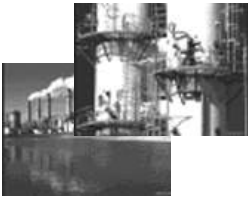
У *восьмому розділі* розглянуто основи розробки розподілених АСУ ТП із використанням інструментарію SCADA-систем. Дано огляд сучасних SCADA-систем, описано основні етапи розробки проекту АСУ ТП у SCADA-системі, принципи її роботи. Розглянуто основи побудови, ергономіки і уніфікації людино-машинних інтерфейсів АСУ ТП у SCADA-системі.

Дев'ята глава присвячена актуальним питанням інтеграції АСУП і АСУ ТП. Розглянуто принципи і технології обміну даними між рівнями систем промислової автоматизації, технології MES і EAM систем, що складають інтеграційний шар між рівнем SCADA і ERP/MRP і реалізують задачі управління виробництвом.



СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АРМ	- автоматизоване робоче місце,
АСУ ТП	- автоматизована система управління технологічним процесом,
АСУ	- автоматизована система управління,
АСУП	- автоматизована система управління підприємством,
АЦП	- аналого-цифровий перетворювач,
БДРЧ	- база даних реального часу,
ВМ	- виконавчий механізм,
ДБЖ	- джерело безперебійного живлення,
ДП	- диспетчерський пункт,
ІАСУ	- інтегрована автоматизована система управління,
КТЗ	- комплекс технічних засобів,
НДІ	- нормативно-довідкова інформація,
ОЗП	- оперативний запам'ятовуючий пристрій,
ОС	- операційна система,
ОСРЧ	- операційна система реального часу,
ОУ	- об'єкт управління,
ПЕ	- перетворюючий елемент,
ПЗ	- програмне забезпечення,
ПЗО	- пристрій зв'язку з об'єктом,
ПІ	- перетворювач інформації,
ПЛК	- програмувальний логічний контролер,
ПТК	- програмно-технічний комплекс,
РТК	- розподілений технологічний комплекс,
РЧ	- реальний час,
САР	- система автоматичного регулювання,
САУ	- система автоматичного управління,
СК	- система контролю,
СКБД	- система керування базою даних,
СРЧ	- система реального часу,
СТЗ	- система технічного зору,
СТП	- стандарт підприємства,
СУ	- система управління,
ТП	- технологічний процес,
ПУ	- пристрій управління,
ЦАП	- цифро-аналоговий перетворювач,
ЦДП	- центральний диспетчерський пункт,
ЧЕ	- чутливий елемент.



РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Поняття промислової автоматизації. Цілі та задачі

Безперервну в часі картину розвитку автоматизації виробництва можна розділити на чотири етапи, зумовлені появою якісно нових наукових розробок і технічних засобів.

Перший етап – впровадження *систем автоматичного регулювання* (САР). Об'єктами управління на цьому етапі є окремі параметри, установки, агрегати. Вирішення задач стабілізації, програмного управління, спостереження переходить від людини до САР. У оператора з'являються можливості розрахунку завдань і настроювання параметрів регуляторів.

Другий етап – автоматизація технологічних процесів. Об'єктом управління стає розосереджена у просторі система, за допомогою *систем автоматичного управління* (САУ) реалізуються все більш складні закони управління, вирішуються задачі оптимального і адаптивного управління, проводиться ідентифікація об'єкта і станів системи. Характерною рисою цього етапу є впровадження систем телемеханіки в управління технологічними процесами (ТП). Людина все більше віддаляється від об'єкта управління, між об'єктом і диспетчером вибудовується цілий ряд вимірювальних систем, виконавчих механізмів, засобів телемеханіки, мнемосхем та інших засобів відображення інформації.

Третій етап – *автоматизовані системи управління технологічними процесами* (АСУ ТП) – характеризується широким впровадженням в управління технологічними процесами обчислювальної техніки. Спочатку це застосування мікропроцесорної техніки, використання на окремих фазах управління обчислювальних систем; потім – активний розвиток людино-машинних систем управління, методів і моделей дослідження операцій і, нарешті, диспетчерське управління на основі використання автоматизованих інформаційних систем збору даних і сучасних обчислювальних комплексів.

Четвертий етап – інтеграція АСУ ТП і автоматизованих систем управління підприємством (АСУП). У цьому випадку з'являється інтеграційний рівень управління (виробничий), що вирішує задачі оперативного управління процесом виробництва. Відповідна автоматизована система забезпечує ефективне використання ресурсів (сировина, енергоносії, виробничі засоби, персонал) і оптимальне виконання планових завдань (змінне, добове, декадне, місячне) на рівнях цеху, ділянки, верстата.

У ході розвитку автоматизації виробництва постійно змінюється характер об'єктів і методів управління, засобів автоматизації та інших компонентів, що складають зміст сучасної системи управління, функції людини (оператора/диспетчера), покликаною забезпечити регламентне функціонування технологічного процесу. Розширюється коло задач, розв'язуваних на рівні управління. Обмежений прямою необхідністю управління технологічним процесом набір задач поповнюється якісно новими задачами, що раніше мали допоміжний характер або стосувалися іншого рівня управління.

Диспетчер у багаторівневій автоматизованій системі управління технологічними процесами одержує інформацію з монітора, панелі оператора або з електронної системи відображення інформації і впливає на об'єкти, що знаходяться від нього на значній відстані за допомогою телекомунікаційних систем, контролерів, інтелектуальних виконавчих механізмів.

Основою або необхідною умовою ефективної реалізації диспетчерського управління, що має яскраво виражений динамічний і розподілений характер, стає робота з інформацією, тобто процеси збору, передачі, обробки, відображення та подання інформації. Від диспетчера вже потрібно не тільки професійне знання технологічного процесу, основ управління їм, але і досвід роботи в інформаційних системах, уміння приймати рішення (у діалозі з ЕОМ) у позаштатних та аварійних ситуаціях і багато чого іншого. Диспетчер стає головною діючою особою в управлінні технологічним процесом.

Історично засоби автоматизації підрозділяють на чотири сегменти:

- автоматизація виробництва;
- автоматизація технологічних процесів;
- автоматизація верстатів;
- автоматизація будинків.

Перші три сегменти найчастіше поєднуються одним поняттям "промислова автоматизація". Однак сьогодні спостерігається технологічна конвергенція цих трьох сегментів автоматизації. Це пояснюється вимогами, що виникають на ринку.

Промислова автоматизація – це ефективний і гнучкий інструмент для управління різними виробничими процесами на підприємстві.

Промислову автоматизацію використовують для вирішення таких задач:

- ◆ реалізація технологічного процесу за енерго- та ресурсозберігаючими алгоритмами за допомогою раціональної організації технологічних режимів і оптимального завантаження технологічного устаткування;
- ◆ підвищення оперативності й якості управління технологічними про-

цесами;

- ◆ підвищення безпеки виробничих процесів;
- ◆ підвищення рівня контролю технічних систем і об'єктів, забезпечення їхнього функціонування без постійної присутності чергового персоналу;
- ◆ скорочення витрат часу персоналу на виявлення і локалізацію несправностей і аварій у системі;
- ◆ економія трудових ресурсів, полегшення умов праці обслуговуючого персоналу;
- ◆ збір (із прив'язкою до реального часу), обробка і збереження інформації про технічний стан і технологічні параметри системи об'єктів;
- ◆ ведення баз даних, що забезпечують інформаційну підтримку оперативного диспетчерського персоналу;
- ◆ надання диспетчерському й інженерно-технічному персоналу поточної і статистичної інформації про стан технологічних процесів і устаткування.

Сучасна АСУ ТП являє собою багаторівневу людино-машинну систему управління. Створення АСУ складними технологічними процесами здійснюється з використанням автоматизованих інформаційних систем збору даних і обчислювальних комплексів, що постійно удосконалюються в міру еволюції технічних засобів і програмного забезпечення.

У розвитку промислових систем автоматизації в основному спостерігалися загальні тенденції комп'ютерної індустрії, однак можна вказати кілька принципових особливостей, що вимагають спеціалізованих рішень:

- ◆ промислові системи функціонують у важких для електронної техніки умовах зовнішнього середовища, тому в порівнянні зі звичайними комп'ютерами вони повинні мати підвищену термо-, вібро-, ударостійкість і т.д.;
- ◆ потрібно підключати набагато більш широку номенклатуру зовнішніх пристроїв;
- ◆ час реакції системи на зміни параметрів об'єкта управління визначається зовнішніми реальними часовими інтервалами – такі системи називаються *системами реального часу*. Для особливо відповідальних систем, наприклад при управлінні літальними апаратами, реакція має бути практично миттєвою;
- ◆ підвищені вимоги до надійності як апаратної, так і програмної частини.

1.2. Об'єкти автоматизації й технології, що автоматизуються

Високий динамізм виробничих процесів, зростаючі вимоги до підвищення його ефективності привели до необхідності створення

принципово нової або корінного удосконалення сформованої системи управління на підприємстві.

Для сучасного етапу розвитку виробництва характерно:

- ◆ **розширення функцій і задач управління, ускладнення об'єктів і законів управління.** Вирішення цих задач пов'язано з переходом від управління окремими об'єктами до управління технологічними процесами, від управління окремими ділянками виробництва до управління підприємствами і галузями виробництва, тобто перехід до складних багатоцільових систем управління;
- ◆ **невизначеність властивостей складного об'єкта управління або процесу.** Це обумовлено ускладненням систем управління, впливом зовнішнього середовища, взаємодією окремих підсистем управління, ускладненням цілей управління, критеріїв якості й ін.;
- ◆ **широке застосування засобів обчислювальної техніки та інформаційних технологій.** Для реалізації алгоритмів і оцінки якості управління, створення систем управління з ЕОМ, багатопроцесорних систем управління, реалізації людино-машинного інтерфейсу, підвищення ефективності проектування та дослідження систем управління і ефективності виробничого процесу.

Виробничий процес на будь-якому підприємстві може складатися з *технологічних операцій безперервних* (характерних для хімічних виробництв і деяких процесів мікроелектроніки) і **дискретних** (частіше розповсюджених у машинобудуванні, приладобудуванні й ін.).

Однак при всьому різноманітті технологічних процесів, що зустрічаються в машинобудуванні, більшість із них можна віднести в першому наближенні до категорії безперервних на відрізок часу "контроль – управління". Так, технологічний процес механічної обробки на верстаті є дискретним. Разом із тим якщо розглядати окрему операцію (наприклад, фрезерування), то на інтервалі часу фрезерування (одного робочого ходу) і управління параметрами сил режимів різання та інших процес можна розглядати як безперервний і управління здійснювати в контурі автоматичного управління або регулювання. Той чи інший тип технологічного процесу визначає спосіб управління як основними, так і допоміжними операціями і процесами об'єкта управління, можливу повноту автоматизації технологічного процесу.

Використання автоматизованих систем залежить від складності виробництва, тобто від числа виробничих елементів, числа зв'язків між ними і зовнішнім середовищем. Складність виробництва визначається чисельністю персоналу, числом найменувань сировини, матеріалів, готової продукції, устаткування, числом технологічних операцій.

Розподіл виробничого процесу на фази дозволяє розробляти систему управління для фаз виробництва, тому що кожна фаза має свої особливості незалежно від конкретного виду виготовленої продукції, локалізована за місцем і часом виконання і є закінченою частиною

виробничого процесу. Конкретний вид виготовленої продукції визначає склад технологічних процесів різних типів (дискретний, безперервний та ін.) для кожної фази виробництва, що впливає на вибір тієї чи іншої схеми системи управління з урахуванням досягнутого рівня автоматизації виробництва.

Структуру виробничого процесу підприємства можна подати у вигляді сукупності типових задач управління незалежно від типу й фази виробництва.

Перша група задач пов'язана з управлінням процесами, в основі яких лежать зміни фізико-хімічних властивостей або геометричних розмірів виробів, матеріалів або сировини, контроль за станом інструмента, що ріже, і т. ін. Характерною рисою цієї групи задач є необхідність вирішення їх у реальному масштабі часу. Сюди, як правило, входять механічний, термічний та інші види обробки, гальванопокриття і т.п. У даному випадку маємо справу з керованим технологічним процесом.

Керований технологічний процес – процес, для якого визначені основні вхідні (керуючі, керовані і некеровані) впливи і вихідні змінні процесу, які необхідно контролювати в реальному часі, установлені залежності між вхідними впливами і вихідними змінними (математичні моделі), розроблені методи їхнього автоматичного виміру і спрямованої зміни. У більшості технологічних процесів доводиться зіштовхуватися з необхідністю вимірювання таких величин, як температура, тиск, сила, час, сила електричного струму, напруга й ін., і управління ними.

Розглядаючи склад технологічних процесів фази обробки, можна відзначити перевагу процесів, управління якими пов'язано з необхідністю регулювання і підтримки фізичних параметрів процесу відповідно до заданих вимог за допомогою локальних контурів автоматичного управління або програмного управління. Час реакції системи – *секунди, частки секунди*.

Друга група задач пов'язана з управлінням технологічним устаткуванням, що забезпечує проходження процесу в необхідному режимі. Керований технологічний процес не може проходити поза і незалежно від деякої технічної системи, що забезпечує умови проходження процесу і способи впливу на нього. У цьому сенсі власне процес і технічні засоби, що забезпечують його проходження, розглядаються спільно. Однак при вирішенні задач управління в ряді випадків зручніше розділяти загальну задачу на складові частини і для кожної підзадачі вибирати свій спосіб вирішення. Звичайне управління процесом здійснюється подачею на органи управління технологічним устаткуванням команд у відповідні моменти часу. Устаткування може працювати в автоматичному режимі, формуючи необхідні впливи на процес за жорсткою програмою або з можливістю зміни програми (для програмно-керованого устаткування з ЧПУ), що дозволяє швидко і легко

перевести агрегат на інший необхідний режим роботи з класу передбачених.

Пряме програмне управління за розімкнутою схемою в ряді випадків не оптимальне внаслідок труднощів пророкування реальних умов проходження процесу, обліку випадкових збурень (розкид властивостей матеріалів, зношування інструмента і т.п.). Для підвищення якості управління в систему вводять *зворотний зв'язок*, що дозволяє одержати інформацію про виконання команд управління, і систему вимірів реальних умов проходження процесу для забезпечення адаптивного управління технологічними процесами. Час реакції – *секунди*.

Третій клас задач включає в себе питання автоматизації процесів управління технологічним устаткуванням у ході виконання їхніх виробничих завдань, і їх реалізують за допомогою допоміжного устаткування. Основне коло питань обслуговування зводиться до вирішення задач завантаження і розвантаження устаткування, зміни деталей та інструмента. Технічна реалізація пристроїв обслуговування досить велика – від найпростіших роликівих напрямних до складних автоматичних пристроїв, керованих ЕОМ. Вони можуть бути складовою частиною технологічного устаткування або їх постачають самостійно для роботи в загальній технологічній системі. Час реакції – *до десятків секунд*.

До четвертої групи задач відносять автоматизацію транспортних операцій. Автоматизація транспортних робіт здійснюється на базі спеціального класу транспортних роботів і маніпуляторів. За допомогою цих пристроїв і відповідних систем управління організується два матеріальних потоки: потік заготовок (деталей) і інструментів. Транспортними системами може керувати або автономна система програмного управління, або підсистема оперативного управління, що входить у загальну систему управління. При проектуванні транспортної системи істотного значення набувають питання її оптимізації шляхом вибору доцільних маршрутів і алгоритмів управління.

Задача автоматизації складських робіт має деякі специфічні особливості, однак у силу ряду обставин її часто вирішують разом із задачею автоматизації транспортних процесів. Це пояснюється тим, що ці підсистеми тісно пов'язані між собою у виробничому процесі й найбільш прийнятні технічні рішення одержують при спільному розгляді на початковому етапі проектування, коли вибирають загальну схему організації робіт і формують технічні вимоги на окремі пристрої і підсистеми, що входять у систему транспортно-складських робіт. Час реакції – *десятки секунд*.

Слід зазначити, що такий розподіл виробничого процесу на типові задачі не позбавлено певної умовності через відсутність чітких границь між задачами внаслідок їх деякого взаємного перетинання.

Таким чином, розподіл виробничого процесу на фази і аналіз усіх

технологічних процесів кожної фази дозволяють визначати спосіб управління кожним технологічним процесом із наступним об'єднанням підсистем у єдину систему управління. У процесі об'єднання підсистем враховують не тільки внутрішні зв'язки, але і зв'язок з підсистемами управління обслуговуючих і допоміжних підрозділів. Властивості й особливості об'єкта управління є визначальними для структури системи управління, алгоритмів її функціонування і потоків інформації, що циркулюють у системі.

Складність управління виробництвом залежить від повноти перерахування технологічних ситуацій S , необхідних і достатніх для вироблення керуючих рішень. Кожну ситуацію задають набором значень ознак, що характеризують зовнішню обстановку і стан об'єкта управління. Значення ознак можуть бути безперервними або бінарними. У першому випадку для управління важлива, наприклад, величина швидкості руху, у другому – відсутність або наявність факту перевищення заданої швидкості. Для задач управління часто потрібні тільки факти змін у технологічному середовищі, тому безперервні ознаки зводять до бінарних. Це дозволяє значно скоротити число ситуацій, в яких приймається керуюче рішення. Проте навіть при бінарних ознаках уведення кожної додаткової ознаки збільшує число комбінацій ознак або описуваних ними ситуацій у два рази. Так, для п'яти бінарних ознак середовища число описуваних ситуацій $S=2^5=32$, а після введення ще однієї ознаки потрібно описати вже $S=2^6=64$ ситуації. З іншого боку, деякі ситуації, описані комбінаціями ознак, неможливі за технологічними умовами. Наприклад, неможливі ситуації, в яких однакові значення ознак руху вперед і назад.

Залежно від числа n датчиків, що сприймають зовнішню обстановку і стан об'єкта, технологічне середовище може бути цілком визначеним, організованим або неорганізованим (рис. 1.1).

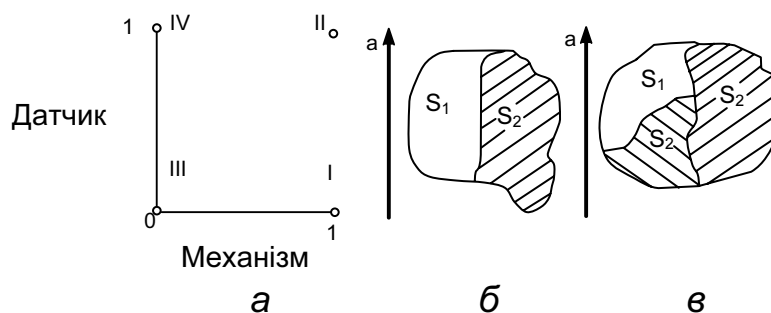


Рис. 1.1. Типи технологічного середовища:
а – цілком визначена; б – організована; в – неорганізована

У цілком визначеному середовищі управління задане для всіх комбінацій ознак середовища. Наприклад, включається і відключається деякий механізм із датчиком аварії. Стан середовища характеризується наявністю або відсутністю сигналу з датчика аварії, а стан об'єкта – роботою або зупинкою механізму. Для двох бінарних ознак мож-

ливі тільки $2^2=4$ ситуації (рис. 1.2, а): I – механізм працює, аварії немає; II – механізм працює, аварія є; III – механізм не працює, аварії немає; IV – механізм не працює, аварія є.

У кожній ситуації може бути прийнято одне з трьох рішень: для I і IV – нічого не починати; для II – відключити механізм; для III – включити механізм. Управління такого типу реалізовано в програмних роботах і захисті механізмів від перевантаження.

В організованому середовищі деякі із ситуацій неможливі через технологічні умови, тому можна задати управління тільки для підмножини $S_1 \subseteq S$ можливих ситуацій, вважаючи, що інші ситуації ніколи не виникнуть (за винятком відмов датчиків). У цьому випадку множину комбінацій ознак середовища розбивають на підмножини можливих S_1 і неможливих $S_2 = \bar{S}_1$ ситуацій (рис. 1.1, б). Перелічити можливі ситуації S_1 і задати для них управління можна, якщо число ознак ситуацій не перевищує 5-6. До такого типу відноситься управління стаціонарними установками і адаптивними роботами.

У неорганізованому середовищі через велике число ознак середовища не вдається цілком перелічити множину можливих ситуацій S_1 . Це називають “прокльоном розмірності”, коли введення кожної q -значної ознаки збільшує число ситуацій у q раз. Знання про середовище слід формувати шляхом навчання розпізнаванню образів. Спостерігаючи якийсь час за процесом, складають навчальну вибірку з частини можливих ситуацій $S_{11} \subseteq S_1$ (рис. 1.1, в). Потім відшуковують вирішуючі функції, що поділяють навчальну вибірку S_{11} на підмножини за числом рішень. Ці функції використовують для розпізнавання нових ситуацій з $S_{21} \subseteq S_1$, що не зустрічалися в навчальній вибірці S_{11} . Звичайно, нова ситуація з S_{21} розпізнається з деякою імовірністю помилки, що залежить від обсягу навчальної вибірки і правильності вирішуючих правил. Для роботи в таких середовищах необхідне управління з елементами штучного інтелекту. У процесі навчання формують набір ознак середовища, необхідний і достатній для розпізнавання всіх ситуацій з S_1 .

Процес управління об'єктом подамо як взаємодію системи управління (СУ) і об'єкта управління (ОУ) (рис. 1.2). Система управління відповідно до заданої програми, стану S технологічного середовища та інформації Z із датчиків на об'єкті виробляє сигнали Y управління механізмами об'єкта. При цьому на об'єкт діють випадкові впливи E з боку технологічного середовища, що змінюють стан об'єкта.

Відповідно до розподілу ОУ на безперервні і дискретні розділимо систему управління на систему автоматичного регулювання (САР) і управляючий логічний пристрій (УЛП). САР забезпечує спостереження вихідної величини за зміною вхідної величини при випадкових впливах E середовища на об'єкт. УЛП переключає виконавчі пристрої об'єкта за заданим алгоритмом і сигналами датчиків.

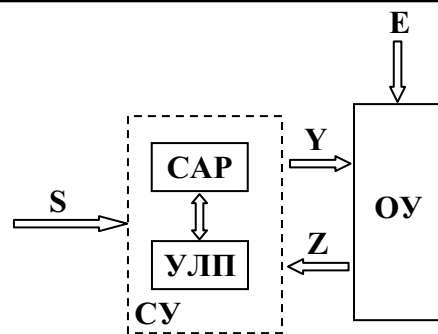


Рис. 1.2. Взаємодія системи управління СУ і об'єкта управління ОУ

Залежно від ролі людини в процесі управління, форм зв'язку і функціонування ланки “людина-машина”, розподілу інформаційних і керуючих функцій між оператором і ЕОМ, між ЕОМ і засобами контролю і управління всі системи можна розділити на два класи:

- ◆ **інформаційні системи**, що забезпечують збір і видачу в зручному для огляду вигляді вимірювальну інформацію про хід технологічного або виробничого процесу. У результаті відповідних розрахунків визначають, які керуючі впливи варто зробити, щоб керований процес проходив щонайкраще. Вироблена керуюча інформація служить рекомендацією оператору, причому основна роль належить людині, а машина відіграє допоміжну роль, видаючи для нього необхідну інформацію;
- ◆ **керуючі системи**, що забезпечують поряд зі збором інформації видачу безпосередньо команд виконавцям або виконавчим механізмам. Керуючі системи працюють звичайно в реальному масштабі часу. У керуючих системах найважливіша роль належить машині, а людина контролює і вирішує найбільш складні питання, що з тих чи інших причин не можуть вирішити обчислювальні засоби системи.

Розрізняють два види інформаційних систем: **інформаційно-довідкові (пасивні)**, що поставляють інформацію оператору після його зв'язку із системою за відповідним запитом, і такі, що **інформаційно радять (активні)**, які самі видають оператору призначену для нього інформацію періодично або через визначені проміжки часу.

Системи збору і обробки даних виконують в основному ті ж функції, що і системи централізованого контролю, і є більш високим ступенем їхньої організації. Відмінності мають переважно якісний характер.

Комп'ютер надає широкі можливості для математичної обробки даних (від порівняння поточних значень параметрів з їхніми максимально і мінімально доступними значеннями до прогнозування характеру зміни контрольованих параметрів). На основі прогнозу оператор може так впливати на технологічний процес, щоб не допустити істотної зміни параметрів.

До математичного і програмного забезпечення входять бібліоте-

ка робочих програм, кожна з яких виконує одну або кілька функцій централізованого контролю, і програма-диспетчер. Програма-диспетчер за заздалегідь визначеним порядком або залежно від поточних значень технологічних параметрів вибирає для виконання ту чи іншу робочу програму. Порядок виконання робочих програм може бути порушений сигналом переривання, що сприймається і відпрацьовується спеціальною підпрограмою програми-диспетчера. Сигнал переривання може надійти від датчиків, установлених на технологічному устаткуванні (аварійні зупинки устаткування, різка зміна стану об'єкта управління), а також від оператора.

Системи збору і обробки інформації використовують при управлінні технологічними й виробничими процесами, найчастіше у випадках, коли має місце проведення складних технологічних процесів, функціонування яких неможливо задовільно описати математичною моделлю і тим самим формально поставити і вирішити задачу управління.

У системах, які інформаційно радять, разом зі збором та обробкою інформації виконуються такі функції:

- ◆ визначення раціонального технологічного режиму функціонування по окремих технологічних параметрах процесу;
- ◆ знаходження потрібних керуючих впливів по всіх або окремих керованих параметрах процесу;
- ◆ визначення значень (величин) установок локальних регуляторів.

Дані про технологічні режими і керуючі впливи надходять через засоби відображення інформації у формі рекомендацій оператору. Ухвалення рішення оператором ґрунтується на власному розумінні ходу технологічного процесу і досвіду управління ним.

Способи організації функціонування систем, що інформаційно радять, такі:

- ◆ обчислення керуючих впливів виробляється при відхиленнях параметрів керованого процесу від заданих технологічних режимів, що ініціюються програмою-диспетчером, що містить підпрограму аналізу стану керованого процесу;
- ◆ обчислення керуючих впливів ініціюється оператором у формі запиту, коли оператор має можливість увести необхідні для розрахунку додаткові дані, що неможливо одержати шляхом виміру параметрів керованого процесу або містити в системі як довідкові.

Ці системи застосовують у тих випадках, коли потрібен обережний підхід до рішень, вироблених формальними методами. Це пов'язано з невизначеністю в математичному описі керованого процесу: математична модель недостатньо повно описує технологічний (виробничий) процес, тому що враховує лише частину керуючих і керованих параметрів; математична модель адекватна керованому процесу лише у вузькому інтервалі технологічних параметрів; критерії управління

мають якісний характер і істотно змінюються залежно від великої кількості зовнішніх факторів.

Проміжним класом між інформаційною та керуючою системами можна вважати **інформаційно-керуючу систему**, що надає оператору достовірну інформацію про минулий, теперішній і майбутній стан виробництва для ефективного виконання своїх функцій у потрібний час і в необхідній формі. Отже, крім програм збору і обробки виробничої інформації необхідна реалізація ряду додаткових програм статистики, прогнозування, моделювання, планування і т. ін.

Керуючі системи. Адаптація керованого процесу до умов, що змінюються, здійснюється шляхом випробування різних варіантів не на самому процесі, а на його математичній моделі, що зберігається в пам'яті ЕОМ. Математична модель дозволяє за допомогою ЕОМ одержати досить повну картину процесу в цілому. Розробка моделі процесу вимагає значних зусиль, однак на основі моделі можна виконати розрахунки, необхідні для визначення керуючих впливів.

Модель процесу, алгоритми управління, виміру вхідних і вихідних параметрів і елементи управління в комбінації з технічними засобами АСУ утворюють будівельні блоки сучасних систем управління технологічними процесами.

В міру ускладнення процесів навіть кваліфікований оператор перестає справлятися із задачами управління. Інший недолік управління, здійснюваного людиною-оператором, полягає в його нездатності забезпечити безперервність керуючого впливу. Крім того, при декількох контурах управління оператор має приймати рішення щодо керування і враховувати їх вплив один на другий.

Керуюча система здійснює функції управління за визначеними програмами, що заздалегідь передбачають дії, які мають здійснюватися в тій чи іншій виробничій ситуації. За людиною залишається загальний контроль і втручання в тих випадках, коли виникають непередбачені алгоритмами управління обставини.

Керуючі системи мають кілька різновидів.

Супервізорні системи управління. АСУ, що функціонує в режимі супервізорного управління (супервізор – керуюча програма або комплекс програм), призначена для організації багатопрограмного режиму роботи ЕОМ і являє собою дворівневу ієрархічну систему, що має широкі можливості і підвищену надійність. Керуюча програма визначає черговість виконання програм і підпрограм і керує завантаженням пристроїв ЕОМ. Супервізорний режим дозволяє не тільки автоматично контролювати процес, але і автоматично керувати ним поблизу оптимальної робочої точки. Функції оператора зводяться до спостереження за технологічним процесом і в разі потреби – до коректування мети управління і обмежень на змінні. При подібній побудові системи управління підвищується надійність системи, тому що її працездат-

ність зберігається і при відмовах у роботі ЕОМ, у той же час виникає практична можливість реалізації більш ефективних алгоритмів оптимізації, які вимагають великого обсягу обчислень.

Системи прямого цифрового управління. ЕОМ безпосередньо виробляє оптимальні керуючі впливи і за допомогою відповідних перетворювачів передає команди управління на виконавчі механізми. Режим безпосереднього цифрового управління дозволяє: виключити локальні регулятори з уставкою, що задається; застосувати більш ефективні принципи регулювання і управління і вибрати їхній оптимальний варіант; реалізувати оптимізуючі функції та адаптацію до зміни зовнішнього середовища і змінних параметрів об'єкта управління; знизити витрати на технічне обслуговування і уніфікувати засоби контролю і управління. Основний недолік подібних систем полягає в тому, що надійність усього комплексу визначається надійністю пристроїв зв'язку з об'єктом (ПЗО) і ЕОМ, і при виході з ладу об'єкт втрачає управління, що призводить до аварії. Виходом із цього положення є організація резервування і т. ін.

Серед основних інформаційно-керуючих систем промислової автоматизації виділяють такі:

- ◆ АСУТП – системи управління технологічними процесами;
- ◆ АСОДУ – системи оперативно-диспетчерського управління;
- ◆ АСКОЕ – системи контролю та обліку електроенергії;
- ◆ MES-системи – системи управління виробничими процесами;
- ◆ ЕАМ-системи – системи управління виробничими фондами підприємства;
- ◆ ERP/MRP-системи – системи управління підприємством і планування ресурсів.

У сфері промислового виробництва з позицій управління можна виділити такі основні класи структур систем управління: децентралізовану, централізовану, централізовану розподілену й ієрархічну.

Децентралізована структура (рис. 1.3, а). Побудова системи з такою структурою ефективна при автоматизації технологічно незалежних об'єктів управління (ОУ) по матеріальних, енергетичних, інформаційних та інших ресурсах. Така система являє собою сукупність декількох незалежних систем зі своєю інформаційною і алгоритмічною базою. Для вироблення керуючого впливу на кожний ОУ пристроєм управління (ПУ) необхідна інформація про стан тільки цього об'єкта.

Централізована структура (рис. 1.3, б) здійснює реалізацію всіх процесів управління об'єктами в єдиному ПУ, що проводить збір та обробку інформації про керовані об'єкти і на основі їхнього аналізу відповідно до критеріїв системи виробляє керуючі сигнали.

Поява цього класу структур пов'язана зі збільшенням числа контрольованих, регульованих і керованих параметрів і, як правило, з територіальною розосередженістю об'єкта управління.

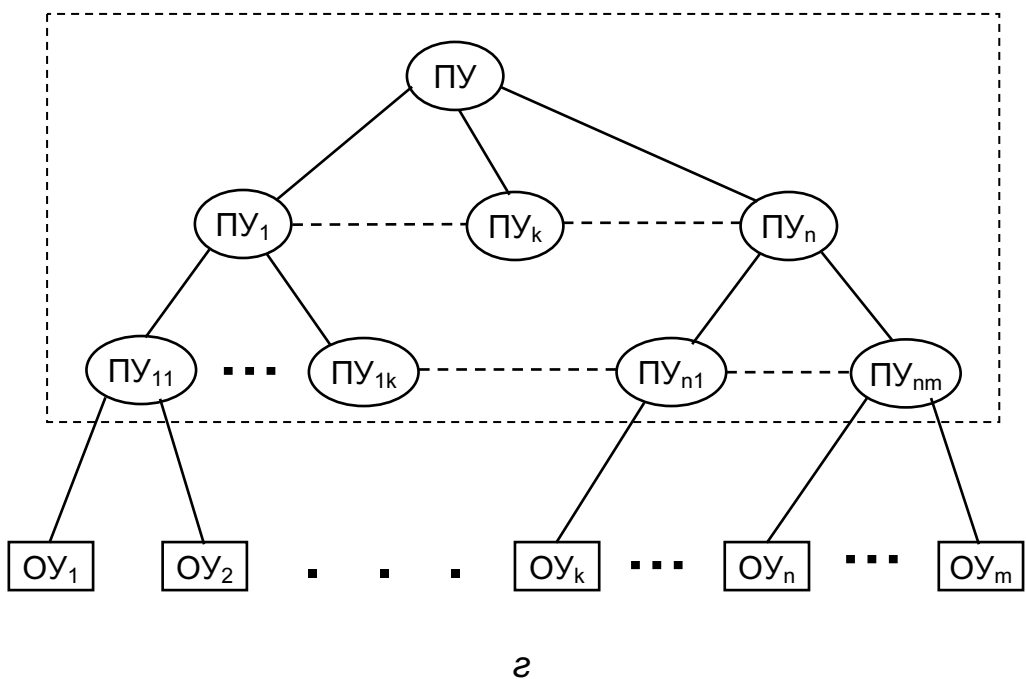
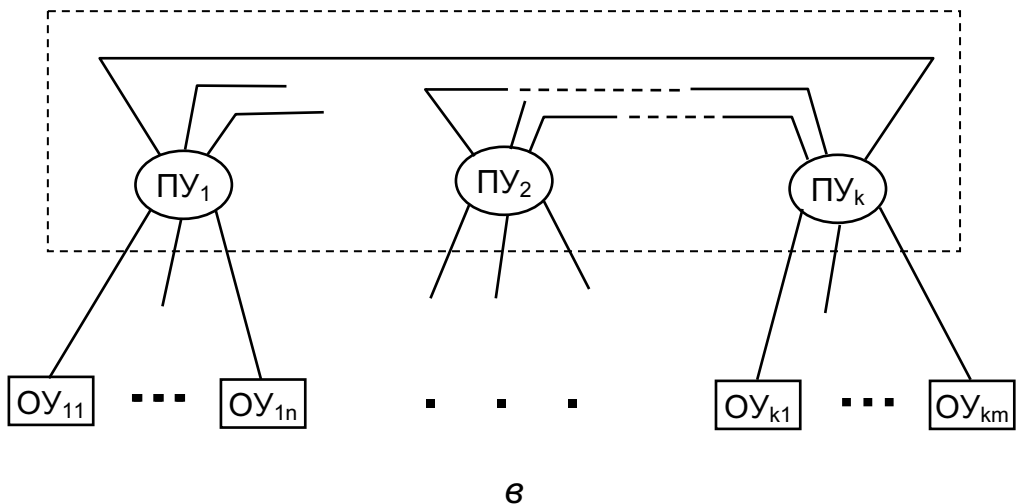
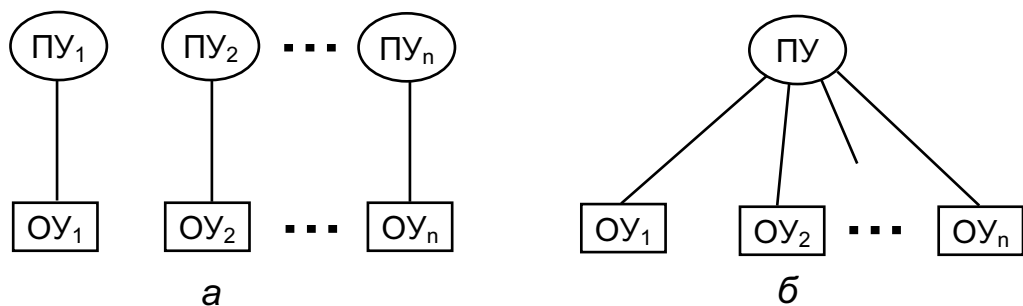


Рис. 1.3. Основні класи структур систем управління:
 а – децентралізована; б – централізована;
 в – централізована розподілена; г – ієрархічна

Перевагами централізованої структури є досить проста реалізація процесів інформаційної взаємодії; принципова можливість оптимального управління системою в цілому; досить легка корекція оперативно змінюваних вхідних параметрів; можливість досягнення максима-

льної експлуатаційної ефективності при мінімальній надмірності технічних засобів управління. Недоліки централізованої структури такі: необхідність високої надійності й продуктивності технічних засобів управління для досягнення прийнятної якості управління; висока сумарна довжина каналів зв'язку за наявності територіальної розосередженості об'єктів управління.

Централізована розподілена структура (рис.1.3, в). Основна особливість даної структури — збереження принципу централізованого управління, тобто вироблення керуючих впливів на кожен об'єкт управління на основі інформації про стани всієї сукупності об'єктів управління. Деякі функціональні пристрої системи управління є загальними для всіх каналів системи і за допомогою комутаторів підключаються до індивідуальних пристроїв каналу, створюючи замкнутий контур управління.

Алгоритм управління в цьому випадку складається із сукупності взаємозалежних алгоритмів управління об'єктами, що реалізуються сукупністю взаємозв'язаних органів управління. У процесі функціонування кожен керуючий орган здійснює прийом і обробку відповідної інформації, а також видачу керуючих сигналів на підлеглі об'єкти. Для реалізації функцій управління кожен локальний орган у міру необхідності вступає в процес інформаційної взаємодії з іншими органами управління. Переваги такої структури: зниження вимог до продуктивності й надійності кожного центра обробки і управління без збитку для якості управління; зниження сумарної довжини каналів зв'язку. Недоліки системи полягають у такому: ускладнення інформаційних процесів у системі управління через необхідність обміну даними між центрами обробки і управління, а також коректування збереженої інформації; надмірність технічних засобів, призначених для обробки інформації; складність синхронізації процесів обміну інформацією.

Ієрархічна структура (рис.1.3, г). Зі зростанням кількості задач управління в складних системах значно збільшується обсяг переробленої інформації і підвищується складність алгоритмів управління. У результаті здійснювати управління централізовано неможливо, тому що спостерігається невідповідність між складністю керованого об'єкта і здатністю будь-якого керуючого органа одержувати й переробляти інформацію.

Крім того, у таких системах можна відзначити такі групи задач, кожна з яких характеризується відповідними вимогами до часу реакції на події, що відбуваються в керованому процесі:

- ◆ задачі збору даних з об'єкта управління і прямого цифрового управління (час реакції, секунди, частки секунди);
- ◆ задачі екстремального управління, пов'язані з розрахунками бажаних параметрів керованого процесу і необхідних значень уставок регуляторів, з логічними задачами пуску і зупинки агрегатів і т. ін.

(час реакції – секунди, хвилини);

- ◆ задачі оптимізації та адаптивного управління процесами, техніко-економічні задачі (час реакції – кілька секунд);
- ◆ інформаційні задачі для адміністративного управління, задачі диспетчеризації та координації в масштабах цеху, підприємства, задачі планування й ін. (час реакції – години).

Зрозуміло, що ієрархія задач управління приводить до необхідності створення ієрархічної системи засобів управління. Такий розподіл, дозволяючи справитися з інформаційними труднощами для кожного місцевого органу управління, породжує необхідність узгодження прийнятих цими органами рішень, тобто створення над ними нового керуючого органу. На кожному рівні має бути забезпечена максимальна відповідність характеристик технічних засобів заданому класу задач.

Крім того, багато виробничих систем мають власну ієрархію, що виникає під впливом об'єктивних тенденцій науково-технічного прогресу, концентрації й спеціалізації виробництва, що сприяють підвищенню ефективності суспільного виробництва. Найчастіше ієрархічна структура об'єкта управління не збігається з ієрархією системи управління. Отже, у міру росту складності систем вибудовується ієрархічна піраміда управління. Керовані процеси в складному об'єкті управління вимагають своєчасного формування правильних рішень, що приводили б до поставлених цілей, приймалися б вчасно та були б взаємно погоджені. Кожне таке рішення вимагає постановки відповідної задачі управління. Їхня сукупність утворює ієрархію задач управління, що в ряді випадків є значно складнішою ієрархією об'єкта управління.

Ієрархічна структура автоматичного управління дозволяє об'єднати управління різними виробничими об'єктами і погодити їхню роботу. При цьому можна автоматизувати весь комплекс виробничих процесів, включаючи транспортні операції та різні організаційні задачі.

Таким чином, застосування сучасних засобів управління технологічними та виробничими процесами дозволяє підійти **до процесу як до єдиного цілого, а не як до набору незалежних частин**; вести процес із продуктивністю, максимально досяжною для даних технічних засобів, автоматично враховуючи безперервні зміни технологічних параметрів, властивостей вихідних матеріалів, зміни в зовнішньому середовищі, помилки оператора й ін.; керувати процесом, постійно враховуючи динаміку виробничого плану для номенклатури, що випускається, шляхом оперативної перебудови режимів технологічного устаткування, перерозподілу робіт на однотипному устаткуванні і т.п.

Першою і основною характерною рисою, що визначає, по якому шляху підуть розробники при автоматизації підприємства, є вибір об'єкта автоматизації.

При комплексній автоматизації підприємство оснащується набо-

ром **автоматизованих робочих місць (АРМ)**, кожне з яких допомагає вирішенню тієї чи іншої задачі незалежно від інших. Отже, об'єктом автоматизації є та чи інша задача, розв'язання якої необхідно при виконанні якої-небудь операції. При цьому кожне АРМ має процедури ручного або напівавтоматичного введення вихідної інформації; автономно обробляє вихідну інформацію без залучення в процесі обробки інформації з інших АРМ; результатом обробки в кожному АРМ є вихідний документ, що зберігається в базі даних АРМ або в приписаній йому області загальної бази даних. При використанні таких автономних АРМ інформаційні зв'язки між ними розірвані, тому потрібно багаторазове дублювання інформації. У системі ж розрив якого-небудь інформаційного ланцюжка сигналізує про аварії і локалізує її джерело.

При системній автоматизації передбачається, що об'єктом є не окрема задача, а підприємство в цілому або його частина, що сама по собі утворює систему.

Є особливість у створенні систем автоматизації організаційного управління підприємством. Вона полягає в необхідності автоматизувати управління підприємством, впроваджуючи комп'ютерні засоби в існуючу систему управління, на відміну від технологічних автоматизованих систем, що створюються одночасно з технологією виробництва.

Розробки в області автоматизації організаційного управління на підприємстві ґрунтуються на системному підході, що вимагає, щоб кожен об'єкт або задача розглядалися не самі по собі, а з урахуванням взаємозв'язків і взаємодії з навколишніми об'єктами і зв'язаними задачами. А оскільки вони призначені для впровадження в існуючу систему управління підприємством, то доповнюється воно ще і терміном "інтегрована".

1.3. Сучасні тенденції в промисловій автоматизації

Сучасні рішення будуються на основі розгалужених мережних комунікацій, характерних для сучасного виробництва.

При цьому розвиток ринку промислової автоматизації прямо пов'язаний із широким поширенням ряду відкритих стандартів.

Усе більш розповсюдженим мережним рішенням для систем промислової автоматизації, інтегрованих із мережами офісних програм, стає Ethernet. Як стандартна технологія в області побудови промислових мереж і розподілених систем управління, Ethernet проникає і на рівень програмувальних контролерів, пристроїв сполучення з датчиками і виконавчими механізмами. Підтримка протоколів TCP/IP і SNMP реалізується в убудованих пристроях і контролерах, що дозволяє включати їх у мережі Ethernet або забезпечувати взаємодію з устаткуванням різного класу (концепція Transparent Factory («прозоре підприємство»)) компанії Schneider Electric).

Архітектура Ethernet промислового застосування – Industrial Ethernet підтримується низкою провідних виробників устаткування автоматизації. Будучи універсальним засобом організації комунікаційних інтерфейсів у системах автоматизації, Industrial Ethernet пропонує широкі можливості реалізації різних топологій з різноманітними пристроями, що підключаються, при невисокій вартості в розрахунку на пристрій, добре інтегрується з технологією Internet із усіма її перевагами, включаючи високу масштабованість і можливості видаленого управління. Завдяки підвищеній пропускній здатності, високопродуктивним пристроям комутації і маршрутизації, вирішенню проблеми детермінізму ця відкрита технологія стає потужним конкурентом іншим промисловим локальним мережам і шинам.

Простий і легкий доступ до одержання даних у масштабах усього підприємства, від датчиків/виконавчих механізмів і до рівня планування і управління підприємством, найбільш оптимальним способом реалізується за наявності інтегрованої мережі. Такою мережею стає корпоративна мережа підприємства Intranet, побудована за принципом клієнт/сервер, що забезпечує єдиний інформаційний простір.

Перспективні системи використовують стандартні та максимально відкриті об'єктно-орієнтовані засоби управління і доступу до інформації. Як такі основні засоби використовують убудовані Web-сервери та інтерфейс OLE for Process Control (OPC). Відкритість контролерів і систем дозволяє вирішити проблеми, які викликані різноманітністю різних несумісних контролерів, мереж і програмного забезпечення, усунути труднощі їхнього стикування і передачі даних між ними та на інші рівні.

Web-сервери, що вбудовуються в пристрої, спрощують реалізацію користувальницького інтерфейсу засобами мови HTML. Як клієнта можна застосовувати будь-як пристрій, що має Web-браузер. Інтеграція різнорідних систем гранично спрощується (необхідні засоби є в мові HTML і в протоколі HTTP). При цьому основна область застосування HTTP – інтерфейс з оператором, а для управління і передачі інформації ефективніше використовувати SNMP.

Поява стандартів на обмін даними в реальному часі дозволяє вирішувати задачі інтеграції верхнього та нижнього рівнів управління підприємством, а також горизонтальної інтеграції різних технологічних підсистем на промисловому підприємстві. В основному використовують три конкуруючі технології: OPC (не залежить від мови програмування), CORBA (не залежить ні від операційної платформи, ні від мови, ні від середовища програмування) і Enterprise Java Bean (не залежить від операційної платформи, але залежить від мови програмування). Ведуться розробки щодо зближення всіх трьох технологій.

Комунікаційна інфраструктура швидко розвивається в бік приєднання до Internet не тільки через високошвидкісні цифрові абонентські

лінії та кабельні модеми, але і в усе більшому ступені через системи безпроводного зв'язку. Деякі контролери дозволяють підтримувати безпроводний радіозв'язок зі швидкістю передачі, що перевищує ту, котру сьогодні можуть забезпечувати наземні лінії зв'язку на основі крученої пари, і порівнянної зі швидкістю передачі по кабелю (технології стільникового зв'язку (GSM, GPRS, Bluetooth, WiFi)). Стримуючим фактором упровадження безпроводного зв'язку в промисловості є небезпека несанкціонованого доступу. Однак ця проблема вирішується за допомогою сучасних методів криптографії.

Керувати ТП можна не тільки зі стаціонарних пунктів управління, але і за допомогою портативних безпроводних комп'ютерів, кишенькових комп'ютерів (персональні цифрові помічники (personal digital assistants – **PDA**)) або стільникових телефонів. Вони будуть підключатися через Web до всього необхідного для роботи з тим чи іншим виробничим об'єктом, а також загальнозаводськими службами техобслуговування, діагностики і ремонту й ін.

Ще однією тенденцією є перерозподіл функцій між програмною і апаратною частинами промислової обчислювальної платформи на користь першої – так званий підхід “softlogic”. Softlogic припускає використання IBM PC сумісних контролерів замість несумісних один з одним PLC контролерів з різними архітектурами і різним програмним забезпеченням. Переваги даного підходу: відкрита платформа, низька ціна контролерів на базі PC, висока продуктивність, універсальність, свобода вибору програмних та апаратних засобів, доступність технічної підтримки й ін.

Дуже важливою тенденцією є використання при розробці засобів управління та контролю технологічних процесів технологій штучного інтелекту, що містять у собі експертні системи, штучні нейронні мережі, нечітку (fuzzy) логіку та ін. Багато виробників засобів промислової автоматизації й технологічного контролю розробляють для своїх керуючих систем внутрішні компоненти на базі інтелектуальних технологій. Даний підхід має ще і додаткову мету: зробити методи штучного інтелекту доступними для кінцевого користувача (фахівців виробництва) шляхом їхньої повної інтеграції із загальними засобами контролю.

Нечітка логіка досягла визначених успіхів на декількох напрямках: у програмних засобах, у контролерах і в інтегральних схемах. Найбільш придатними для застосування нейронних мереж є технологічні процеси із сильною нелінійністю й складним регулюванням. Застосування нейронних мереж і генетичних алгоритмів усувають неефективні операції й стимулюють удосконалювання системи.

Актуальною задачею при побудові автоматизованих систем управління виробництвом є перенесення функцій диспетчерів з аналізу даних, прогнозування ситуацій і прийняття відповідних рішень на компоненти інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень або

експертних систем. Експертна система – це діалогова автоматизована система, що виступає як інтелектуальний посередник, що підтримує природно-мовний інтерфейс користувача, яка використовує правила прийняття рішень і відповідні моделі знань. Вона організує зручний діалог з користувачем, "веде" його по етапах аналізу інформації, розпізнавання й прогнозування ситуацій, аналізує параметри технологічного процесу, допомагає вибрати найкращі рішення залежно від виниклої ситуації, реалізує їх шляхом видачі рекомендацій або керуючих впливів, коректуючи тим самим хід процесу і оптимізуючи його параметри за заданими критеріями.

Очікується перехід від традиційного процедурного управління до децентралізованих систем з виробленням керувань на основі правил. Коли всі точки введення-виведення стануть інтелектуальними і взаємозв'язаними, управління будуть передаватися локально по інтелектуальних каналах між рівноправними сенсорами і виконавчими пристроями без втручання з боку зовнішнього центрального процесора. В результаті виникає новий тип систем промислової автоматизації – складні адаптивні системи (complex adaptive systems). Функціонування складних адаптивних систем (САС) принципово відрізняється від функціонування традиційних детермінованих ієрархічних систем управління. Незалежні, інтелектуальні, автономні пристрої введення-виведення і управління взаємодіють, використовуючи механізми, що ґрунтуються на правилах (наприклад, продукційних правилах вигляду "ЯКЩО <умова>, ТО <дія>"). В міру ускладнення взаємодії система реагує та *адаптується* до зміни обстановки та вимог.

САС мають істотні переваги внаслідок зменшення обсягу програмного забезпечення, більш простої і швидкої установки, робастних характеристик, значно більшої гнучкості, адаптації до роботи в умовах відмов. САС може забезпечити значно більш високі виробничі показники завдяки своїм можливостям самоорганізації та зміни поведінки.

Останнім часом намітилася виражена тенденція до інтеграції АСУ ТП і АСУП. АСУ ТП споконвічно реалізується так, щоб була можливість швидко інтегрувати її в корпоративну інформаційну систему підприємства, здійснити зв'язок із більш високими рівнями ERP. При відкритих стандартних рішеннях можливість інтеграції може бути дуже повною, аж до ретрансляції команд управління з верхнього рівня системи на рівень датчиків.

При цьому спостерігається розширення функцій SCADA-систем. SCADA стають інтегрованими платформами для управління виробництвом, що містять усі необхідні компоненти для програмування контролерів, створення операторського інтерфейсу, управління основними фондами підприємства (включаючи паспортизацію устаткування, технічне обслуговування і ремонти), власне систему управління виробництвом і персоналом.

1.4. Проект промислової автоматизації

На ринку промислової автоматизації продуктом можна вважати послуги щодо постачання устаткування, програмних засобів і системної інтеграції в рамках комплексного проекту з автоматизації промислового об'єкта.

Класифікація проектів промислової автоматизації являє собою важку задачу. Оцінювати складність проекту експерти пропонують за такими критеріями, як кількість сигналів, швидкодія, складність алгоритмів, кількість датчиків, територіальна розосередженість, обсяг робіт з конфігурування і впровадження SCADA і т.д. До основних сегментів ринку промислової автоматизації відносяться промисловість у цілому з розбиванням по галузях, а також енергетика, транспорт, промислові будинки і житлово-комунальне господарство, телекомунікації, військові й спеціальні галузі застосування.

У типовому проекті з інтеграції системи бере участь багато різних компаній. Перелічимо учасників комплексного проекту промислової автоматизації:

1. Постачальники базових апаратно-програмних засобів, що відповідають декільком рівням: датчики, виконавчі механізми, контролери, програмне забезпечення контролерів, промислові мережі, що інтегрують об'єкти базового рівня (інтерфейси, OPC-сервери) та ін. Деякі проекти автоматизації вимагають застосування спеціалізованих технічних засобів або іншого устаткування з убудованими системами управління. Виробники спеціалізованих технічних засобів і OEM-виробники (*original equipment manufacturers*), як правило, самі здійснюють інтеграцію апаратних і програмних засобів спеціального устаткування, що випускається ними.

2. Постачальники SCADA-систем і відповідного інструментарію.

3. Реселери і дистриб'ютори, що реалізують додаткові можливості і послуги – здобувають продукт деякого виробника, реалізують у ньому яку-небудь нову функціональну можливість і продають результат, що вийшов, кінцевому користувачу. Ця нова добавка може бути у вигляді інших сумісних компонентів або послуг типу програмного конфігурування, пошуку і усунення несправностей або комплексна інтеграція системи.

4. Проектувальники автоматизованих технологічних процесів. Навіть в одній галузі підприємства відрізняються один від одного складом і принципом розподілу устаткування, тому до специфіки проектів з промислової автоматизації відноситься унікальність кожної створеної системи.

5. Прикладні інженери – працюють на постачальника або його дистриб'юторів і вирішують задачі застосування устаткування постачальника в проекті. В одних фірмах відділи прикладного інжинірингу

можуть також надавати послуги з проектування і впровадження систем; інші обмежуються лише технічними консультаціями.

6. Інженери-консультанти – надані послуги стосуються самих різних технічних дисциплін.

7. Розробник базових технологій автоматизації, що називається **системним інтегратором** з промислової автоматизації. Рід діяльності системного інтегратора – експертиза в області технологій, засобів та інструментарію побудови розподілених систем контролю і управління устаткуванням. Тією чи іншою мірою системні інтегратори займаються розробкою всіх аспектів проекту автоматизації, крім власне виробництва засобів автоматизації. У рамках проекту промислової автоматизації здійснюється постачання засобів автоматики, спеціального устаткування. Зазвичай це устаткування купує у виробника або дистриб'ютора і постачає для проекту системний інтегратор. Інтегратори можуть виконувати всі ці функції цілком або передавати окремі частини проекту відповідним фахівцям (субпідрядникам). Як правило, системний інтегратор відповідає за завершення всього проекту від початкового консалтингу до остаточного приймання.

8. Субпідрядники на виконання робіт: допоміжні й електротехнічні роботи (наприклад, прокладання електричних кабелів і підключення зазначеного в проекті устаткування); центри програмування або наймані програмісти (програмування комп'ютерної техніки, використовуваної в проекті).

Зрозуміло, що не завжди чітко розділяються ролі між різними учасниками проекту. Більшість компаній попадають не в єдину категорію, а деякі можуть переходити з однієї категорії в іншу в міру зміни потреб замовників. Наприклад, постачання технічних засобів або якихось компонентів і роботи із загальної системної інтеграції може виконувати та сама компанія.

На рис.1.4 показано схему етапів реалізації типового проекту. Для того, щоб проект виконувався за планом, керівники проекту мають постійно тримати під контролем усі свої обмежені можливості (час, фінанси та інші ресурси). Кожний з відбитих на схемі етапів життєво важливий для успішної реалізації всього проекту, і дуже важливо правильно вибрати потрібні ресурси для успішного виконання кожного етапу. Вибираючи між власними фахівцями, консалтинговою службою постачальника і системним інтегратором, керівник повинний ретельно оцінити можливості кожного із цих варіантів та їхню здатність вирішити специфічні для конкретного проекту задачі.

Основні переваги самостійних (виконуваних власними силами) проектів – їх повна контрольованість і вичерпне знання та розуміння всіх особливостей розроблювальної системи.

Вони дозволяють сформулювати потреби в необхідній для самостійної реалізації проекту інфраструктурі й інженерних ресурсів. Для

успішного виконання такого проекту проектний відділ має задовольняти такі вимоги:

- бути цілком укомплектованим відповідним задачам проекту персоналом;
- мати необхідні знання і досвід розробки або здатність швидко навчатися;
- мати добре підготовлений персонал у галузі управління проектами;
- мати добре пророблену методологію виконання та моніторингу проектних робіт.

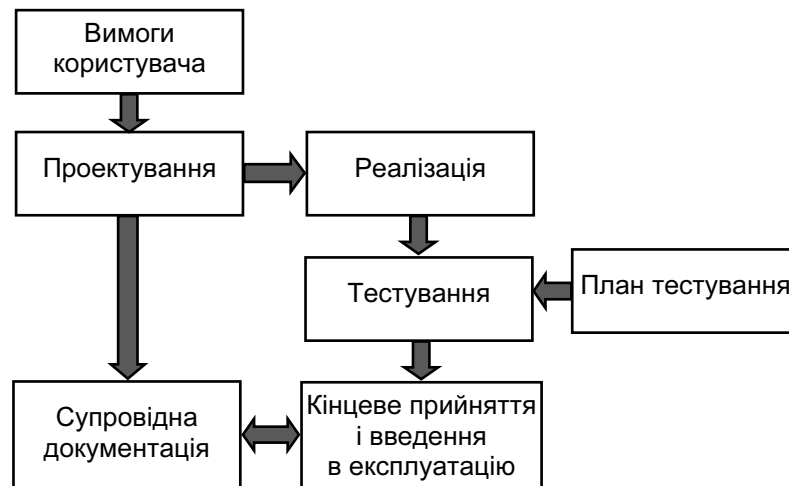


Рис.1.4. Блок-схема етапів реалізації проекту

З усіх перерахованих вимог найчастіше не враховується необхідність в існуванні методології виконання проекту. Часто недооцінюється і важливість належного управління самостійно виконуваними проектами. Щоб одержати очікувану віддачу від вкладень в автоматизацію, навіть при виконанні всіх робіт самостійно, необхідно суворо дотримуватися графіка виконання проекту без порушення встановлених термінів.

Коли відповідні послуги користувачеві здійснює стороння організація, методологія і моніторинг проекту займає значну частину. При самостійній же реалізації проекту працівники проектного відділу мають враховувати інвестиції у свою працю аналогічно інвестиціям у встановлюване ними устаткування. Необхідно, щоб методологія виконання і моніторингу проекту була розроблена заздалегідь, щоб будь-які відхилення від плану виявлялися і оцінювалися раніш, ніж вони порушать весь первісний графік.

Часто недооцінюється рівень технічних знань, необхідний для створення сучасних систем. Для цього необхідно організувати проходження навчальних курсів, що організуються відповідними постачальниками.

Ще одна проблема при самостійній реалізації проектів – довгострокова підтримка. Без ретельного планування власні фахівці-

проектувальники можуть «загрузнути» у постійних виправленнях і модифікаціях тривалих проектів. Тим самим буде страждати поточний проект, оскільки інженери, які знають систему, будуть постійно відволікатися на вирішення проблем в експлуатованій системі. Пом'якшити цю проблему може докладне документування.

В умовах розширення, скорочення, реструктуризації та модифікації корпоративних інженерних служб значної ваги в багатьох галузях набувають системні інтегратори.

Зазвичай їхня кваліфікація вище, ніж у власних фахівців фірми-замовника, тому що системні інтегратори постійно мають справу із самими останніми проектами. Набутий досвід дозволяє системному інтегратору знаходити оптимальні методи реалізації проекту і пропонувати більш дешеві рішення. В одних випадках системний інтегратор бере на себе відповідальність за весь проект і забезпечує все необхідне для його розробки, в інших надає необхідні ресурси для вирішення тільки конкретної задачі. Перевага більш великих системних інтеграторів полягає в тому, що вони можуть вирішувати більш широкий спектр задач. Великі інтегратори, як правило, забезпечують повний набір документації на установку і монтаж системи, креслення і схеми з'єднань, специфікації вимірювальних приладів і конфігурацію системи. Деякі системні інтегратори можуть поставляти системи «під ключ». У цілому це знижує ризики і знімає тягар відповідальності з персоналу замовника, дозволяючи йому сконцентруватися на реалізації всіх елементів проекту вчасно і в рамках виділених засобів. Дуже важливо, щоб системний інтегратор мав досвід роботи з вибраними користувачем засобами автоматизації.

Головна перевага звертання до професійних служб постачальника також полягає в зниженні ризику. Прямо контактуючи з розробниками продукту і маючи досвід його застосування в різних проектах, фахівці постачальника, природно, краще всіх знають, як використовувати пропоновані ними продукти. Керівникам проектів із жорсткими строками впровадження і/або складними взаємозв'язками елементів треба дуже ретельно зважити наслідки цього вибору. Ще одна перевага звертання до служб постачальника – повномасштабна підтримка протягом усього терміну експлуатації.

Четвертий і, ймовірно, найкращий варіант – це команда розробників із представників усіх напрямків: власних фахівців, професійних служб постачальника і системного інтегратора (рис. 1.5). Мета подібного альянсу – максимальне використання переваг кожної групи для реалізації проекту, більш успішного, ніж створюваного поодиноці кожною з груп. Компетентність власних фахівців у виробничому процесі поєднується з досвідом системного інтегратора в даній прикладній галузі і знаннями постачальника власного продукту. Кожен учасник може сконцентруватися саме на своїх проблемах, що будь-якою іншою сто-

роною будуть вирішуватися менш ефективно. З економічної точки зору, залучення кінцевого користувача в усі етапи проекту з початку до завершення повністю обґрунтовано.

Для досягнення максимального успіху необхідно визначити обсяги робіт кожного учасника і продумати систему взаємодії таким чином, щоб роботи одного учасника не створювали додаткові проблеми іншому.

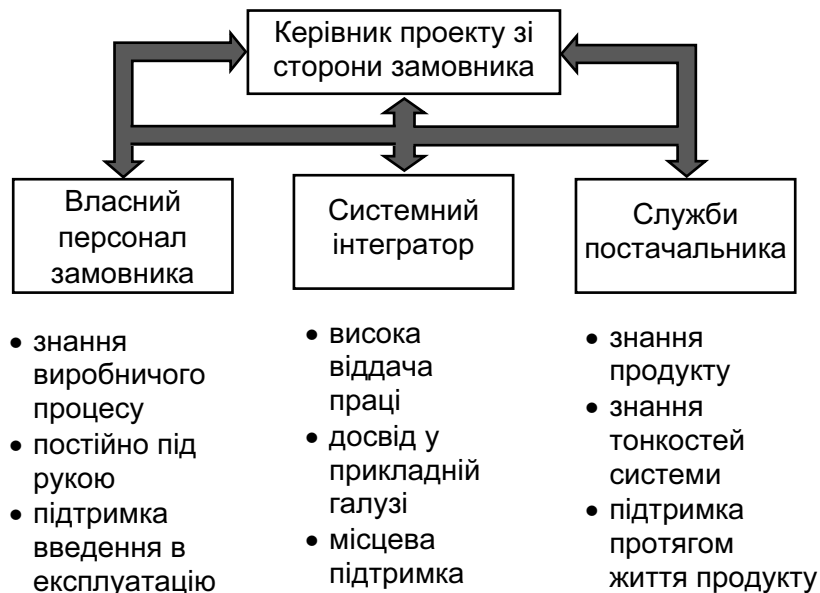


Рис. 1.5. Колектив проектних розробників

Контрольні запитання і вправи

1. Назвіть і охарактеризуйте основні етапи розвитку автоматизації виробництва.
2. Які із сегментів автоматизації можна віднести до одного поняття «промислова автоматизація»:
 - а) автоматизація виробництва;
 - б) автоматизація технологічних процесів;
 - в) автоматизація будинків;
 - г) автоматизація верстатів?
3. Вкажіть основні задачі, розв'язувані промисловою автоматизацією.
4. Назвіть основні тенденції, що властиві сучасному етапу розвитку виробництва.
5. Яким чином можна подати структуру виробничого процесу?
6. Яка максимальна кількість ситуацій S можлива за наявності трьох, чотирьох і п'ятьох бінарних ознак?
7. Які види технологічного середовища існують?
8. Поясніть сутність терміна «проклин розмірності».
9. Вкажіть основні розходження між інформаційними і управляючими системами.

10. Назвіть основні функції систем, що інформаційно радять.
11. Які існують основні різновиди управляючих систем?
12. Перелічіть переваги і недоліки основних класів структур систем управління.
13. Вкажіть основні тенденції промислової автоматизації. З чим пов'язано їхнє виникнення?
14. У чому полягає підхід “softlogic” ?
15. Чим викликана поява інтелектуальних АСУ ТП?
16. Перелічіть основних учасників комплексного проекту промислової автоматизації.
17. Наведіть приклади параметрів для оцінки складності проекту автоматизації.
18. Назвіть основні етапи проекту промислової автоматизації.



РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ АСУ ТП

2.1. Рівні АСУ підприємства

Управління виробництвом поділяється на дві галузі, що відрізняються характером об'єктів управління: управління організаційно-економічними процесами (об'єктом управління є колективи людей, зайнятих у сфері матеріального виробництва й обслуговування) і управління технологічними процесами.

Відповідно розрізняють два основних типи АСУ:

- ◆ автоматизовані системи управління підприємством або організаційно-економічного чи адміністративного управління (АСУП);
- ◆ автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП).

Області використання комп'ютерних засобів автоматизації істотно впливають на їхні режими роботи в системі управління, що обумовлено не тільки розходженням у класах розв'язуваних задач, але і розходженням динамічних характеристик систем у кожній з областей (як правило, в АСУП процеси управління інертні, а в АСУ ТП – зі швидко мінливим станом).

До АСУП відносяться різні галузеві, територіальні АСУ, АСУ виробничими об'єднаннями, підприємствами, що включають у себе систему автоматизації управлінської, фінансово-господарської діяльності і планування ресурсів.

На практиці часто доводиться мати справу із системами, де комбінуються функції, характерні як для АСУП, так і для АСУ ТП.

В останні роки намітилася тенденція інтеграції АСУП і АСУ ТП у єдині інтегровані системи управління, що дозволяють обробляти всю наявну на підприємстві інформацію, тобто організувати виробничий процес, цілком керований обчислювальним комплексом. Основні принципи та підходи до інтеграції будуть розглянуті в розд. 9.

Сучасні системи комп'ютерної автоматизації виробництва містять три рівні (рис. 2.1):

1. Рівень безпосереднього управління технологічним устаткуванням:

- I/O (*Input / Output*) – пристрої зв'язку з датчиками і виконавчими механізмами, що забезпечують гальванічну розв'язку, нормалізацію, посилення вхідних (*Input*) і вихідних (*Output*) сигналів;
- Control – програмувальні пристрої управління технологічним устаткуванням;
- SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) – супервізорне

управління та збір даних з відображенням, контролем і управлінням процесом виробництва через мнемосхеми технологічного устаткування.



Рис. 2.1. Рівні автоматизації сучасного виробництва

2. Рівень виконання, на якому в масштабі часу, близькому до реального, контролюється використання ресурсів і проводяться заходи, спрямовані на виконання календарного плану:

- MES (*Manufacturing Execution System*) – автоматизована система управління і оптимізації виробничої діяльності (керує поточною виробничою діяльністю відповідно до поступаючих замовлень, вимог конструкторської й технологічної документації, актуального стану устаткування, маючи при цьому цілі максимальної ефективності й мінімальної вартості виконання виробничих процесів);
- EAM (*Enterprise Asset Management*) – автоматизована система управління основними фондами (призначена для комплексної автоматизації процесів експлуатації, технічного обслуговування і ремонту устаткування, а також постачання запасних частин і ведення складського господарства підприємств).

3. Рівень планування, на якому визначається, що має бути зроблено в календарний (доба і більше) період часу і які ресурси для цього будуть потрібні:

- MRP (*Manufacturing Resources Planning*) – система планування ресурсів, що забезпечує аналіз і вибір стратегії виробництва, облік і управління матеріальними і фінансовими ресурсами;
- ERP (*Enterprise Resource Planning*) – система планування і управління ресурсами підприємства, необхідними для здійснення продажів, закупівель й обліку при виконанні замовлень клієнтів у сферах виробництва, дистрибуції та надання послуг.

В міру розвитку технологій відбувається розмивання меж систем, з'являються системи, що інтегрують у собі функції різних рівнів, та й самі функції видозмінюються («піраміда» перетворюється на «куб»). Так, наприклад, EAM-системи містять у собі як функції рівня планування (постачання, склад), так і функції рівня виконання (технічне об-

слуговування і ремонт) і навіть функції рівня безпосереднього управління технологічним устаткуванням (збір інформації в реальному часі про стан устаткування і на її основі планування ремонтних і профілактичних робіт).

У деяких сучасних SCADA-системах і ERP-системах декларуються функції, що відносяться до інтеграційного рівня – MES/EAM-систем, що забезпечує «взаємопроникнення» АСУП і АСУ ТП. У будь-якому випадку йде оперування більш точною виробничою інформацією, що надходить у реальному часі і збирається SCADA-системою. Основна мета інтеграції різних підсистем на підприємстві – створення єдиного інформаційного простору підприємства для об'єктивної і оперативної оцінки поточної ситуації, оперативного прийняття оптимальних управлінських рішень, ліквідації інформаційних і організаційних бар'єрів між управлінським і технологічним рівнями.

2.2. Основні вимоги до систем промислової автоматизації

В основі сучасних інтегрованих систем автоматизації лежить використання компонентів, що задовольняють такі властивості, як відкритість, стандартизація, типізація рішень, надійність, масштабованість систем, комплексність підходу і тиражованість.

Відкритість означає застосування відкритих стандартів, визначає гнучкість архітектури системи автоматизації, дружність користувацького інтерфейсу, можливість взаємодії з іншими системами завдяки сумісності широкого спектра стандартизованих виробів і програм на різних рівнях.

Стандартизація припускає використання компонентів систем автоматизації, оснований на існуючих стандартах на програмні й технічні рішення. Сучасні тенденції в області стандартизації такі, що системи автоматизації, побудовані на основі різних рішень, мають інтегруватися в єдині системи і комплекси без серйозних додаткових розробок. Застосування стандартів при створенні системи автоматизації є показником її якості, гарантує користувачеві сучасний технічний рівень і наступність системи в процесі її подальшого розвитку і модернізації.

Типізація системних рішень має бути закладена в основу кожної створюваної системи автоматизації. Слідування цьому принципу припускає доступний для огляду набір як компонентів, так і рішень, що знижує витрати на закупівлю компонентів і впровадження системи в цілому.

Слідування принципу використання стандартів для компонентів і рішень дає можливість створювати **масштабовані**, нарощувані системи автоматизації, найбільш відповідні цілям і задачам, що стоять перед ними. Масштабованість дозволяє створювати і модернізувати системи автоматизації з мінімальними засобами, що забезпечують необхідні функції.

Комплексний підхід до систем автоматизації має на увазі не тільки традиційний (об'єктний – кожен рівень АСУ ТП відповідає деякому рівню об'єкта управління, а кожному елементу АСУ ТП – один або кілька елементів (функцій) даного рівня об'єкта) підхід, але і цільовий, орієнтований на використання засобів автоматизації різного рівня для досягнення конкретних цілей (зниження енерговитрат, собівартості продукції, підвищення якості продукції й послуг).

Необхідно, щоб кожна система автоматизації мала властивість відтворюваності і **тиражованості**, що прямо впливає на витрати зі створення систем і в кінцевому підсумку – на собівартість продукції.

Надійність у промисловій автоматизації має одне із ключових значень. Відмовостійке (*fault-tolerant*) рішення повинно гарантувати функціонування системи як єдиного цілого навіть за наявності несправностей. Це означає не тільки застосування високонадійних елементів, а скоріше проектування системи таким чином, щоб окремі несправності не впливали на її роботу в цілому.

У найпростішому випадку відмовостійка технологія ґрунтується на деякій *надмірності (redundancy)*. Якщо якась частина, апаратна або програмна, не працює, то її замінює інший компонент. Можна відзначити два типи надмірності:

- фізична надмірність (*physical redundancy*) зазвичай досягається дублюванням деяких елементів – коли елемент перестає працювати належним чином, його замінює інший;
- інформаційна надмірність (*information redundancy*) використовується, наприклад, у комунікаційних протоколах у вигляді службової інформації, що додається до пакета для того, щоб забезпечити відновлення переключених повідомлень.

У цілому надійність системи варто розглядати на апаратному, технологічному і програмному рівнях.

На апаратному рівні устаткування має відповідати вимогам промислових умов експлуатації і конструктивно включати в себе такі функції, як резервне живлення, безвентиляторне охолодження, перешкодостійкість, збереження своєї працездатності в розширеному діапазоні температур і т.д.

На рівні технологій мають застосовуватися відмовостійкі технології, що у випадку розриву зв'язку або виходу з ладу комутаційного устаткування забезпечать швидке переключення на резервні лінії зв'язку за час менше 0.5 с без утрат даних. Технології, застосовувані в офісних мережах, не підходять для умов технологічного процесу, тому що час відновлення зв'язку може значно перевершувати швидкість процесу і відбудеться втрата даних. Для забезпечення роботи в реальному часі необхідно забезпечувати синхронізацію високопріоритетними мітками в пакетах даних.

На програмному рівні необхідно відновлення обчислювального процесу при збої. Існує алгоритм відновлення в дубльованих структурах обчислювальних комплексів, реалізований за допомогою контрольних точок у програмах. Виконувана програма розбивається на частини, в кінці кожної з яких утримується контрольна точка. У кожній контрольній точці відбувається синхронізація даних, що обчислюється, з даними в резервній структурі. При відмові система переходить на дубльовані зв'язки і продовжує виконання програми з останньої зафіксованої контрольної точки. Такий алгоритм забезпечить безвідмовну роботу з дубльованими серверами БД.

Таким чином, основні принципи, продиктовані самою задачею автоматизації промислових об'єктів, з яких доцільно виходити при проектуванні архітектури системи, такі:

- ніяка одинична відмова в системі не повинна приводити до втрати її функціональності, обсягу даних ТП, при якому неможливе функціонування об'єкта;
- система має складатися з мінімального числа елементів, що її утворюють.

Крім надійності функціонування усе більш важливими вимогами в автоматизованих системах управління стають функціональні можливості, простота установки і обслуговування, адаптованість до специфічних умов, хороші можливості інтеграції. Для такої системи характерне різне устаткування, різні інтерфейси, різноманіття мереж і т. ін. Тому необхідно розглядати єдину інформаційну систему промислової автоматизації з погляду:

- автономності й закінченості кожного рівня АСУ ТП;
- можливості модернізації без істотних змін усієї системи;
- допустимості заміни одного елемента системи елементом іншого виробника – відповідність загальноприйнятим стандартам;
- можливості інтеграції і взаємодії різних систем підсистем АСУ ТП;
- можливості інтегрування АСУ ТП в існуючі або створювані знову системи верхнього рівня АСУП для забезпечення оптимального показника витрат на автоматизацію.

2.3. Основні поняття розподіленої АСУ ТП

Архітектура систем промислової автоматизації досить істотно впливає на склад програмно-апаратних засобів. Серед розглянутих у першому розділі типових структур систем управління найбільше поширення одержали АСУ ТП централізованого та розподіленого типу.

Централізовані АСУ ТП є комплексами, що, як правило, займають єдиний обмежений виробничий простір з централізованою підсистемою забезпечення електроживленням і магістралями для обміну інформаційними потоками.

Розподілені АСУ ТП будуються на базі об'єктів, розташованих на

різних, найчастіше далеко розташованих, закритих і відкритих виробничих майданчиках. Саме ця особливість накладає певні вимоги при проектуванні розподілених АСУ ТП.

Рішення будуються на основі розгалужених мережних комунікацій. При їхній побудові можуть використовуватися:

- локальні мережі (для побудови локальної мережі можуть застосовуватися різні адаптери: Ethernet, Arcnet, Token Ring і ін. Суттєво, щоб для них у мережній операційній системі були відповідні драйвери);
- мережі на базі послідовних інтерфейсів RS-232, RS-485, RS-422 (зазвичай організуються між операторськими станціями і контролерами);
- радіоканали (для використання радіоканалу до послідовних портів комп'ютерів варто підключити радіомодеми. Вони перетворюють електричні характеристики порту RS-232 на сигнали, передані на радіостанцію для посилки в ефір, і виконують зворотне перетворення. Можна використовувати будь-які марки радіомодемів, що забезпечують прозорість передачі даних між комп'ютерами і не потребують команд управління від комп'ютера. Для обміну за радіоканалом не потрібні додаткові драйвери. Він налаштовується так само, як обмін із видаленими вузлами за послідовним інтерфейсом);
- виділені або телефонні лінії, що комутуються (цей обмін припускає наявність у кожного вузла свого телефонного номера і підключення телефонних модемів);
- мережі GSM (цей тип ліній передачі даних припускає наявність стільникового зв'язку в регіоні, де знаходиться об'єкт, що автоматизується. Для обміну за GSM мережею до послідовних портів комп'ютерів мають бути підключені GSM-модеми).

За цим та іншими носіями організують інформаційні потоки всіх рівнів розподіленої системи управління. При цьому можуть реалізовуватися як вертикальні зв'язки (між рівнями), так і горизонтальні (між вузлами одного рівня).

Основними технічними вимогами при проектуванні розподілених АСУ ТП такі:

- забезпечення обміну даними за інформаційними каналами у реальному масштабі часу;
- забезпечення широкого температурного діапазону роботи технічних засобів локальних САУ;
- розподілена система електроживлення;
- забезпечення надійного контуру заземлень на кожній окремій площадці об'єкта автоматизації;
- захист контрольно-вимірювальних та інформаційних каналів від зовнішніх впливів, а також посилення переданих сигналів;

- вибір оптимального контролерного устаткування з погляду ефективності, надійності і взаємозамінності складових частин, що задовольняє міжнародні стандарти;
- вибір оптимальних, з погляду пиловологонепроникнення, а також захисту від електромагнітного випромінювання, корозії та інших факторів, що задовольняють міжнародні стандарти конструктива шаф контролерів, автоматики локальних САУ і АРМ;
- забезпечення високонадійних каналів обміну технологічною інформацією між окремими автоматизованими об'єктами і централізованою системою управління й контролю;
- резервування основної апаратури контролю і управління, а також найбільш важливих каналів передачі інформації;
- забезпечення апаратного й програмного аварійного останова технологічного комплексу при аварійних ситуаціях;
- забезпечення високоефективного людино-машинного інтерфейсу в системі візуалізації й моніторингу на різних рівнях;
- ефективна, з погляду швидкості виявлення несправності, і надійна видалена діагностика програмно-апаратних засобів.

Розподілена структура системи при подібному поділі функцій між її складовими частинами має ряд переваг у порівнянні з централізованою структурою АСУ ТП, у якій усе управління зосереджено в одній шафі управління, що містить велику кількість устаткування. До таких переваг можна віднести:

- підвищену живучість системи;
- зменшення номенклатури кабельного господарства;
- забезпечення необхідного часу реакції систем;
- можливість поетапного введення АСУ ТП в експлуатацію.

2.4. Функції розподіленої АСУ ТП

Як основні функції управління для технологічних процесів використовують контроль і оперативне управління (табл. 2.1). Функції планування і обліку в управлінні технологічним процесом вироджені, а існують лише окремі елементи оперативного планування та оперативного обліку. Це пов'язано з тим, що управління технологічним процесом реалізується в найкоротших циклах управління.

Функції для розподіленої АСУ ТП підрозділяють на керуючі, інформаційні та допоміжні керуючі.

До *керуючих* функцій АСУ ТП, результатом яких є вироблення і реалізація керуючих впливів на технологічний об'єкт управління, відносять:

- автоматичне регулювання (стабілізація) окремих технологічних параметрів;
- регулювання окремих параметрів;
- багатозв'язне і каскадне регулювання;

- логічне управління операціями або апаратами;
- програмне логічне управління групою устаткування;
- оптимальне управління в сталому й перехідному режимах;
- логічне крокове функціонально-групове управління;
- адаптивне управління об'єктом у цілому;
- дистанційне управління об'єктами;
- технологічні захисти устаткування;
- технологічні блокування устаткування, в тому числі автоматичне включення резерву працюючих механізмів;
- оперативна корекція добових і змінних планових завдань і т. ін.

Таблиця 2.1

Зміст основних функцій управління ТП

Основні функції управління технологічним процесом	Основні операції управління технологічним процесом	Операції, що виконуються за допомогою технічних засобів
Контроль	Збір даних	Вимірювання, опитування датчиків, передача даних до центру управління
	Накопичування даних	Реєстрація
	Огляд даних	Обробка даних – упорядкування інформації (лінеаризація, масштабування, інтегрування, порівняння з уставками та ін.)
	Виведення даних для управління. Визначення основних фактів, необхідних у даний момент	Сигналізація, індикація, реєстрація
Оперативне управління	Підготовка варіантів рішень	Обробка даних – підготовка рекомендацій, рішень
	Прийняття рішення	
	Реалізація рішення	Регулювання, управління, передача даних з центру управління

Інформаційні функції АСУ ТП – це функції системи, призначенням яких є збір, обробка і подання інформації для наступної обробки. До них відносять:

- прямий і непрямий вимір технологічних параметрів;
- обчислення параметрів процесу (техніко-економічних, внутрішніх змінних);
- формування і видача поточних та узагальнюючих технологічних і економічних показників оперативному персоналу;
- відображення інформації на АРМ;
- технологічна попереджувальна і аварійна сигналізація;
- реєстрація інформації та аварійних подій;
- автоматичне ведення документації;
- підготовка й передача інформації в суміжні системи управління;

- узагальнена оцінка та перевірка стану виробничої системи і устаткування і т. ін.

Допоміжні керуючі функції полягають у забезпеченні контролю за станом функціонування технічних і програмних засобів системи:

- опитування й первинна обробка інформації від аналогових і дискретних датчиків;
- контроль вірогідності вхідної інформації;
- контроль зміни й відхилень технологічних параметрів;
- безперервний контроль функціонування компонентів АСУ ТП і реалізації команд управління;
- контроль дії захистів і т. ін.

2.5. Структурна схема розподіленої АСУ ТП

Відповідно до розбивання розподіленої АСУ на рівні розглянемо структуру й склад її основних компонентів (рис. 2.2).

Рівень виникнення інформації. На цьому рівні формується первинна інформація, що надходить в АСУ ТП, на цей рівень адресуються керуючі впливи.

Що стосується устаткування, це в основному датчики (первинні перетворювачі) для збору інформації про хід технологічного процесу, виконавчі механізми (ВМ) (приводи, контактори, реле і т.д.) для реалізації регулюючих і керуючих впливів. Устаткування вибирають відповідно до технологічних параметрів процесів.

Якість і надійність роботи АСУ ТП неможливо забезпечити без достовірної й повної інформації про поточний стан об'єкта управління, за яке відповідають датчики.

В цей час вони можуть бути аналоговими або цифровими. Аналогові датчики подають обмірювану величину у вигляді рівня напруги або струму. Цифрові ж мають вбудовані логічні схеми і подають обмірювану величину у вигляді цифрового сигналу, що відповідає специфікації протоколу передачі даних, визначеного для цих пристроїв.

З приладами другого типу можна обмінюватися інформацією безпосередньо по мережі передачі даних, а для приладів першого типу необхідно використовувати спеціальні пристрої зв'язку з об'єктом (ПЗО).

ПЗО перетворюють отриману від датчиків інформацію в уніфікований вигляд і здійснюють її передачу на наступний рівень системи управління і назад (плати аналогового та цифрового введення/виведення (АЦП – аналогово-цифрові перетворювачі, ЦАП – цифро-аналогові перетворювачі), розподілені і видалені системи збору даних і управління, модулі нормалізації сигналів і комутації та ін.).

Особливе місце серед виконавчих пристроїв посідають електродвигуни, для якісного і безпечного управління якими існує цілий ряд пристроїв: пускачі, перевантажувальні реле, сервоконтролери, інвер-

тори. Кращим і відповідно коштовним рішенням задачі управління двигуном змінного струму є інвертор. Окремі моделі інверторів дозволяють контролювати більше ста параметрів пуску, роботи й гальмування двигуна.

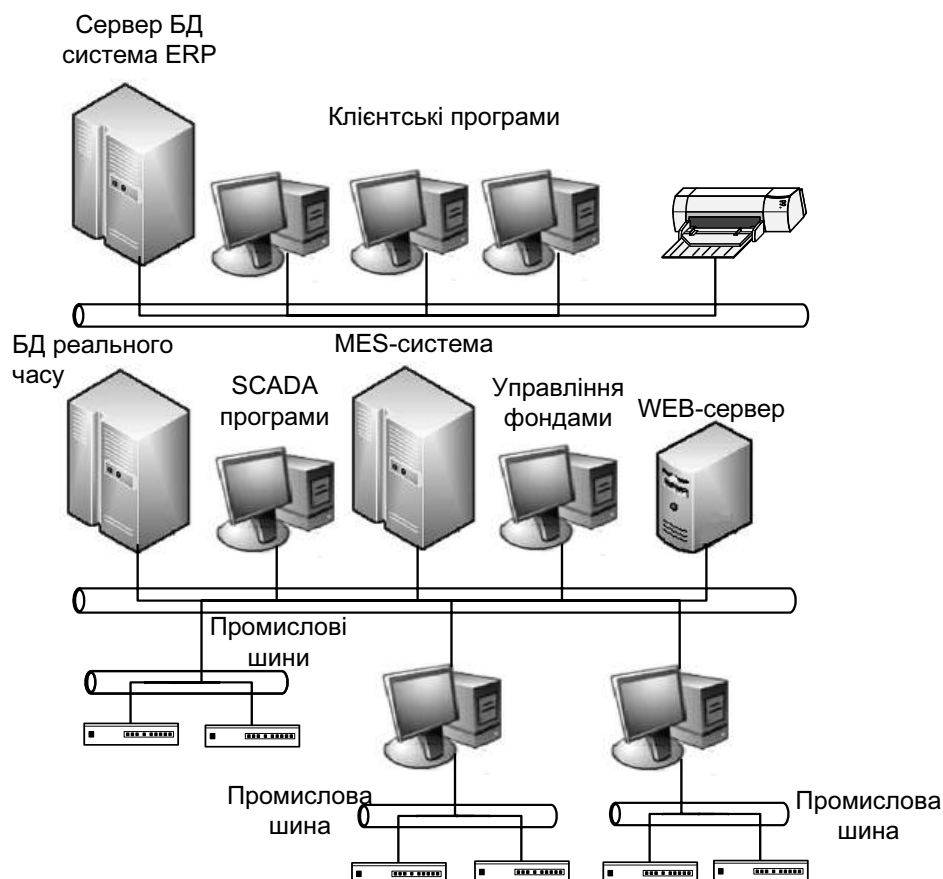


Рис. 2.2. Узагальнена схема розподіленої АСУ

Сучасна концепція розподіленого управління припускає деяке зміщення інтелекту на рівень ПЗО і навіть на рівень датчиків і виконавчих пристроїв. Це дозволяє розміщати ПЗО в безпосередній близькості від пристроїв нижнього рівня, даючи тим самим можливість зменшити вплив ліній передачі на передані сигнали, а також використовувати для зв'язку з пристроями наступного рівня обмежене число уніфікованих каналів – польових шин (*fieldbus*). Для критичних за швидкістю збору даних задач, наприклад, при реєстрації перехідних процесів або за необхідності швидкої обробки великого обсягу контрольованих параметрів, можуть бути використані локальні ПЗО, що працюють на магістралі керуючої системи.

Рівень контролю і управління технологічним процесом. Цей рівень є відносно автономним. За відсутності зв'язку з верхнім рівнем устаткування цього рівня здатно працювати достатній час без втрати інформації, здійснюючи при цьому автономне управління в звичайному і аварійному режимах.

На цьому рівні реалізується розподілена система управління на базі однієї або декількох польових шин.

Датчики є джерелами інформації для цього рівня, а як устаткування тут використовують програмувальні логічні контролери ПЛК (PLC – Programming Logical Controller) або промислові комп'ютери (PC-контролери).

Базові функції, що виконуються контролерним устаткуванням, такі:

- збір та обробка інформації про параметри технологічного процесу;
- управління електроприводами та іншими виконавчими механізмами;
- вирішення задач автоматичного логічного управління та ін.

Завдяки тому, що інформація в контролерах попередньо обробляється і частково використовується на місці, істотно знижуються вимоги до пропускну здатності каналів зв'язку.

До апаратно-програмних засобів контролерного рівня управління пред'являють жорсткі вимоги з надійності, часової реакції на виконавчі пристрої, датчики і т.д. Програмувальні логічні контролери мають гарантовано відгукуватися на зовнішні події, що надходять від об'єкта, за час, визначений для кожної події.

Для критичних з цього погляду об'єктів рекомендується використовувати контролери з операційними системами реального часу (ОСРЧ). Контролери під управлінням ОСРЧ функціонують у режимі жорсткого реального часу.

Розробка, налагодження і виконання програм управління локальними контролерами здійснюються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, широко представленого на ринку. До цього класу інструментального програмного забезпечення відносяться пакети ISaGRAF (*CJ International*, Франція), InControl (*Wonderware*, США) та інші, що мають відкриту архітектуру.

Інформація з локальних контролерів може спрямовуватися в мережу диспетчерського пункту безпосередньо, а також через контролери верхнього рівня. Залежно від поставленої задачі контролери верхнього рівня (концентратори, інтелектуальні або комунікаційні контролери) реалізують різні функції. Деякі з них перераховані нижче:

- збір та обробка даних з локальних контролерів;
- синхронізація роботи підсистем;
- організація архівів за вибраними параметрами;
- обмін інформацією між локальними контролерами та верхнім рівнем;
- робота в автономному режимі при порушеннях зв'язку з верхнім рівнем;
- резервування каналів передачі даних і т. ін.

На цьому рівні можна також робити переконфігурування контролерів і локально керувати й одержувати відображення ходу технологі-

чного процесу на графічній панелі оператора або переносній робочій станції на базі *Notebook*.

Уніфікація апаратних (процесори) і програмних (операційні системи) засобів привела до того, що контролер практично перестав відрізнятися від комп'ютера: з'явився новий клас пристроїв – РС-сумісні контролери (PC-based PLC). Очевидні переваги такого рішення – зниження вартості шляхом використання відкритих, добре пророблених технологій, значна гнучкість, скорочення термінів впровадження систем управління і спрощення процедури їхньої експлуатації. Умовним недоліком називають можливе зниження надійності програмно-технічного комплексу (ПТК) внаслідок підвищення складності апаратних і переважно програмних засобів.

Рівень магістральної мережі – входить не тільки до складу АСУ ТП, але і до всієї мережі підприємства.

Як промислова мережа, що поєднує контролерне устаткування й комп'ютери автоматизованих робочих місць оператора, набув поширення стандарт Industrial Ethernet.

На цьому рівні організується каналуотворююча кільцева магістраль із резервуванням зв'язків і відмовостійкими технологіями. Для гарантованості й передбачуваності передачі даних (відсутність колізій) використовують устаткування, що забезпечує адресну передачу даних у Ethernet мережі (тип передачі – повний дуплекс). Застосовують також і інше активне мережне устаткування – трансивери, маршрутизатори, комунікаційні сервери і т.д.

Функціональна взаємодія різних мереж організується через механізми міжмережної взаємодії. Так, мережі рівня Fieldbus через відповідні шлюзи можуть передавати дані в інші мережі, в тому числі й офісні, побудовані, як правило, на технології Ethernet. Мережі самого нижнього рівня (AS-i, Bitbus і ін.) взаємодіють з мережами рівня контролю і управління ТП (Profibus, CANBus і ін.). Останні передають дані на рівень магістралі, і далі вони можуть передаватися в мережі LAN і WAN.

Таким чином, цей рівень включає у свій склад існуючі мережі й забезпечує передачу даних на більш високі рівні для зв'язку з АСУП (MES/EAM, ERP/MRP).

На рівні магістралі устаткування вибирають виходячи з необхідної пропускної здатності мережі передачі даних, необхідних інтерфейсів, необхідних резервних зв'язків та їхньої кількості для забезпечення безперебійної роботи в режимі реального часу.

Устаткування має дозволяти масштабувати мережі модульним способом у міру необхідності й сприяти побудові більш гнучких конфігурацій промислових мереж. У важкодоступних місцях, де неможливо прокласти кабель, можна використовувати устаткування для безпроводного доступу. За необхідності можливе використання модулів IP-

маршрутизації або маршрутизаторів, що забезпечують доступ до глобальних мереж WAN.

До даного рівня також відносять сервер документування, дубльовані сервери архіву і бази даних (БД) реального часу (РЧ). Для забезпечення відмовостійкого доступу до даних про хід технологічного процесу сервери БД і документування дублюються подвійним підключенням до комутаторів магістральної мережі. Функціонально сервер БД має забезпечувати безперебійну роботу в режимі реального часу. Необхідно, щоб сервер документування автоматично генерував звітну документацію про хід технологічного процесу, а також виконував друк звітів і зведень, експорт даних у різні СКБД.

На *рівні автоматизованих робочих місць оператора або рівні людино-машинних інтерфейсів (НМІ)* здійснюється спостереження за процесом, реєстрація і архівація його параметрів, вирішуються обчислювальні й інформаційні задачі.

Надання технологічної інформації забезпечується використанням робочих станцій, екранів колективного користування і автоматизованих робочих місць.

Відмітною рисою індустриальних робочих станцій є розміщення дисплея, системного блока й клавіатури в єдиному конструктиві. Дисплей, плівкова клавіатура і власне комп'ютер об'єднані в загальний металевий корпус з винятково міцною вологозахищеною передньою панеллю. Дисплей захищається товстим склом, а органи управління і дисківід сховані за дверцятами, що замикаються.

До складу рівня входить підсистема аналізу інформації (переважно аварійної), що здійснює визначення характеристик аварії, формування векторних діаграм, визначення місця ушкодження, аналіз правильності дії пристроїв релейного захисту, автоматики, оперативного персоналу і т.д. Технологічна сигналізація сповіщає оперативний персонал про виникнення порушень у роботі електротехнічного устаткування, спрацьовуванні автоматичних пристроїв і захистів і містить у собі попереджувальні сигнали про відхилення окремих параметрів за установлені межі, сигнали про аварійне відхилення параметрів, сигнали про несправності технічних засобів системи.

Насамперед, цей рівень включає в себе одну або кілька станцій управління, що являють собою автоматизоване робоче місце (АРМ) диспетчера/оператора. На цьому рівні здійснюється взаємодія оператора з технологічним процесом через людино-машинний інтерфейс, реалізований у SCADA-системах.

SCADA дозволяють організувати зв'язок у реальному часі з ТП, візуалізацію інформації на екрані монітора в будь-якому зручному для оператора вигляді, контроль позаштатних ситуацій, організацію віддаленого доступу, збереження і обробку інформації.

Як вже зазначалося, останнім часом надзвичайно актуальними

стали вимоги інтеграції АСУ ТП з АСУП. Найважливіші передумови до цього процесу полягають у прагненні до оптимізації управління, скорочення витрат на виробництво та обслуговування, скорочення часу реакції апарата управління на динамічні зміни численних виробничих факторів.

Таким чином, у структурі управління з'являються сервери та клієнти (АРМ) *рівня корпоративної інформаційної системи* (КІС) підприємства, що пов'язує між собою всі функціональні служби підприємства і різні підсистеми АСУ ТП.

До задач цього рівня відноситься планування і управління ресурсами підприємства в цілому – ERP, планування ресурсів технологічних підрозділів підприємства – MRP, управління виробничими та людськими ресурсами в рамках технологічного процесу – MES і управління виробничими фондами EAM.

Крім того, на цьому рівні може розміщуватись Web-сервер для забезпечення доступу до технологічної інформації й управління ТП через Internet.

У сучасних системах є можливість здійснювати видалений моніторинг і управління ТП із переносних комп'ютерів з установленими виконавчими модулями SCADA-системи, з кишенькових комп'ютерів (PDA), використовуючи технології безпроводного зв'язку радіо-Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, GSM або мобільних телефонів з використанням технологій GSM, SMS, GPRS.

Контрольні запитання і вправи

1. Назвіть основні рівні сучасної системи комп'ютерної автоматизації виробництва.
2. Поясніть, чим викликано розмивання меж між рівнями автоматизації.
3. Перелічіть вимоги, що пред'являють до систем промислової автоматизації. Які з них ви вважаєте основними?
4. У чому полягає надмірність відмовостійкої технології?
5. Назвіть основні рівні надійності систем. Які їхні особливості?
6. З яких точок зору необхідно розглядати єдину інформаційну систему?
7. У чому відмінності розподілених і централізованих АСУ ТП?
8. Які основні характеристики сучасних АСУ ТП?
9. Перелічіть основні технічні вимоги до розподілених АСУ ТП.
10. Які функції АСУ ТП зазвичай відносять до керуючих, а які – до інформаційних?
11. До якого рівня АСУ ТП відносять ВМ і ПЗО?
12. Які вимоги до апаратного і програмного забезпечення пред'являють на рівні контролю і управління технологічним процесом?

13. На підставі яких міркувань відбувається вибір устаткування на рівні контролю і управління технологічним процесом?
14. Поясніть призначення рівня магістральної мережі.
15. До якого з рівнів АСУ ТП відносяться SCADA-системи:
 - а) зв'язку з об'єктом;
 - б) управління устаткуванням;
 - в) диспетчеризації;
 - г) планування ресурсів.
16. З чим, у першу чергу, пов'язані вимоги до інтеграції АСУП і АСУ ТП?
17. Коротко опишіть технологію якого-небудь відомого вам виробництва.
18. Розгляньте конкретні задачі, що могли б вирішуватися на кожному з рівнів автоматизації для даного виробництва.
19. Навіщо став потрібним рівень MES?
20. У чому полягає ефект від застосування рівня SCADA?

РОЗДІЛ 3



СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТП ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SCADA-СИСТЕМ

3.1. Визначення терміна SCADA

Концепція **SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерське управління і збір даних) визначена всім ходом розвитку систем управління і результатами науково-технічного прогресу.

Застосування SCADA-технологій дозволяє досягти високого рівня автоматизації у вирішенні задач розробки систем управління, збору, обробки, передачі, збереження та відображення інформації.

В цей час SCADA-технологія включає в себе:

1. Інструментальні засоби проектування автоматизованих систем збору даних й управління.
2. Проблемно-орієнтована мова проектування програмного забезпечення для автоматизації виробництва і експериментальних досліджень.
3. Прикладні системи автоматизації.
4. Технології автоматизації виробництва.

Дружність людино-машинного інтерфейсу (HMI/MMI), наданого SCADA-системами, повнота і наочність інформації, що подається на екрані, доступність "важелів" управління, зручність користування підказками та довідковою системою і т.д., підвищує ефективність взаємодії диспетчера із системою і зводить до нуля його критичні помилки при управлінні.

Слід зазначити, що за допомогою концепції SCADA, основу якої складає автоматизована розробка систем управління, можна вирішити ще ряд задач, що довгий час вважалися нерозв'язними: скоротити терміни розробки проектів з автоматизації і прямі фінансові витрати на їхню розробку.

У цей час SCADA є основним і найбільш перспективним методом автоматизованого управління складними динамічними системами (процесами).

Управління технологічними процесами на основі систем SCADA почало здійснюватися в 80-ті роки. Область їхнього застосування зараз охоплює складні об'єкти електро- і водопостачання, хімічні, нафтохімічні та нафтопереробні виробництва, залізничний транспорт, видобуток і транспортування нафти і газу, промислове виробництво, вироблення електроенергії, управління космічними об'єктами, управління повітряним, залізничним, автомобільним, водним транспортом, утримання будинків, лабораторні дослідження й ін.

Велике значення при впровадженні сучасних систем диспетчерського управління має вирішення задачі вибору SCADA-системи (виходячи з вимог і особливостей технологічного процесу).

3.2. Задачі, що розв'язуються SCADA-системою. Основні вимоги

У назві SCADA присутні дві основні **задачі**, покладені на системи цього класу:

- збір даних про контрольований процес;
- управління технологічним процесом, реалізоване відповідальними особами (диспетчерами) на основі зібраних даних і правил (критеріїв, алгоритмів), виконання яких забезпечує найбільшу ефективність технологічного процесу.

Спектр **функціональних** можливостей визначений самою роллю SCADA у системах управління і реалізований практично у всіх програмних пакетах:

- автоматизована розробка, що дає можливість створення ПЗ системи автоматизації без реального програмування;
- збір первинної інформації від пристроїв нижнього рівня (з датчиків і контролерів);
- обробка й перетворення первинної інформації;
- управління і реєстрація алармів (сигналів про аварійні або позаштатні ситуації) й історичних даних;
- збереження інформації з можливістю її пост-обробки (як правило, реалізується через інтерфейси до різних баз даних);
- візуалізація ходу технологічного процесу – подання поточної й архівної інформації у вигляді мнемосхем, графіків, гістограм, таблиць і т.п.;
- прийом команд оператора і передача їх для виконання контролерів пристроїв збору даних і виконавчих механізмів;
- формування і друк зведень, звітів, протоколів про роботу устаткування та інших звітних документів;
- реєстрація подій, пов'язаних з контрольованим технологічним процесом, станом системи і діями персоналу;
- використання поточної інформації для вирішення задач користувача;
- засоби виконання прикладних програм;
- можливість роботи прикладної системи з наборами параметрів, розглянутих як "єдине ціле" – рецептами ("recipe" або "установки");
- організація зв'язку з пристроями, підключеними до інформаційної мережі;
- обмін інформацією з автоматизованою системою управління підприємством;
- захист від несанкціонованого втручання у функціонування SCADA-системи та у контрольований процес;

- самоконтроль і самодіагностика SCADA-системи.

В усіх SCADA-системах передбачено створення графічних образів промислових об'єктів, введення стандартних і користувальницьких законів регулювання і алгоритмів управління, підключення нестандартного устаткування, моделювання процесу та ін.

Вбудований графічний редактор дозволяє створювати мнемосхему процесу в статичі, подання роботи в динаміці і бажане відображення технологічних параметрів.

Даний перелік функцій, виконуваних SCADA-системами, не є абсолютно повним, більше того, наявність деяких функцій і обсяг їхньої реалізації сильно варіюється від системи до системи.

Для створення безпеки і надійності управління процесом SCADA-система має задовольняти такі **вимоги**:

- ніяка одинична відмова устаткування не повинна приводити до видачі помилкової команди управління;
- необхідно, щоб ніяка одинична помилка оператора не приводила до видачі помилкової команди управління;
- всі операції управління мають бути інтуїтивно зрозумілими диспетчеру.

Особливо ефективно **застосування** систем SCADA для виробництв, у яких:

- технологічні процеси мають контролюватися людиною;
- невірний вплив на об'єкт може призвести до катастрофічних наслідків;
- у нормальних умовах іноді потрібно коректувати управління устаткуванням;
- оператор несе відповідальність за хід виробництва, але його втручання в процес відбувається рідко, за винятком непередбачених ситуацій;
- у непередбачених ситуаціях час прийняття рішень оператором обмежено секундами і хвилинами.

3.3. Загальна структура SCADA

Загальна структура SCADA містить три компоненти (рис. 3.1):

- видалені термінали **RTU** (*Remote Terminal Units*) – датчики стану устаткування, виконавчі пристрої, програмувальні логічні контролери і промислові комп'ютери, що забезпечують управління устаткуванням у 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;
- комунікаційна система **CS** (*Communication System*) – канали зв'язку головного і видаленого терміналів.

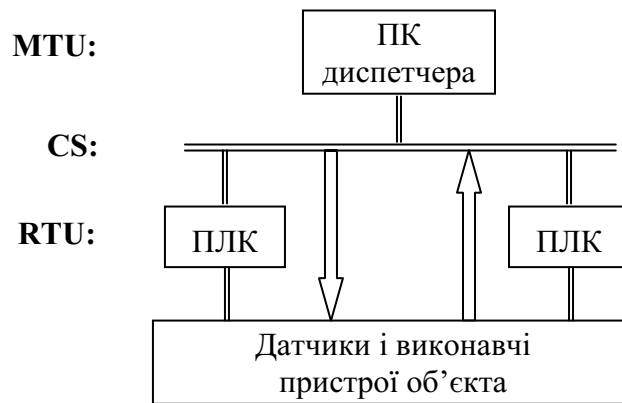


Рис. 3.1. Загальна структура SCADA-системи

Видалені термінали RTU будують у вигляді промислових комп'ютерів (PC-контролерів) або програмувальних логічних контролерів PLC. Сучасні термінали розробляють на основі мікропроцесорної техніки. Вони працюють під управлінням операційних систем реального часу, за необхідності поєднуються в мережу, безпосередньо або через мережу взаємодіють з інтелектуальними електронними датчиками об'єкта управління і комп'ютерами верхнього рівня.

Конкретна реалізація RTU залежить від галузі застосування. Це можуть бути спеціалізовані (бортові) комп'ютери, в тому числі мультіпроцесорні системи, звичайні мікрокомп'ютери або персональні ЕОМ.

Промислові комп'ютери являють собою, як правило, сумісні з IBM PC машини, але адаптовані для жорстких умов експлуатації (для установки на виробництві, у цехах і т.д.). Адаптація відноситься не тільки до конструктивного виконання, але і до архітектури і схемотехніки, тому що зміни температури навколишнього середовища приводять до дрейфу електричних параметрів. Як пристрої сполучення з об'єктом управління дані системи комплектуються додатковими платами (адаптерами) розширення. Як операційну систему в промислових PC, що працюють у ролі видалених терміналів, найчастіше застосовують ОС реального часу QNX, ОС Windows і різні розширення реального часу, спеціально розроблені для неї.

Програмувальні логічні контролери PLC являють собою спеціалізовані обчислювальні пристрої, призначені для управління процесами (об'єктами) у реальному часі. Промислові контролери мають обчислювальне ядро і модулі введення-виведення, що приймають інформацію (сигнали) з датчиків, перемикачів, перетворювачів, інших пристроїв і контролерів і здійснюють управління процесом або об'єктом видачею керуючих сигналів на приводи, клапани, перемикачі й інші виконавчі пристрої. Сучасні PLC часто поєднуються в мережу (RS-485, Ethernet, різні типи промислових шин), а програмні засоби, що розроблені для них, дозволяють у зручній для оператора формі програмувати і керувати ними через комп'ютер, що знаходиться на верхньому рівні SCADA-системи диспетчерського пункту управління MTU.

Апаратні засоби PLC дозволяють ефективно будувати відмовостійкі системи для критичних галузей на основі багаторазового резервування. РС-контролери застосовують переважно в менш критичних галузях, хоча все частіше зустрічаються приклади і більш відповідальних застосувань.

Диспетчерські пункти управління MTU будують за технологією «клієнт/сервер» і містять у собі чотири основних компоненти:

1. *Людино-машинний інтерфейс* (MMI – Man-Machine Interface або HMI – Human-Machine Interface) – винятково важлива складових SCADA-систем, для якої характерні такі особливості:

- стандартизація інтерфейсу користувача навколо декількох платформ;
- тенденція все більш зростаючого впливу Windows NT;
- використання стандартного графічного інтерфейсу користувача (GUI);
- технології об'єктно-орієнтованого програмування: DDE, OLE, Active, OPC (OLE for Process Control), DCOM;
- стандартні засоби розробки проектів, найбільш популярне серед яких Visual C++;
- об'єктна незалежність, що дозволяє використовувати віртуальні об'єкти, створені іншими системами.

2. *Система управління базами даних* (Data Management)

Загальною тенденцією тут є відхід від вузькоспеціалізованих баз даних у бік підтримки універсальних корпоративних реляційних баз даних (Microsoft SQL Server, Oracle). Функції управління даними і генерації звітів здійснюються стандартними засобами технологій ODBC, OLEDB, SQL, 4GL. Ця незалежність даних ізолює функції доступу і управління даними від цільових задач SCADA, що дозволяє легко розробляти додаткові програми з аналізу і управління даними.

3. *Система зв'язку зі стандартними промисловими шинами* (Networking and Services)

Перехід до використання стандартних мережних технологій і протоколів. Служби мережного управління, захисту і управління доступом, моніторингу транзакцій, передачі повідомлень, сканування доступних ресурсів (процесів) можуть виконуватися незалежно від коду цільової програми SCADA.

4. *Служби реального часу* (Real-Time Service)

Звільнення MTU від навантаження перерахованих вище компонентів дає можливість сконцентруватися на вимогах продуктивності для задач реального часу. Дані служби являють собою швидкодіючі процесори, що керують обміном інформацією з RTU і SCADA-процесами, здійснюють управління резидентною частиною бази даних, оповіщення про події, виконують дії з управління системою, передачу інформації про події на інтерфейс користувача (оператора).

Комунікаційні системи CS надають канали зв'язку для сучасних диспетчерських систем і відрізняються великою різноманітністю. Вибір конкретного рішення залежить від архітектури системи, відстані між MTU і RTU, кількості контрольованих точок, вимог щодо пропускної здатності й надійності каналу, наявності доступних комерційних ліній зв'язку і т. ін.

З'єднання головного й видаленого терміналів промисловими шинами дозволило підключати комп'ютер до шини на будь-якій ділянці підприємства з метою спостереження за процесом, діагностики відмов устаткування, обміну інформацією з різними підсистемами.

У сучасних виробничих системах велику популярність завоювали промислові шини – спеціалізовані швидкодіючі канали зв'язку, що дозволяють ефективно вирішувати задачу надійності й перешкодостійкості з'єднань на різних ієрархічних рівнях автоматизації.

З усієї різноманітності промислових шин, що застосовують у всьому світі, варто виділити найбільш популярні й перспективні – промисловий варіант Ethernet (Industrial Ethernet) і PROFIBUS.

Тенденцією розвитку CS як структурного компонента SCADA-систем можна вважати використання не тільки великої різноманітності середовищ і каналів передачі даних, але також і корпоративних комп'ютерних мереж і спеціалізованих промислових шин.

3.4. Функціональна структура SCADA

SCADA пропонує широку гаму різних рішень для розподілу даних проекту між серверами і операторськими терміналами (клієнтами), як локальними, так і видаленими.

Вбудована архітектура мультіклієнт/мультисервер використовує стандартні комунікаційні протоколи, щоб забезпечити доступ до розподілених і видалених серверів у мережі TCP/IP. Оператори можуть одержати доступ і керувати даними від проекту, розподіленого на різних серверах. Декілька клієнтів можуть підключатися до одного сервера одночасно. Оскільки клієнтські станції незалежні, то дуже легко розробляти специфічні проекти клієнтської графіки, не модифікуючи проект SCADA на сервері або на інших клієнтах.

SCADA-система дозволяє синхронізувати набір серверів один з одним так, щоб розподілений проект був однаково поданий на декількох робочих місцях. Для обміну даними по локальній мережі між клієнтами й серверами SCADA-системи необхідно настроїти і запустити мережну операційну систему.

Можна побудувати системи з резервуванням серверів і забезпечити високу надійність роботи SCADA. Така архітектура, основана на моделі «клієнт/сервер», поєднує два чи більше серверів і за допомогою автоматичного вибору в момент виникнення помилки основного і резервного серверів забезпечує високу надійність системи. Оператор-

ські станції клієнтів автоматично підключаються до сервера, що в даний момент вважається основним. Для простоти формування такої архітектури зазвичай пропонується готова методика переключення, що може бути змінена відповідно до специфічних потреб користувача.

У типовій функціональній структурі SCADA-системи є три основних підсистеми (рис. 3.2):

- інструментальне середовище розробки SCADA;
- SCADA-сервер (ядро);
- SCADA-клієнт (середовище виконання).

Інструментальне середовище розробки містить у собі:

- редактор проекту (бази каналів) – Project Editor;
- редактор подання даних – Graphics Editor;
- редактор шаблонів – Templates Editor;
- бібліотеки графічних об'єктів – Graphics Libraries;
- підсистему розробки інтерфейсу з устаткуванням і комплект драйверів – Driver Toolkit.

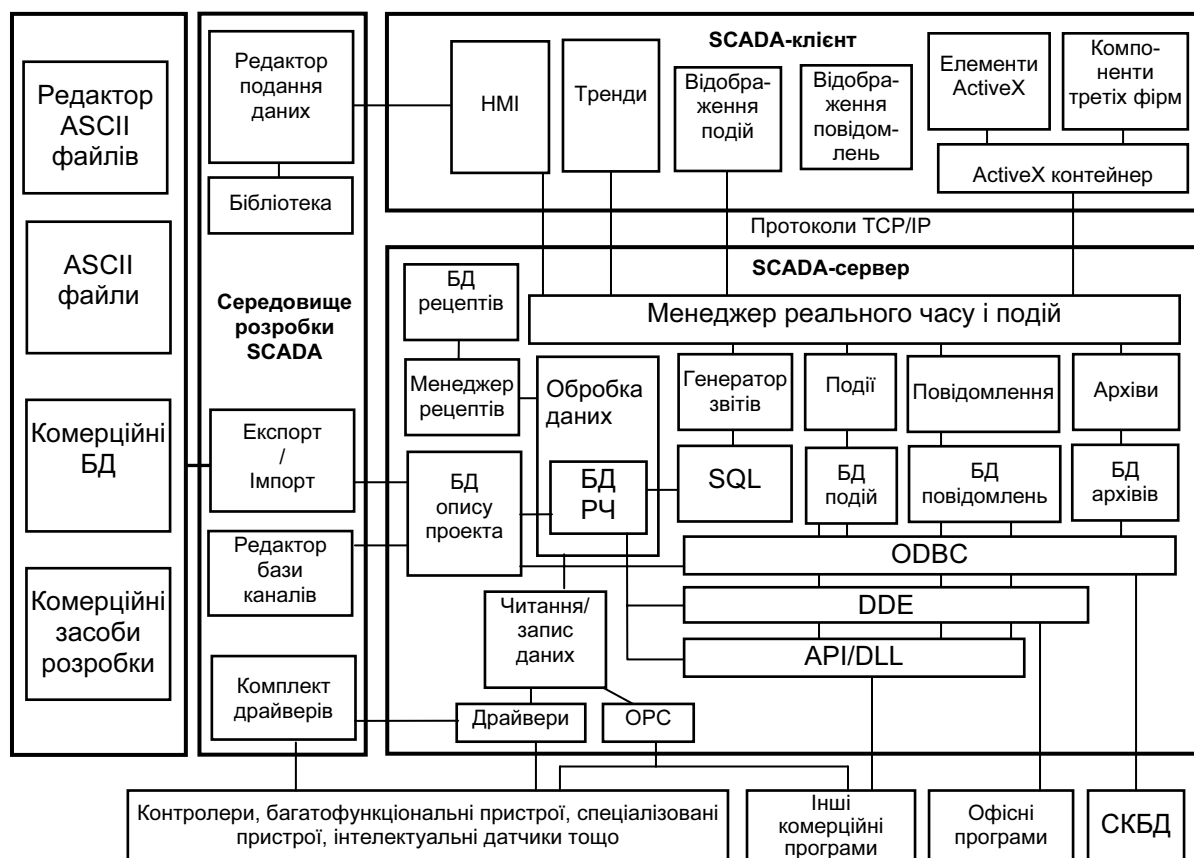


Рис. 3.2. Функціональна структура SCADA-системи

У редакторі проекту створюється математична основа системи управління: описуються конфігурації робочих станцій, контролерів і ПЗО, а також настроюються інформаційні потоки між ними. Тут же описуються вхідні і вихідні сигнали та їхній зв'язок із пристроями збору даних та управління. У цьому редакторі задаються періоди опитування

або формування сигналів, настроюються закони первинної обробки і управління, технологічні границі, програми обробки даних та управління. Тут настроюється архівація технологічних параметрів, мережний обмін, а також вирішуються деякі інші задачі. Результатом роботи в цьому редакторі є математична й інформаційна структури проекту АСУ ТП.

У **редакторі подання даних** розробляється графічна частина проекту системи управління (мнемосхеми – графічні екрани для візуалізації стану технологічного процесу і управління ним). При цьому створюється статичний рисунок технологічного об'єкта, а потім поверх нього розміщуються динамічні форми відображення і управління. Серед них такі, як поля виведення числових значень, графіки, гістограми, кнопки, області введення значень і переходу до інших графічних фрагментів і т.д.

Далі в процесі створення мнемосхем для автоматизованих робочих місць операторів у системі необхідно зробити настроювання параметрів відображення і виконати прив'язку параметрів до технологічних змінних бази даних реального часу. Таким чином, усі форми відображення інформації, управління і анімаційні ефекти пов'язуються з інформаційною структурою, що розроблена в редакторі проекту.

Крім стандартних форм відображення є можливість вставляти в проекти графічні форми подання даних або управління, розроблені користувачами. Для цього можна використовувати стандартний механізм ActiveX.

Для розробки шаблонів звітів про хід технологічного процесу в інструментальну систему входить спеціальний редактор – **редактор шаблонів**.

Редактор подання даних зазвичай має потужний механізм тиражування готових рішень у галузі створення інтерфейсу оператора. Для цього використовують графічні об'єкти. Оформлені у вигляді об'єктів типові графічні фрагменти можуть вставлятися в екрани графічних баз будь-яких проектів. Графічні об'єкти зібрані в **бібліотеки**.

Драйвер потрібний, якщо протокол обміну даними з використовуваним пристроєм не вбудований у систему. Основною функцією драйвера є забезпечення зв'язку SCADA із зовнішніми пристроями. Це можуть бути пристрої збору, збереження, обробки, передачі даних (контролери, ПЗО, інший комп'ютер і т.д.) або які-небудь інші пристрої. Драйвер здійснює узгодження форматів даних SCADA і апаратури, для зв'язку з якою він розроблений.

Середовище виконання – це комплекс програм, під управлінням яких запускається АСУ, створена в інструментальній системі. Вона призначена для запуску на АРМ операторів, які здійснюють з її допомогою супервізорний контроль та управління технологічними процесами. Під її управлінням виконуються такі задачі:

- запит даних про стан технологічного процесу з контролерів нижнього рівня по кожному з вбудованих протоколів або через драйвер;
- передача на нижній рівень команд управління по кожному з вбудованих протоколів або через драйвер;
- обмін даними з платами ПЗО;
- збереження даних в архівах;
- обмін по мережі з видаленими АРМ;
- передача даних по мережі на наступний рівень АСУ;
- обмін з базами даних через ODBC;
- подання оператору графічної інформації про стан технологічного процесу;
- автоматичне й супервізорне управління технологічним процесом;
- обмін даними з іншими програмами через DDE, OPC та інші функції.

Крім того, у складі середовища виконання можуть бути й інші програми: **сервер архівування**, призначений для ведення глобального архіву по всьому проекту; **сервер документування**, що використовують для вирішення задачі документування технологічної інформації (за власним сценарієм або командою оператора інтерпретує створені заздалегідь шаблони, запитує необхідні дані і формує по них готові документи); **Web-сервер**, що дозволяє керувати технологічним процесом через Internet і т. ін.

База даних SCADA-системи, що входить в її ядро, включає в себе такі БД: описів проекту (Reference DB), реального часу (Real Time DB), подій (Alarm DB), повідомлень (Log DB), архівів (Archive DB) і рецептів (Recipe DB).

База даних реального часу, що знаходиться в оперативній пам'яті, є основою програмного забезпечення SCADA. Ця база даних зберігає всі дані, що як надходять від процесу, так і передаються до нього і використовуються для роботи системи.

Кожна задача має доступ до всієї бази даних реального часу і використовує її як засіб обміну даними з іншими задачами. Цей метод обміну даними забезпечує незалежність різних задач одна від одної.

База даних реального часу відбиває стан процесу, запущеного в даний момент. Клієнтська програма підключається до сервера через менеджер реального часу й подій (RT & Event Manager) і одержує доступ до бази даних реального часу. Через клієнтську частину за допомогою графічного інтерфейсу, що містить мнемосхеми, оператори контролюють роботу системи управління в режимі реального часу.

Різні клієнти залежно від організації їхньої роботи можуть одержувати доступ до одного сервера або набору серверів через мережні з'єднання. Обмін даними між клієнтами і сервером SCADA здійснюється в режимі реального часу.

База даних SCADA-системи взаємодіє з устаткуванням через

драйвери введення/виведення різних протоколів обміну, а з клієнтськими програмами – по інтерфейсах API/DLL, DDE, OPC, ODBC.

SCADA-система підтримує обмін даними з різними контролерами. Як правило, для PC-контролерів обмін реалізується за власними протоколами SCADA-системи, а для інших – за їхніми протоколами. Частина цих протоколів, як правило, вбудовується у виконавчі модулі SCADA-системи, а частина поставляється у вигляді бібліотек, що динамічно завантажуються.

Пропоновану функцію **трендів** у SCADA-системах можна розділити на тренди "реального часу" й "історичні" тренди. Дані з будь-якого сервера SCADA можуть бути показані в графічному вигляді для того, щоб:

- мати більше інформації про контрольовані дані;
- легко визначати будь-які зміни значення змінної або тенденцію;
- виконувати порівняння;
- робити регулювання/настроювання процесів управління.

Тренди "реального часу" можуть бути використані для того, щоб показувати поточні зміни змінних з бази даних реального часу.

Тренди "історії" дозволяють відображати дані за минулий проміжок часу. Дані вибирають з архіву змін змінних, що зберігаються в реляційній базі даних. Одна або більше змінних можуть бути показані як тренд в одному і більше вікон трендів у кожному відеокадрі проекту.

З кожною базою даних пов'язано **окремий функціональний блок**: обробка і доступ до даних технологічного процесу (Data Access & Processing); виявлення критичних та аварійних ситуацій (Alarms & Events); журнали повідомлень (Log Access); архівування історії зміни параметрів технологічного процесу (History Access); менеджер рецептів (Recipe Manager).

Блок **Data Access & Processing** забезпечує:

- зчитування технологічних параметрів;
- збереження технологічних параметрів у базі даних реального часу, що надає інтерфейси для доступу до неї по мережі;
- відображення технологічних параметрів на графічних мнемосхемах;
- відображення технологічних параметрів у вигляді графіків поточних значень (трендів).

Блок **Alarms & Events** забезпечує:

- виявлення аварійних ситуацій;
- відображення аварійних і технологічних повідомлень;
- відображення аварійних ситуацій як реакції динамічних елементів графічних мнемосхем на відповідні події.

Блок **History Access** здійснює:

- архівування історії зміни параметрів технологічного процесу;
- перегляд історії зміни параметрів технологічного процесу у вигляді графіків;

- генерування звітів з історії зміни параметрів технологічного процесу.

Блок **Recipe Manager** дозволяє:

- створювати і зберігати виробничі рецепти (набір даних для одночасного завантаження в ПЛК);
- зчитувати і завантажувати рецепти в ПЛК.

Завдяки великій гнучкості в підтримці даних рецептів досягається велика гнучкість у зміні виробничих завдань. Будь-який рецепт може бути створений на основі діалогу з оператором із внутрішніх даних і/або даних із підключених ПЛК.

Одним із перспективних стандартів обміну даними між програмами при створенні систем управління є механізм OPC (OLE for Process Control). SCADA-система, як правило, може виступати як OPC-сервер і/або як OPC-клієнт.

OPC-сервер SCADA-системи виконує такі функції:

- обмін даними між АРМ й апаратними пристроями за одним або декількома каналами введення-виведення з підтримкою різних протоколів;
- ведення бази даних реального часу технологічних змінних;
- архівування історії зміни параметрів технологічного процесу;
- первинна обробка даних;
- надання набору OPC Data Access інтерфейсів для доступу до значень технологічних змінних і значенням їхніх властивостей;
- надання набору OPC Alarms & Events інтерфейсів для одержання подій і повідомлень про критичні й аварійні ситуації;
- надання набору OPC History Data Access інтерфейсів для доступу до даних архіву історії зміни параметрів технологічного процесу.

У складі серверної частини SCADA-системи, як правило, є **модуль звертання до баз даних** через структурну мову запитів SQL. Інтерфейси до реляційних баз даних забезпечують передачу інформації між базою даних реального часу та зовнішніми реляційними базами даних. Вони можуть писати, читати і обновляти таблиці та дані в таблицях реляційної бази даних. Вони керують пересиланням запитів від інших клієнтських задач SCADA-системи до зовнішніх баз даних. Як правило, SCADA-системи можуть працювати з такими базами даних, як Microsoft SQL Server, Oracle, Sybase, а також усіма базами даних з ODBC інтерфейсом.

Будь-яке програмне забезпечення SCADA або система моніторингу виробничого процесу має не тільки давати команди на виконання різних операцій і відображати їхнє виконання, але також мати можливість виводити тверду копію даних цих процесів. **Генератор звітів** (Report Generator) використовують, щоб надрукувати будь-які дані, збережені в базі даних у будь-якому форматі, що задається на стадії розробки. Використовуючи форми звітів, створені самим користувачем

у редакторі шаблонів, їх можна друкувати, передавати по мережі або зберігати на диску.

3.5. Види інформації. Джерела даних

У керованому технологічному процесі можна виділити основні потоки інформації, що характеризуються такими групами параметрів:

Вимірювані параметри $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, до яких відносяться: вимірювані, але некеровані параметри, що залежать від зовнішніх факторів (параметри заготовок, характеристики технологічного та допоміжного устаткування, інструмента, оснащення й ін.); вихідні параметри, що характеризують якість виробів, що випускаються; вихідні параметри, по яких безпосередньо або шляхом обчислень визначають ефективність виробничого процесу (продуктивність, економічність і т. ін.) або обмеження, накладені на умови його проходження.

Керовані параметри $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, що можуть змінюватися відповідними виконавчими механізмами, уставками регуляторів і т.п.

Невимірювані та некеровані параметри $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ – характеристики технологічного устаткування, що змінюються з часом, характеристики сировини, знос інструмента, відмови устаткування і т. ін. Наявність подібних випадкових факторів, що впливають на об'єкт управління, може значно впливати на керовану величину Y і додає стохастичного характеру потокам вимог на обслуговування. На вхід контролерного устаткування від датчиків надходить вимірювальна інформація про поточні значення параметрів X , що характеризують хід технологічного процесу.

Програмно-технічний комплекс обробляє цю інформацію відповідно до прийнятого закону управління (алгоритмом управління), визначає **керуючі впливи** $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$, які необхідно прикласти до виконавчих механізмів для зміни керованих параметрів Y для того, щоб керований процес проходив оптимально.

Багато вимірювальних датчиків виробляють свої сигнали у вигляді напруги, сили струму, опору, кута повороту і т.п., тобто у формі безперервного (аналогового) сигналу. Керуючі впливи u , що підводяться до виконавчих механізмів, мають вироблятися у формі напруг, тобто також в аналоговій формі.

Оскільки контролерне устаткування оперує з цифровими (дискретними) величинами, то величини X , які надходять на його вхід, мають попередньо бути перетворені в цифрову форму, а вироблені ним величини керуючих впливів – з цифрової форми в аналогову, тобто у відповідні напруги. Деякі вхідні сигнали (наприклад, видавані кінцевими вимикачами, фотореле й ін.) і деякі вихідні керуючі сигнали (наприклад, включення двигунів, сигнальні транспаранти й ін.) мають релейний характер.

Таким чином, у ПТК мають входити перетворювачі аналогових величин у цифрові і навпаки (АЦП/ЦАП). З метою зменшення обсягу устаткування їх, як правило, виконують багатоканальними. За допомогою комутатора перетворювач по черзі підключається до кожного датчика і здійснює перетворення відповідної аналогової величини в цифрову форму, після чого отриманий у результаті перетворення цифровий код вводиться в пам'ять контролера.

Важливою особливістю АСУ ТП є здійснення управління в темпі проходження технологічного процесу, тобто в *реальному масштабі часу*. Обробка інформації здійснюється в реальному часі, якщо час на запити, зазвичай довільний, обмежується зовнішніми умовами. Під зовнішніми умовами розуміють зайнятість передавальних пристроїв і ЕОМ вирішенням інших задач, важливість і терміновість яких визначається відповідною системою пріоритетів.

У системі, що функціонує в реальному масштабі часу, інформація, яка приходить ззовні, або сприймається і обробляється на ЕОМ безпосередньо в момент її надходження, якщо ЕОМ не завантажена роботою або пріоритет запиту найвищий, або фіксується і надходить в обробку залежно від пріоритету запитуваного абонента. У системі обробки інформації в реальному масштабі часу для кожної такої задачі встановлюється реально необхідний проміжок часу, протягом якого відповідний запит має бути обов'язково виконаний. Залежно від рівня запитуваного абонента в структурі технічних засобів і важливості самого запиту при однаковому рівні двох або більшої кількості абонентів встановлюються пріоритети запитів абонентів. Зазначеною системою пріоритетів визначається дисципліна черги при вирішенні будь-яких задач управління.

За *метою витягу інформації* параметри можна класифікувати на п'ять категорій: управління, ідентифікації, виміру, контролю і рахунку. **Керуючі** параметри необхідні для сприйняття інформації та реалізації відповідних дій. **Ідентифікуючі** параметри використовують для «впізнання» фізичного об'єкта або процесу та віднесення його до того чи іншого класу. **Контролюючі** параметри визначають відповідність станів об'єкта заздалегідь заданій нормі. **Рахункові** параметри визначають числове значення якісно однотипних об'єктів у даній сукупності.

Стосовно *технологічного процесу* параметри підрозділяють на вхідні, проміжні та вихідні. **Вхідні** параметри характеризують якість і кількість вихідних продуктів (сировина або напівфабрикат), дані лабораторних експериментів, показання аналітичних приладів і т.п. **Проміжні** параметри відбивають хід технологічного процесу в проміжних ланках технологічного ланцюга. **Вихідні** параметри характеризують узагальнені техніко-економічні показники, якими оцінюють якість й економічну ефективність роботи об'єктів і процесів.

За *інформативною ознакою* параметри підрозділяють на інформативні та неінформативні. **Інформативні** параметри – параметри процесу, що є вимірюваними фізичними величинами або функціонально пов'язаними з вимірюваними або відтвореними величинами. **Неінформативні** параметри – параметри, не пов'язані функціонально з вимірюваною величиною. Однак неінформативні параметри можуть впливати на засіб вимірювань, що викликає зміну його показань.

Класифікація параметрів за *характером вимірювань* показана на рис. 3.3.

За *можливістю контролю* параметри можна класифікувати на **контрольовані** та неконтрольовані, причому перші визначаються показаннями аналітичних приладів, операціями обліку і т. ін. **Неконтрольовані** параметри характеризуються впливами випадкових процесів – флуктуації характеристик матеріалу, змінами навколишнього середовища, впливами зносу й старіння устаткування, явищами наведень і т.д.

За *напрямком управління* параметри підрозділяють на керовані та керуючі.

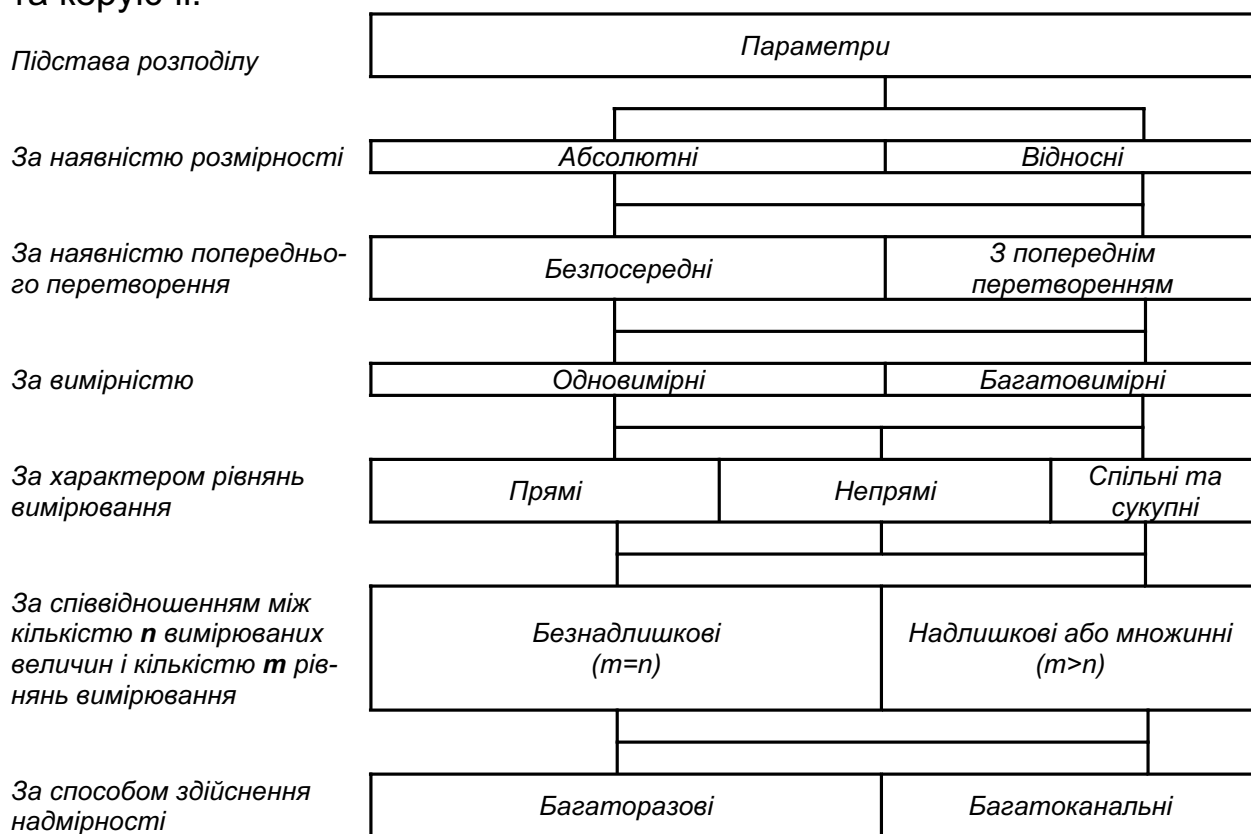


Рис. 3.3. Класифікація параметрів за характером вимірювань

Керовані параметри характеризують стан технологічного процесу, що піддається управлінню. **Керуючі** параметри визначають впливи, за допомогою яких підтримується заданий технологічний режим процесу, зміни станів агрегатів і технічних засобів і т.п.

За ступенем локалізації параметри класифікуються на зосере-

джені та розподілені. **Зосереджені** параметри характеризують стан локальних ділянок процесу. **Розподілені** параметри визначають фізичні величини, розподілені в просторі.

Класифікація параметрів за видами вимірювальних сигналів показана на рис. 3.4.

3.6. Склад і загальна характеристика апаратно-технічних і програмних засобів автоматизації

Технічні засоби промислової автоматизації мають різні виконання: для експлуатації в звичайних промислових умовах; для експлуатації в складних промислових умовах; вибухобезпечне устаткування; для експлуатації в розширеному діапазоні температур; для систем, що вбудовуються, і мобільних систем.

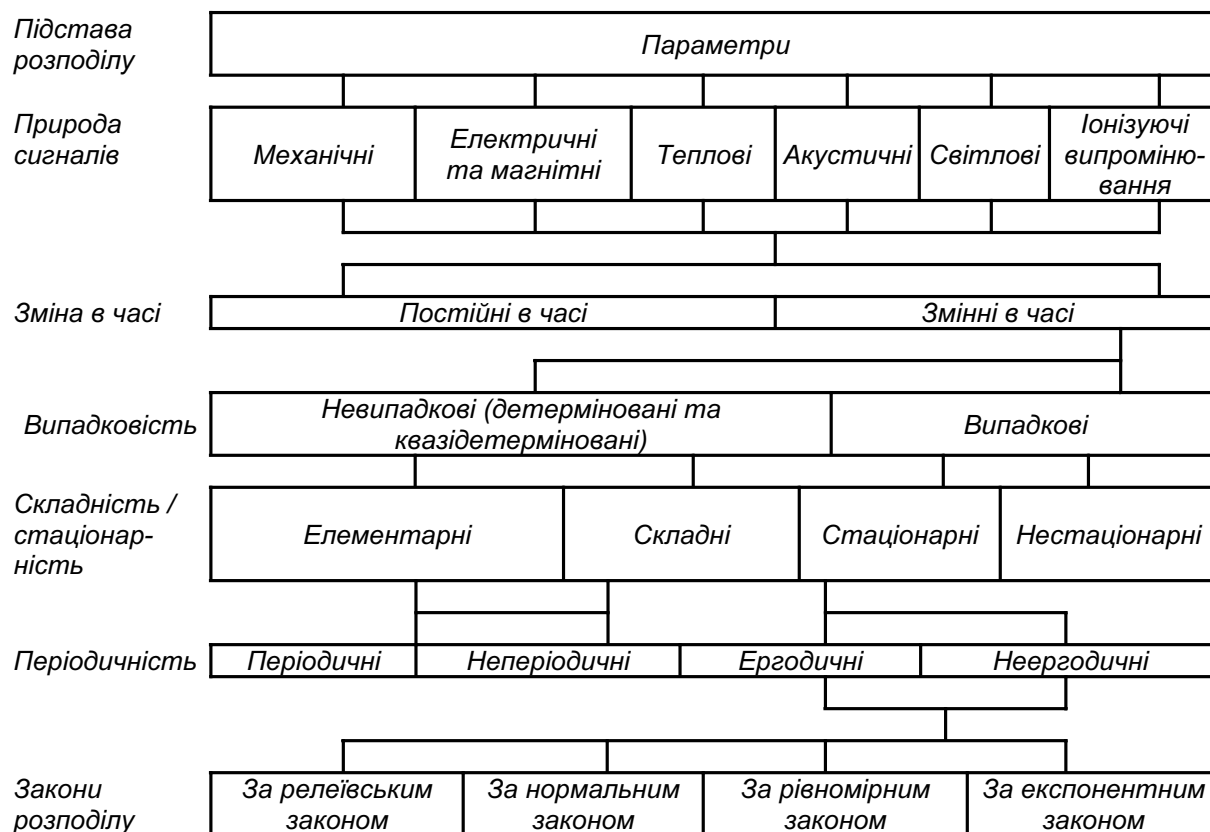


Рис. 3.4. Класифікація параметрів за видами вимірювальних сигналів

Перелік продукції промислової автоматизації:

1. Датчики. У цьому класі подано устаткування для одержання інформації про будь-які параметри технологічного процесу в найрізноманітніших за складністю умовах роботи. Існують датчики, що дозволяють вимірити і передати для обробки значення практично будь-якої фізичної величини, які забезпечують при цьому високу точність, мають компактний і технологічний дизайн і високий ступінь захисту від впливів навколишнього середовища.



Спектр устаткування для збору інформації про хід технологічного процесу подається такими видами: датчики рівня, тиску, маси, температури, наближення, положення, витрати, системи технічного зору, ідентифікації, засоби виміру маси, навантаження (тензодатчики), вимірювальні перетворювачі, витратоміри, таймери, тахометри, лічильники, шифратори збільшень, лінійних переміщень, абсолютні шифратори, перетворювачі частоти і т. ін.

Деякі датчики підтримують передачу даних за допомогою різних стандартів послідовних інтерфейсів, у тому числі AS-Interface.

На ринку засобів промислової автоматизації польового рівня визнаними лідерами є такі компанії: *Omron* (Японія), *Pepperl+Fuchs* (Німеччина), *Scaime* (Франція), *Siemens* (Німеччина).



2. Виконавчі пристрої (приводи, сервоприводи, інвертори, реле загального й спеціального призначення, програмувальні реле, терморегулятори). Фірми-виробники в основному ті ж, що і для датчиків.

3. Вимірювальна техніка і засоби автоматизації експерименту, що включають в себе контрольновимірювальне устаткування і системи, системи автоматизованого контролю, програмні продукти й засоби електронного моніторингу і управління, генератори функцій і сигналів, осцилографи загального призначення, логічні та спектральні аналізатори, мультиметри, портативні аналізатори, інтерфейсні багатофункціональні плати для підтримки осцилографів. Сюди також відносять устаткування, що забезпечує захист від шумів, перешкод у колах живлення, ефекту "земляної петлі" та інших явищ, характерних для умов промислової експлуатації (модулі гальванічної розв'язки, нормалізації аналогових сигналів і т. ін.).



Нормалізатори перетворюють сигнали від первинних датчиків – джерел постійної та змінної напруги і струму, струмової петлі, термопар, термометрів опору, тензодатчиків, резисторів і потенціометрів і т.д. до уніфікованих сигналів стандартних діапазонів.

Крім функції перетворення нормалізатори додатково забезпечують повну гальванічну розв'язку, фільтрацію, буферизацію, посилення або ослаблення сигналу, лінеаризацію, детектування обриву датчика.

Серед фірм-розробників цього устаткування слід відзначити: *ADDI-DATA* (Німеччина), *Agilent Technologies* (США), *Dataforth* (США), *Signatec* (США), *VMIC* (США).

4. Джерела живлення (джерела безперебійного живлення, засоби захисту ліній зв'язку, промислові й телекомунікаційні джерела живлення змінного та постійного струму різної потужності (AC/DC і DC/DC), джерела для монтажу в стояки і отвори друкованої плати, перетворювачі постійної напруги, перемикачі потужності, мережні джерела вторинного електроживлення, плати SNMP-моніторингу, модулі сполучення мереж постійного струму, випрямлювачі, струмові вимикачі, перешкодозахисні фільтри, відмовостійкі джерела живлення, стабілізовані джерела живлення).



Фірм-постачальників даної продукції дуже багато, однак найбільша частка на ринку належить таким компаніям: *Advantech*, *APC* (США), *Artesyn Technologies* (Німеччина), *Octagon Systems* (США), *Omron*, *Pepperl+Fuchs Elcon* (Італія), *Schroff* (Німеччина), *Siemens*, *XP Electronics* (Англія).

5. Корпуси, шафи, стояки й конструктиви. Спектр цього класу устаткування включає в себе: напільні та настінні шафи й корпуси різних типорозмірів для внутрішнього та зовнішнього застосування, телекомунікаційні шафи й стояки, опори, візки, розподільні щити й шафи, шафи з терморегулюванням, монтажні каркаси, крейти, модульні шасі, шасі та корпуси для промислових комп'ютерів, корпуси з пластику, настільні приладові шасі та корпуси.



Серед них можна знайти моделі як для офісних, так і для промислових застосувань. Промислове устаткування призначене для роботи в жорстких умовах промислового виробництва, захищено від пилу, вологи, перегріву і переохолодження. Характерними рисами моделей для зовнішнього застосування є підвищена міцність і стійкість конструкції, захист від корозії, випромінювань, механічних впливів і зовнішніх ушкоджень.

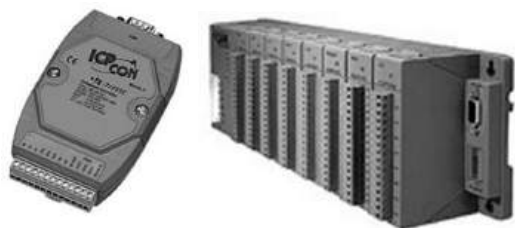


На ринку подані такими провідними компаніями: *Advantech*, *Bopla* (Німеччина), *Knuerr* (Німеччина), *Rittal* (Німеччина), *Schroff*.

6. Електровстановлювальна техніка (автоматичні вимикачі, контактори, розетки, роз'єднувачі, клемні з'єднувачі, рознімні з'єднувачі). Виробники на світовому ринку: *Belden* (США), *Omron*, *Rittal*, *Schroff*, *Siemens*, *WAGO* (Німеччина).



7. Програмувальні контролери. В цей час на ринку промислової автоматизації пропонується широкий спектр ПЛК для задач управління будь-якого рівня складності.



Серед ПЛК можна розглядати універсальні та спеціалізовані (наприклад, контролери мереж).

ПЛК відрізняються типом центрального процесора, кількістю аналогових і дискретних каналів введення/виведення, наявністю пристроїв індикації та операторського інтерфейсу, набором вбудованих функцій, можливостями розширення та гнучкістю компонування, наявністю комунікаційних модулів для підключення до різних промислових мереж й інтерфейсів, підтримуваними комунікаційними протоколами, можливостями підтримки прикладних систем і засобів програмування.

Крім того, велике поширення одержали контролери, що сполучають у собі якості програмувального логічного контролера з платформою IBM PC сумісних комп'ютерів. IBM PC сумісні програмувальні контролери відрізняються від класичних ПЛК тим, що в них більшість функцій, що у ПЛК вирішуються на апаратному рівні, можуть виконуватися за допомогою програмного забезпечення. Такі контролери мають відкриту архітектуру, відрізняються типом системних шин і шин розширення, працюють під ОС DOS, Windows, QNX та іншими і можуть програмуватися як за допомогою традиційних мов програмування (C, асемблер), так і за допомогою мов логічного програмування відповідно до стандарту IEC 61131.

Наведемо коротку оцінку ринку контролерних засобів. На ньому працюють такі міжнародні лідери: *Advantech*, *Diamond Systems* (США), *Emerson* (США), *Fastwel* (Росія), *Foxboro* (США), *GE Fanuc Automation* (США, Японія), *Gravhill* (США), *Honeywell* (США), *Lippert* (Німеччина), *Octagon Systems*, *Omron*, *Siemens*, *WAGO* й ін. Російські підприємства-виробники ПЛК: *ТЕКОН*, *ІКОС*, *ЕМІКОН*, *Чебоксарський завод електроніки і механіки* (контролери «Реміконт», «Ломіконт»).

8. Промислові комп'ютери. Промислові комп'ютери – це високотехнологічні PC-сумісні платформи в спеціальному виконанні. До устаткування для подібних систем пред'являється ряд вимог, таких, як здатність безперебійної роботи протягом тривалого часу в режимі, що не обслуговується, можливість збереження та резервування даних, надійна система живлення, підтримка функції оповіщення про несправності і т. ін.

До загальних особливостей цих комп'ютерів відносяться: міцний металевий корпус; високий електромагнітний захист; вібростійке кріплення процесорних плат, плат розширення і накопичувачів; ефективна система вентиляції; захист від пилу за допомогою фільтрів; велика кількість слотів розширення (до 20); розширений діапазон робочих температур; наявність сторожового таймера; тривалий термін експлуатації і т.д.

Промислові комп'ютери мають різне конструктивне виконання: для монтажу в 19" стояк, настільні, для монтажу в шафу, на стіну або для мобільних рішень.



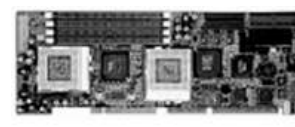
При побудові промислових комп'ютерних систем перевага віддається рішенням на основі пасивних об'єднувачих плат, що дозволяє використовувати в промисловому комп'ютері велику кількість плат розширення і забезпечує гнучкість з погляду ремонту й модернізації.

Об'єднувачі плати можна розділити на такі групи: об'єднувачі плати PICMG (найбільш розповсюджений варіант, що підтримує шини ISA і/або PCI); об'єднувачі плати PCISA; об'єднувачі плати CompactPCI (один або більше сегментів шини CompactPCI, кожний з яких містить у собі один системний слот і до семи периферійних слотів); мульти-системні об'єднувачі плати (дозволяють монтувати в одному корпусі дві, три і навіть чотири незалежні комп'ютерні платформи з можливістю роздільного вмикання-вимикання живлення окремих систем).



Основним вузлом, що визначає характеристики комп'ютерної системи, є процесорна плата. Процесорні плати розрізняються розмірами (повної або половинної довжини), обчислювальною потужністю і системною шиною. На ринку процесорні плати подані на основі таких форм-факторів: PICMG, ISA, PCI, PCISA, CompactPCI, PC/104, PXI.

Незважаючи на відмінності в конструкції, всі ці типи плат поєднує повна відповідність відкритій архітектурі PC-сумісного комп'ютера. Це означає не тільки сумісність за елементною базою, але і можливість застосовувати плати розширення, периферійне устаткування, програмне забезпечення, призначене для роботи в звичайному PC-сумісному комп'ютері.



Перші три конструктиви використовують для побудови системи на основі пасивної об'єднувачої плати.

На процесорних платах часто розміщують додаткові контролери, такі, як відеоконтролер, контролер LAN, контролер інтерфейсу SCSI. З одного боку, таке рішення пов'язане з економією слотів розширення, з іншого боку – є можливість оптимального вибору всіх підсистем комп'ютера, якісної елементної бази, що гарантує визначений рівень швидкодії, надійності й програмної сумісності. Тому багато моделей мають кілька виконань із різним сполученням пристроїв, інтегрованих на платі. Вибір конкретної моделі процесорної плати визначається задачею, для реалізації якої буде використано комп'ютер, умовами експлуатації, необхідними габаритними розмірами і т.д.

Одноплатні комп'ютери являють собою аналог звичайної мате-

ринської плати з великим числом інтегрованих периферійних адаптерів, але відрізняються набагато меншими габаритними розмірами. Плати стандарту PC/104 використовують для компактних систем і бортових комп'ютерів.



Робочі станції – це пристрої, які сполучають в одному корпусі: промисловий комп'ютер, LCD-монітор, клавіатуру, мишу. Ядром робочої станції є одноплатний комп'ютер. Сучасні робочі станції здебільшого являють собою компактні пристрої, що мають порівняно невелику масу, високу надійність, захист від несприятливих умов зовнішнього середовища (пил, волога, удари, вібрація і т.п.). Умовно робочі станції можна розділити на кілька типів: робочі станції для установки в 19" стояки, панельні робочі станції, переносні робочі станції, робочі станції CompactPCI/PXI.

Конструкція робочих станцій першого типу передбачає можливість їхнього монтажу в 19" стояки. Їх використовують для побудови різних систем управління, контролю і збору даних як інтелектуальні контролери, пульти і т.д. Для зручності експлуатації доступ до всіх пристроїв введення/виведення здійснюється з передньої панелі. Як правило, на ній розміщені кольоровий LCD-дисплей, вбудована клавіатура для введення даних, відсіки для накопичувачів CD-ROM і FDD, кнопка включення живлення та клавіші налаштування зображення (OSD). У корпусі розміщені багатослотові об'єднавчі плати (до 14 слотів), жорсткі диски, джерела живлення, вентилятори.

Основна відмінність панельних робочих станцій полягає в тому, що їхня конструкція не припускає встановлення додаткових плат, а також у відсутності клавіатури.

Переносні робочі станції виконуються у вигляді невеликих пластикових або металевих кейсів з антивібраційними кріпленнями для плат і накопичувачів, ефективною системою охолодження, а також захистом від ударів і вібрацій.

Основні фірми виробники: *Advantech*, *Fastwel*, *Mitac* (Тайвань), *Octagon Systems*, *Siemens*.



9. Пристрої введення/виведення і ПЗО. Універсальні адаптери введення/виведення є основою для побудови систем збору даних і управління. Величезна номенклатура таких плат дозволяє вирішувати широкий спектр задач цифрової обробки аналогових, дискретних та імпульсних сигналів найрізноманітніших діапазонів, формувати сигнали заданої амплітуди, форми і послідовності, забезпечуючи при цьому високу швидкість передачі даних.

Багатофункціональні адаптери введення/виведення надають користувачеві найбільший набір можливостей. Власне кажучи, вони є готовою закінченою підсистемою для вирішення задач збору даних та

управління на базі IBM PC сумісного комп'ютера. Такі плати можуть бути основою для побудови контролерів, лабораторних систем цифрової обробки сигналів, інтелектуальних вимірювальних приладів.

Багатофункціональні адаптери введення/виведення містять багатоканальні АЦП, ЦАП, порти дискретного введення/виведення сигналів, таймери, лічильники. Завдяки вбудованій логіці ці плати не мають перемичок і перемикачів, усі настроювання здійснюються програмно. Користувач може за своїм розсудом змінювати коефіцієнти підсилення вхідних і вихідних сигналів, частоту й періодичність сканування каналів, синхронізувати дані. Універсальні адаптери дозволяють користувачеві працювати як із уже готовими бібліотеками, так і на рівні регістрів портів самої плати. А наявність OPC-сервера забезпечує можливість швидкої інтеграції з будь-якою SCADA-системою.

Пристрої збору даних і управління відрізняються виконанням для різних платформ, що використовують шини: ISA, PCI, PC/104 (для побудови систем, що вбудовуються, і бортових), CompactPCI (для швидкісних високопродуктивних систем), PXI (для високошвидкісної синхронної обробки сигналів усіма пристроями в системі), USB (використовуються як зовнішні переважно там, де неможливо вставити плату розширення, наприклад, у переносній робочій станції або ноутбучі).

Сьогодні основною тенденцією в автоматизації технологічних процесів є застосування розподілених систем управління і збору даних. Застосування розподілених систем управління і збору даних дозволяє:

- значно скоротити витрати на кабельні комунікації, що йдуть до датчиків;
- наблизити потужність сучасних обчислювальних засобів до об'єкта управління;
- підвищити живучість усієї системи, легко замінити елементи, що відмовили, дублювати критично важливі вузли;
- використовувати принцип модульності, роблячи окремі елементи й вузли системи відносно незалежними і автономними;
- знизити витрати на модернізацію системи, швидке розширення і нарощування можливостей;
- швидко інтегрувати знову створювані системи в загальну інформаційну мережу підприємства.

Кожен модуль видаленого й розподіленого збору даних та управління являє собою функціонально закінчений пристрій, що обслуговує велику кількість аналогових і дискретних сигналів введення/виведення і може поєднуватися в мережі на основі Ethernet або інтерфейсу RS-485.

Фірми-постачальники даної продукції: *ADDI-DATA, Advantech, Dataforth, Diamond Systems, Fastwel, Grayhill, Hirschmann* (Німеччина), *Lippert, Octagon Systems, Omron, Pepperl+Fuchs, Pepperl+Fuchs Elcon,*

Scaime, Siemens, VMIC, WAGO.

10. Накопичувачі інформації, пристрої флеш-пам'яті.



Крім звичайних накопичувачів широке використання одержали твердотільні накопичувачі інформації, виконані за технологією Flash, особливо в таких сферах: мобільній апаратурі; бортових системах; відомовостійких системах промислової автоматизації; телекомунікаційному устаткуванні та для інших задач, що вимагають сполучення підвищеної надійності, вібростійкості, ударостійкості й швидкодії в жорстких умовах експлуатації.

Flash-диски можна умовно розділити на кілька категорій:

- пристрої пам'яті у вигляді мікросхем (DiskOnChip), що встановлюються в спеціальні панельки, розміщені на процесорній платі. Після установки мікросхеми на плату в системі з'являється додатковий накопичувач, який нічим не відрізняється з погляду операційної системи від звичайного жорсткого диску;

- пристрої пам'яті у вигляді знімних (замінних) модулів у форматі карт PCMCIA, карт CompactFlash і Multimedia Card. Це швидкі, компактні знімні пристрої, що допускають установку і витяг у процесі роботи системи. Вони цілком імітують жорсткий диск і зручні тим, що можуть бути використані як переносні накопичувачі інформації. Для установки в систему ці пристрої вимагають спеціальних рознімань, якими оснащені промислові комп'ютери та контролери;

- пристрої пам'яті, конструктивно виконані у вигляді корпусу звичайного твердого диска формату 1.8", 2.5", 3.5" або 5.25" зі стандартними інтерфейсами IDE і SCSI. Такі пристрої цілком сумісні зі звичайними жорсткими дисками за інтерфейсними розніманнями й способами підключення, мають високий ступінь надійності, не створюють акустичних і електромагнітних шумів, мають низьке енергоспоживання, малу масу, мало сприйнятливі до вібрацій і ударів;

- пристрої пам'яті у вигляді модулів (DiskOnModule) зі стандартним інтерфейсом IDE. Модульні IDE Flash диски являють собою маленьку плату з 40- або 44-контактним розніманням. Вони призначені для безпосередньої установки в IDE-рознімання процесорної плати. Модульні IDE Flash диски також цілком імітують роботу звичайного жорсткого диска;

- пристрої пам'яті, конструктивно виконані у вигляді плат із системним інтерфейсом ISA (у тому числі в промисловому стандарті PC/104). Якщо на процесорній платі немає необхідного рознімання для установки DiskOnChip, модулів CompactFlash і плат PCMCIA, можна скористатися платами розширення з інтерфейсами ISA або PC/104. На такі плати можна установити дві-чотири мікросхеми DiskOnChip, один модуль CompactFlash або одну-дві карти PCMCIA.

Основними постачальниками електронних дисків і накопичувачів

є: *Advantech, Fastwel, M-Systems (США), Octagon Systems, SanDisk (США), VMIC.*

11. Промислові монітори й дисплеї. На ринку промислових дисплеїв рідкокристалічні дисплеї LCD практично витиснули рішення на основі електронно-променевої трубки (CRT).

Існує кілька типів промислових дисплеїв: дисплеї для установки в 19" стояки; настільні дисплеї; дисплеї для монтажу в панель; LCD-панелі; сенсорні екрани; світлодіодні (LED) дисплеї (в основному для виведення аварійних, статусних та інших важливих повідомлень).



Перші три типи являють собою монохромні або кольорові пристрої з різною діагоналлю (від 3.5 до 21"), рівнем яскравості (включаючи виконання для використання поза приміщеннями при прямому сонячному висвітленні), кутом огляду (аж до розширеного кута, що дозволяє бачити якісне зображення практично з будь-якої точки спостереження), ступенем захисту (міцність, захист від пилу та вологи), а також виконання, що містять клавіатуру, вказівний пристрій, динаміки.

LCD-панелі являють собою набір, що включає в себе LCD матрицю, інвертор, лампу підсвічування, відеоконтролер і джерело живлення і можуть встановлюватися в шафи, пульти управління, прилади. Сенсорні екрани застосовують для тактильного введення інформації без використання миші й клавіатури.

Фірми-виробники промислових дисплеїв: *Advantech, IEE (США), Planar (США), Siemens, Texas Industrial Peripherals, VarTech Systems(США).*

12. Засоби операторського інтерфейсу (матричні, мембранні клавіатури, покажчики й ін.). Основними особливостями клавіатур, розроблених спеціально для промислових застосувань, є їхня довговічність і надійність. Багато з них мають високий ступінь захисту від пилу і вологи і оснащені вбудованими вказівними пристроями (TrackBall або TouchPad). Великий інтерес для рішень, пов'язаних з екстремальними умовами експлуатації, представляють захищені варіанти мембранних клавіатур.

Усі клавіатури можна об'єднати в кілька груп за засобом монтажу: для установки в 19" стояки або монтажу на панель; настільні клавіатури; клавіатури, що вбудовуються.

Деякі з фірм-виробників засобів операторського інтерфейсу: *Advantech, Bopla, Grayhill, IEE, Indukey (Німеччина), Mitac, NSI (Бельгія), Octagon Systems, Planar, Siemens.*

13. Телекомунікаційне устаткування. До цього класу відносяться пристрої, що здійснюють зв'язок із зовнішніми (стосовно ком-

п'ютера) пристроями з використанням різних інтерфейсів і протоколів.

Умовно ці пристрої можна розділити на такі групи:



- адаптери RS-232/422/485 (включаючи інтелектуальні адаптери RS-232 з високою пропускну здатністю і можливістю одночасного доступу до великої кількості портів);

- комунікаційні сервери Ethernet – забезпечують підключення до мережі Ethernet устаткування з послідовними інтерфейсами RS-232/422/485 (основні особливості: підвищена надійність, відсутність обмежень щодо нарощування кількості портів, прозорість для будь-якого комп'ютера в мережі);



- комутатори й концентратори Ethernet – дозволяють створювати мережі стандарту Ethernet, що мають різну топологію й швидкість передачі даних;

- адаптери Ethernet – забезпечують підключення комп'ютера до мережі Ethernet;

- конвертери Ethernet – перетворювачі сигналів 10/100 Base-TX Ethernet у сигнали 100 Base-FX, що дозволяють подовжувати лінії Ethernet до десятків кілометрів без використання повторювачів, зберігаючи при цьому захищеність каналу від перешкод;

- устаткування WLAN – дозволяє будувати системи на основі безпроводного Ethernet;

- повторювачі інтерфейсів RS-232/422/485 – дозволяють подовжувати комунікаційні лінії шляхом посилення сигналів, забезпечують гальванічну розв'язку між різними сегментами мережі;



- конвертери інтерфейсів – конвертери послідовних інтерфейсів RS-232 у RS-422 або RS-485 (дозволяють підключати прилади з інтерфейсом RS-422/485 до стандартного COM-порту комп'ютера, а також спеціальні конвертери для передачі сигналів послідовних інтерфейсів за оптоволоконними лініями);

- адаптери спеціалізованих шин та інтерфейсів – дозволяють інтегрувати комп'ютерне устаткування в мережі на основі різних промислових шин;

- телефонні, радіо- і GSM-модеми.

Деякі з фірм-виробників: *Advantech, Belden, Dataforth, Hirschmann, Siemens, VMIC, Wavecome.*

14. Засоби кабельного розведення й комутації (кабелі для локальних обчислювальних мереж UTP, FPT, для Industrial Ethernet; для шин PROFIBUS, DeviceNet, LON, AS-i; промислові кабелі для інтерфейсу RS-422, RS-485, RS-232; приладові кабелі, монтажний провід; волоконно-оптичні кабелі; промислові з'єднувачі, кабельні введення; клемні з'єднувачі, клеми для застосування у вибухонебезпечних умо-

вах, клеми для застосування в будівництві; розподільні коробки й ін.).

15. Засоби автоматизації технологічних процесів. Важливу роль у процесі автоматизації технологічних процесів відіграє застосування робототехніки: підвищення точності виконання технологічних операцій і, як наслідок, поліпшення якості; можливість використання технологічного устаткування в три зміни, 365 днів у році; раціональність використання виробничих приміщень; виключення впливу людського фактора на потокових виробництвах, а також при проведенні монотонних робіт, що вимагають високої точності; виключення впливу шкідливих факторів на персонал на виробництвах з підвищеною небезпекою.

Одними з типових застосувань є їхнє використання як маніпуляторів у складі технологічного устаткування при виконанні різних вантажно-розвантажувальних операцій, подача деталей, сортування, монтаж, упакування, мікрозбирання і монтаж друкованих плат, зварювання й різання і т. ін.

Промислові роботи відрізняються типом виконання, радіусом дії, вантажопідйомністю, компактністю конструкції, рухливістю, точністю захоплення і повторення операцій, можливістю прив'язки до систем обробки зображень і технічного зору, кількістю рівнобіжних програм, комунікаційними можливостями, наявністю функцій запобігання аваріям і т. ін.



Одним із провідних світових виробників промислових роботів є компанія *Mitsubishi Electric*.

Програмне забезпечення для систем автоматизації включає в себе:

1. ОС реального часу – ПЗ для 16-розрядних і 32-розрядних контролерів, побудованих на базі x86 процесорів. Дозволяє створювати алгоритми управління, що виконуються в гарантований термін і максимально використовують ресурси апаратури.

2. SCADA-системи – ПЗ верхнього рівня АСУТП, призначене для виконання функцій збирання/передачі інформації від датчиків, контролерів і виконавчих механізмів. Служить для побудови мнемосхем технологічних об'єктів, відображення миттєвих значень величин і параметрів, архівування технологічної інформації, побудови часових трендів зміни параметрів, визначення, обробки та ведення архіву аварійних подій.

3. Системи програмування контролерів – ПЗ для програмування контролерів на мовах IEC-61131. Дозволяє в короткий термін розробити програму контролера з підтримкою периферійного устаткування й мережної взаємодії. Не потребує від розробника знань інженера-програміста, досить розуміння задачі управління.

4. Драйвери і OPC-сервери. Якщо виникає необхідність з'єднати SCADA-систему з тим чи іншим пристроєм – модулем ПЗО, контролером і т.д., то для цього необхідний драйвер або OPC-сервер цього пристрою. OLE for Process Control (OPC) – загально визнаний стандарт обміну даними між компонентами систем збирання даних й управління, оснований на об'єктній моделі COM/DCOM фірми Microsoft. Різні компанії-постачальники технічних засобів пропонують OPC-сервери для своїх лінійок продукції.

Контрольні запитання і вправи

1. Що містить у собі технологія SCADA ?
2. Поясніть, з чим пов'язані труднощі вибору належної SCADA-системи.
3. Перелічіть функціональні можливості, що містять у собі SCADA-системи. Які з них ви вважаєте основними?
4. Які додаткові вимоги до надійності, як правило, пред'являються до SCADA ?
5. Для яких типів виробництв найбільш доцільно застосування SCADA-систем?
6. Які компоненти зазвичай містить структура SCADA?
7. У якому редакторі SCADA створюється математична основа системи управління:
а) бази каналів; б) подання даних; в) шаблонів?
8. Що являють собою видалені термінали?
9. До якого класу відносяться параметри, для яких кількість n вимірюваних величин більше кількості m рівнянь виміру:
а) надлишкових; б) безнадлишкових ?
10. У чому полягає різниця між звичайними та промисловими комп'ютерами?
11. Що загального і різного в PC і PLC контролерах? Де їх застосовують?
12. З яких основних компонентів зазвичай складаються диспетчерські пункти управління?
13. Які риси характерні для людино-машинного інтерфейсу?
14. Поясніть, з чим пов'язаний перехід від вузькоспеціалізованих до корпоративних БД.
15. Які основні підсистеми виділяються у функціональній структурі SCADA?
16. Поясніть призначення редакторів бази каналів і подання даних.
17. Які групи параметрів існують в керованому технологічному процесі?
18. Перелічіть та опишіть основні апаратно-технічні і програмні засоби автоматизації.

РОЗДІЛ 4



АПАРАТНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОЛЬОВОГО РІВНЯ

4.1. Польовий рівень. Загальна класифікація і основні характеристики датчиків

Датчики призначені для перетворення фізичної величини (ФВ) в електричний сигнал, який далі направляється в контролерний пристрій. Датчик містить чутливий елемент (ЧЕ) і перетворюючий елемент (ПЕ), до яких підводиться напруга живлення $U_{ж}$. Напруга на виході перетворювача $U_{вих}$ залежить від фізичної величини.

Вихідний сигнал датчика може бути трьох видів (рис. 4.1):

- **аналоговий**, пропорційний фізичній величині;
- **цифровий (дискретний)**, при якому значення аналогової величини перетворюється в цифровий вигляд;
- **бінарний**, при якому кожному значенню фізичної величини відповідає комбінація бінарного коду (нулів та одиниць).

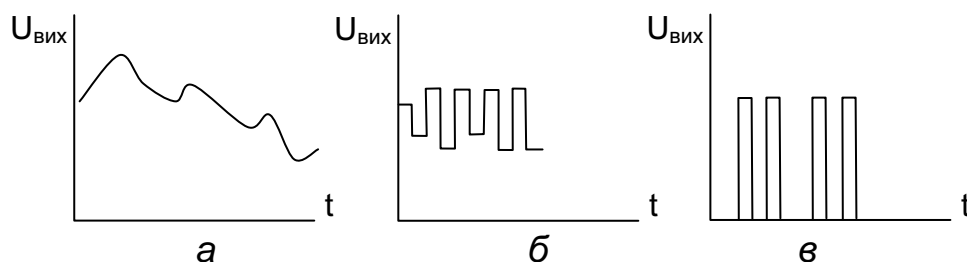


Рис. 4.1. Форма вихідного сигналу датчика:
а – аналоговий; б – цифровий; в – бінарний

Датчики мають відповідати спеціальним вимогам з похибки, роздільної здатності, чутливості, лінійності, часу відгуку й ін.

Похибка виміру – це максимальна різниця між обмірюваною та дійсною фізичною величиною (як правило, її виражають у відсотках відносно повної шкали і називають приведеною похибкою).

Роздільна здатність показує найбільшу точність, з якою вимірюють величину. Вона менше похибки і дорівнює різниці між сусідніми відліками виміру.

Чутливість – це відношення зміни вихідного сигналу перетворювача до зміни вхідного сигналу.

Лінійність є найважливішою характеристикою перетворювача. При лінійній характеристиці (рис. 4.2, а) вихідна і вхідна величини пов'язані постійним коефіцієнтом, тому для формування сигналу можна

застосовувати прості підсилювачі. Лінійна характеристика має межу, після якої вихідна величина не реагує на зміну вхідної величини. При нелінійній характеристиці (рис. 4.2, б) необхідно розробляти спеціальний нелінійний перетворювач сигналу датчика. Іноді нелінійну характеристику лінеаризують – подають у вигляді послідовності лінійних характеристик на окремих ділянках (рис. 4.2, в).

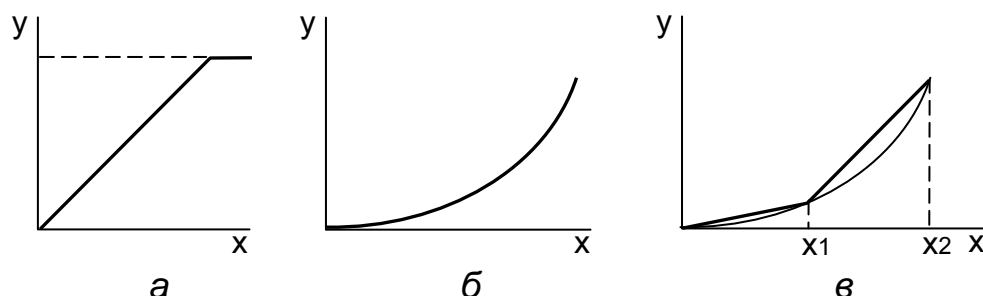


Рис. 4.2. Характеристики перетворювача:
а – лінійна; б – нелінійна; в – лінеаризована

Гістерезис показує, що вихід перетворювача залежить від того, збільшується чи зменшується вхідна величина (рис. 4.3). У цьому випадку оцінюють ширину петлі гістерезису c , що показує, яких значень набуває вихідна величина y при тому самому значенні вхідної величини x , але різному напрямку її зміни.

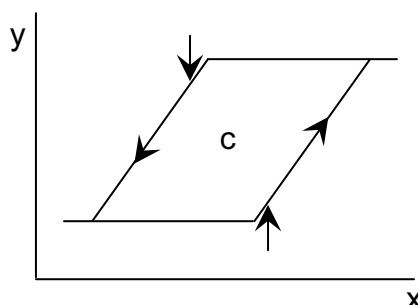


Рис. 4.3. Гістерезис вимірювального перетворювача

Повторюваність показує, що кожному значенню вхідного сигналу відповідає те саме значення вихідного сигналу перетворювача.

Час відгуку дорівнює часу, через який вихідна величина досягне сталого значення після зміни вхідної величини.

Смуга перетворення характеризує смугу частот вхідного сигналу, що пропускає перетворювач. Чим ширше смуга перетворення, тим менше час відгуку.

За принципом зв'язку фізичної величини з електричним сигналом датчики ведуть **абсолютний** (кожному значенню фізичної величини відповідає своє значення електричного сигналу) або **відносний** (відлік від деякого значення фізичної величини, вважаючи його нульовим значенням) відлік.

За видом взаємодії з об'єктом датчики можуть бути **контактними** (чутливий елемент датчика механічно взаємодіє з об'єктом) і **безкон-**

тактними (механічний контакт відсутній).

Розглянемо деякі види датчиків застосовуваних у промисловій автоматизації.

4.1.1. Датчики положення та переміщення

Датчик положення фіксує наявність об'єкта у визначеній точці шляху.

Контактні датчики положення відрізняються механічним впливом керуючого елемента – перемикаючого упора, жорстко зв'язаного з об'єктом, на ЧЕ датчика. Зазвичай це важільні вимикачі (рис. 4.4), прості, але піддані механічному зносу і нездатні працювати при швидких переміщеннях об'єкта.

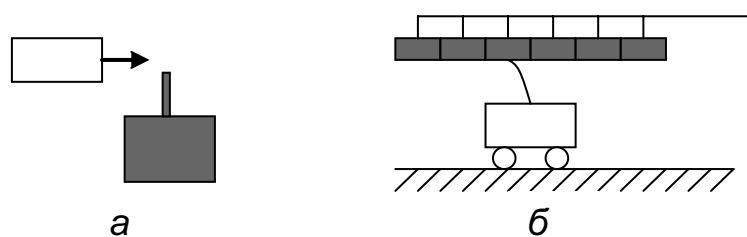


Рис. 4.4. Контактний датчик положення:
а – важільний вимикач; б – секціонований тролей

Безконтактні датчики положення не мають механічного контакту з об'єктом, тому вони працездатні при швидких переміщеннях об'єкта. Вони захищені від зовнішніх впливів і не вимагають обслуговування при тривалій експлуатації. Такі датчики характеризуються розмірами зони чутливості, диференціалом ходу, часом спрацьовування і робочим зазором.

Робочий зазор – максимальна відстань між керуючими і чутливим елементами.

Зона чутливості – зона, в якій датчик реагує на переміщення об'єкта.

Диференціал ходу – різниця між точкою включення при прямому переміщенні й точкою відключення при зворотному переміщенні об'єкта.

Час спрацьовування – час між входом об'єкта в зону чутливості й спрацьовуванням датчика.

За принципом роботи безконтактні датчики положення можуть бути магнітогерконовими, генераторними, індуктивними, ємнісними та фотоелектричними.

Магнітогерконовий датчик містить постійний магніт і магнітокерований герметизований контакт (геркон), що являє собою дві-три позолочені пластини, укладені в скляний вакуумний балон (рис. 4.5).

Контакти на кінцях пластин усередині балона замикаються, роз-

микаються або переключаються під дією постійного магніту. Постійний магніт, що зв'язаний з рухливим об'єктом, може переміщуватися паралельно або перпендикулярно осі геркону. До недоліків герконів відносяться залипання контактів, вплив близьких металевих мас на його роботу, невисока чутливість, деренчання контактів (відскокування один від одного після першого замикання), обмежене число спрацювань.

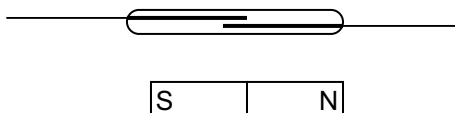


Рис. 4.5. Магнітогерконовий датчик положення

У **генераторному датчику положення** використовується зміна індуктивності або ємності коливального контуру генератора при переміщенні металевого об'єкта в його зоні чутливості. Це призводить до зриву коливань генератора і появи сигналу на виході. Всередині корпусу датчика розміщений: генератор з виведеним у зону чутливості коливальним контуром, граничний елемент і підсилювач (рис. 4.6). При влученні металевого об'єкта в чутливу зону датчика відбувається зміна частоти генератора і граничний елемент переключається в стан видачі сигналу. Після посилення сигналу з'являється напруга спрацювання реле на виході датчика.

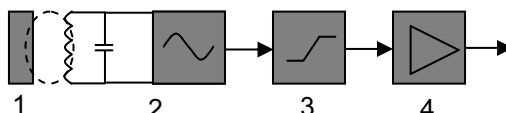


Рис. 4.6. Схема генераторного датчика положення:
1 – об'єкт; 2 – генератор; 3 – граничний елемент; 4 – підсилювач

Генераторні датчики поділяють на щілинні, площинні й торцеві. У щілинному датчику перемикаючий упор об'єкта проходить через щілину. У площинному датчику перемикаючий упор переміщається на відстані 15...25 мм від плоскої поверхні датчика.

У сучасній техніці автоматизації найбільш поширені генераторні датчики положення торцевого типу (індуктивні датчики). В індуктивному датчику положення використовується ефект впливу металевого об'єкта на магнітне поле сердечника автогенератора. Генератор з чутливим елементом – котушкою на сердечнику формує електромагнітне поле. Введення в це поле феромагнітного об'єкта призводить до зниження магнітного опору сердечника пропорційно відстані до об'єкта, зміни індуктивності й зриву коливань генератора. На виході датчика формується сигнал спрацювання реле.

Якщо в індуктивних датчиках положення при переміщенні об'єкта змінюється індуктивність, то в **ємнісних датчиках** чутливим елементом є ємність коливального контуру. Ємнісний датчик положення (рис.

4.7) містить **RC**-генератор з конденсатором, винесеним до торця датчика, і настроювальним резистором, граничний елемент і підсилювач.

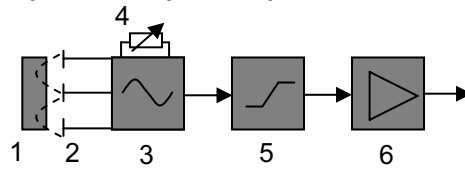


Рис. 4.7. Ємнісний датчик положення:

1 – об'єкт; 2 – конденсатор; 3 – генератор; 4 – резистор; 5 – граничний елемент;
6 – підсилювач

При влученні об'єкта в чутливу зону датчика змінюється ємність конденсатора й частота генератора. Ця зміна переключає граничний елемент в інший стан. Після посилення напруга з'являється на виході. Ємнісні датчики положення високочутливі й прості за конструкцією, однак змінюють свої характеристики залежно від запиленості, вологості й температури.

Принцип роботи **фотоелектричних датчиків положення** (фотореле) оснований на зміні освітленості фотоприймача при переміщенні об'єкта. В них використовують усі види фотоприймачів (рис. 4.8): фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, фототиристри.

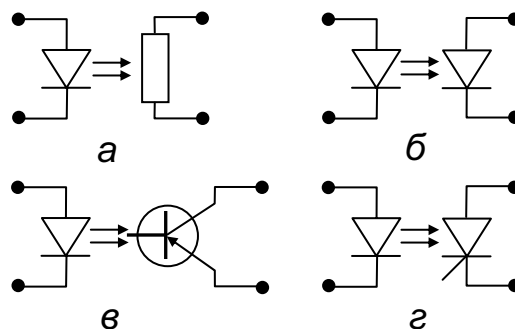


Рис. 4.8. Фотоелектричні датчики положення:

а – фоторезистор; б – фотодіод; в – фототранзистор; г – фототиристор

Фотоприймач виконаний зі світлочутливого напівпровідника, а як джерело світла зазвичай використовують світлодіоди. Датчики положення спрацьовують або при перекритті об'єктом променя від джерела світла до фотоприймача, або при відображенні об'єктом світла від джерела, і його влученні на фотоприймач (рис. 4.9).

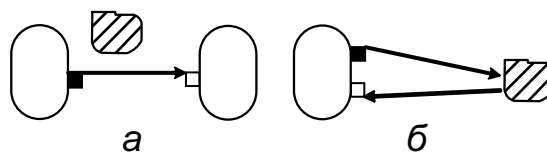


Рис. 4.9. Способи контролю положення об'єкта фотоелектричним датчиком:

а – перекриття оптичного зазору; б – відображення від об'єкта

Світловий бар'єр (рис. 4.10) являє собою стояки фотовипромінювачів і фотоприймачів, спрямованих один до одного. Він призначений для безконтактного огороження небезпечних зон. Кожен фотоприймач приймає вузькоспрямований оптичний промінь від протилежного фотовипромінювача. При перетинанні променя об'єктом технологічний процес, що огорожується, зупиняється і подається сигнал тривоги.

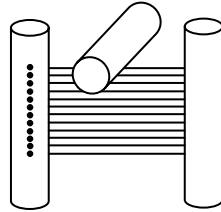


Рис. 4.10. Світловий бар'єр

Можлива організація огороження контрольованих зон з декількох сторін одним світловим бар'єром і комплексом відбивачів.

Волоконно-оптичні датчики положення реагують на перетинання або відображення світлового потоку, переданого через оптичне волокно (рис. 4.11). Сучасні датчики мають убудоване регулювання зони чутливості. Початок і кінець зони чутливості встановлюють натисканням кнопки на корпусі датчика при навчанні датчика спрацюванню.



Рис. 4.11. Волоконно-оптичний датчик положення:
а – перетинання світлового потоку; б – відображення світлового потоку

Найпростішим **вимірником переміщень** з аналоговим виходом є потенціометричний датчик, що являє собою змінний опір, движок якого з'єднаний з рухливим об'єктом (рис. 4.12). З движка опору знімають вихідну напругу $U_{вих}$, пропорційну величині переміщення рухливого об'єкта. Характеристика потенціометричного датчика має бути лінійною.

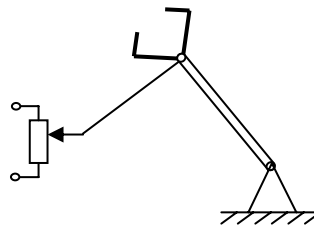


Рис. 4.12. Потенціометричний вимірник переміщень

Цифрові вимірники переміщень перетворюють лінійне або кутове переміщення в цифровий код. Вони точніше аналогових вимірників

ків, оскільки роздільна здатність цифрового кодування переміщень може бути досить високою. Вимірники мають диск, що рухається, або смужку з чергуванням провідних і непровідних ділянок і пристрій, що зчитує, у вигляді щітки, фотоприймача або індуктивного перетворювача. Залежно від переміщення об'єкта на виході вимірника утворюються електричні імпульси.

За принципом зчитування цифрові вимірники поділяють на **накопичуючі** й **абсолютні**. У накопичуючих вимірниках або перетворювачах збільшень імпульси чутливого елемента підсумовують або віднімають у лічильнику збільшень. Накопичуючий вимірник повертається у вихідне положення при включенні системи і починає відлік імпульсів при переміщенні. В абсолютних вимірниках або перетворювачах зчитування кожне положення об'єкта характеризується певною кодовою комбінацією.

У сучасній автоматизації найбільш надійними і точними визнані **фотоелектричні вимірники переміщень**. Вимірник складається з двох дисків із джерелами і приймачами світла, закріплених на спільній осі так, що кожен приймач (фотодіод) отримує світло від розташованого напроти джерела (світлодіода) (рис. 4.13).

Між цими дисками вставляють непрозорий диск, що кодує, в якому вирізані сектори. При повороті цього диска одні фотодіоди сприймають світло, а інші – ні. Відповідно до кута повороту змінюється код на виході датчика. Залежно від кількості фотодіодів і розміщення секторів на кодовому диску число кодових комбінацій за один оберт диска досягає тисяч, а роздільна здатність датчика складає соті частки мікрона.

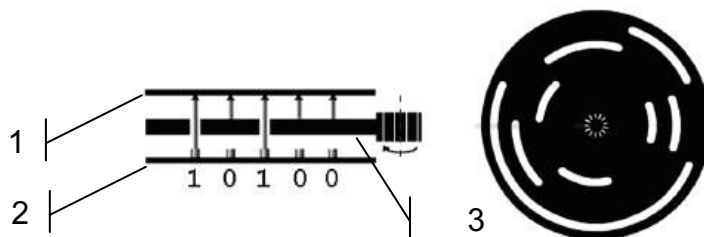


Рис. 4.13. Фотоелектричний вимірник кутових переміщень:
1 – диск світлодіодів; 2 – диск фотодіодів; 3 – диск, що кодує

4.1.2. Силомоментні датчики

Силомоментні датчики застосовують для виміру зусиль на виконавчих пристроях (для операцій транспортування, збирання, різання й ін.). Перетворення сил і моментів в електричний сигнал здійснюється двома способами:

- безпосереднім зніманням сигналу з елемента датчика, чутливого до зусиль у тензорезисторних, п'єзоелектричних або магнітогнучких

перетворювачах;

- виміром переміщення підпружиненої опори, до якої прикладено зусилля.

Для виміру зусиль найчастіше застосовують *тензорезистори*, що перетворюють зусилля в зміну опору. Тензорезистор являє собою тонкий провід з високим питомим опором, покладений прямокутними витками між м'якими підкладками (рис. 4.14). Опір провідника залежить від питомого опору матеріалу ρ , довжини провідника L і його перетину S :

$$R = \rho L / S.$$

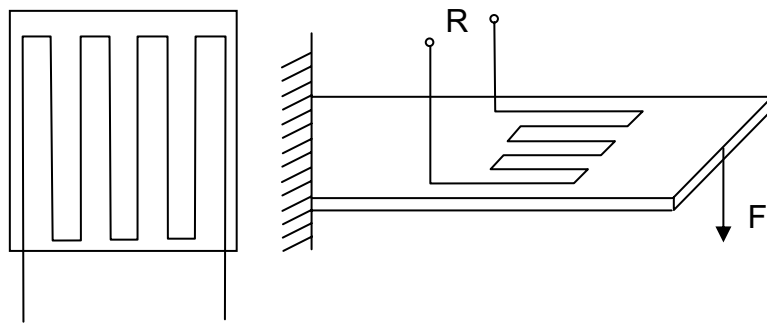


Рис. 4.14. Тензорезистор

Тензорезистор наклеюють на поверхню так, щоб довга сторона витків була спрямована вздовж лінії деформації при навантаженні. Додаток навантаження приводить деформації поверхні до подовження витків і зменшення перетину провідника в тензорезисторі.

У магнітогнучкому датчику використовується ефект зміни магнітних властивостей ферромагнітних матеріалів під дією сили. Магнітогнучкі датчики використовують при навантаженнях більше 1 кН в умовах високого тиску, вологості й підвищеної радіації.

Для виміру мікропереміщень опори під дією навантаження використовують волоконно-оптичні датчики. На рис. 4.15 промінь від джерела проходить через оптичне волокно і призму до фотоприймача. Основа призми встановлена під пластиною зі світлопоглинаючим шаром. При додаванні зусилля пластина прогинається і поглинає частину світла через призму. Зміна світлового потоку фіксується фотоприймачем.

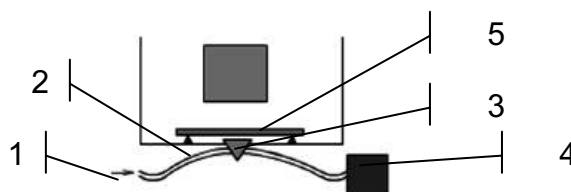


Рис. 4.15. Волоконно-оптичні датчики зусиль:
1 – джерело; 2 – оптоволоконно; 3 – призма; 4 – фотоприймач;
5 – пластина зі світлопоглинаючим шаром

4.1.3. Датчики температури й рівня

Для виміру температури застосовують **термоопір**, або **термопару**. Провідність електричного струму в термоопорі нелінійно збільшується при підвищенні температури. Термопара перетворює зміну температури в місці спаю двох різнорідних металів у зміну струму, що протікає через ці метали. Для зменшення температурної похибки термопари метали спаюють у двох точках (рис. 4.16). Одну з них поміщають у місце виміру. Різниця потенціалів V_1 і V_2 між спаями залежить від різниці їхніх температур.

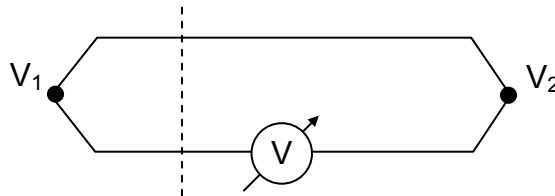


Рис. 4.16. Принцип дії термопари

Датчики рівня бувають ємнісні, резистивні, фотоелектричні, ультразвукові, радарні й ін.

Для ємнісного датчика два плоских електроди, що утворюють обкладки конденсатора, опускають у рідину (рис. 4.17, а).

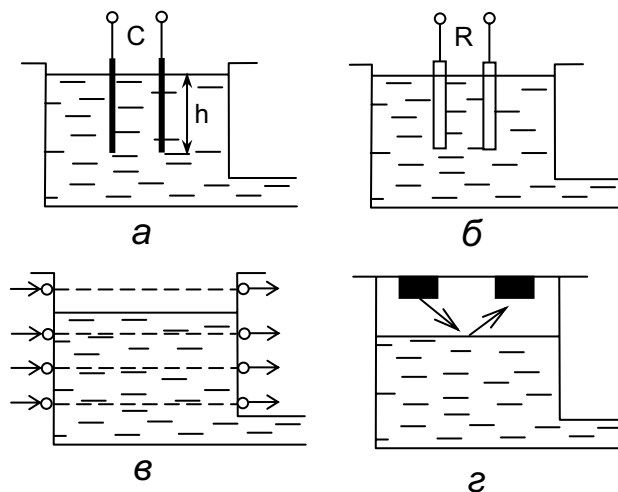


Рис. 4.17. Датчики виміру рівня:

а – ємнісний; б – резистивний; в – фотоелектричний; г – ультразвуковий

Зміна рівня рідини h змінює діелектричну постійну між обкладками конденсатора C . Для резисторного датчика в ємність опускають два лінійних опори (рис. 4.17, б). Залежно від рівня рідини замикаються ділянки опору R . Якщо рідина не проводить електричний струм, застосовують поплавець, з'єднаний з вимірником переміщень. При фотоелектричному перетворенні на протилежних стінках резервуара встановлюють джерела світла і фотоприймачі (рис. 4.17, в). Світловий потік від джерела до приймача перекривається залежно від рівня рідини. Ультразвуковий далекомір не має прямого контакту з рідиною і

вимірює різницю фаз прямого і відбитого від межі газового та рідкого середовищ імпульсів (рис. 4.17, г).

4.1.4. Локаційні датчики і системи технічного зору

Локаційні датчики призначені для безконтактного виміру відстаней до об'єктів, швидкості руху і розмірів об'єктів, виявлення перешкод, а також для визначення зазорів, перекосів, прослизань, наявності внутрішніх дефектів, товщини матеріалу, твердості, механічних напруг, площі, орієнтації щодо заданої точки. Для локаційних датчиків використовують акустичний, магнітний, оптичний, радіаційний, радіохвильовий, тепловий, електричний, електромагнітний і пневматичний методи виміру дальності. При *пасивній* локації приймають власні сигнали об'єкта; при *активній* локації сприймають різницю випромінюваного і відбитого від об'єкта сигналів.

Ультразвуковий метод локації оснований на здатності хвиль частотою більш 20 кГц поширюватися у твердих, рідких і газоподібних середовищах з відображенням від неоднорідностей середовищ. У луні-методі на об'єкт передають ультразвукові імпульси і приймають сигнали, відбиті від неоднорідностей середовища. Оптичний спосіб локації часто застосовують для виявлення об'єктів, що рухаються (по відбитому світлу). Лазерні далекоміри визначають час проходження або зрушення по фазі прямого і відбитого імпульсів. Радіолокаційні далекоміри працюють на надвисоких частотах, вимірюючи дальність до 1500 м. Відстань оцінюється за часом затримки відбитого сигналу щодо прямого. Надвисокочастотні (близько 4 ГГц) далекоміри нечутливі до шуму, вібрації, запиленості й вологості, однак більш коштовні. На відміну від інших далекомірів вони можуть працювати через непрозоре неметалічне вікно.

Системи технічного зору (СТЗ) надають 80 – 90 % інформації про зовнішнє середовище. Їх використовують для розпізнавання і сортування деталей, розбору деталей з «навалу» і укладання в касети, вимірів координат об'єктів, що рухаються, визначення характерних точок та орієнтації деталей при зборці, контролю якості обробки і покриття деталей, контролю виробів. Виділяють розпізнавальні, вимірювальні й оглядово-інформаційні СТЗ. Розпізнавальні СТЗ застосовують для контролю якості, класифікації й сортування об'єктів за геометричними параметрами. Вимірювальні СТЗ за геометричними параметрами об'єктів обчислюють відстані, перетворюють координати, визначають орієнтацію об'єктів. Оглядово-інформаційні СТЗ служать для організації технологічного процесу шляхом аналізу сцен у робочій зоні.

СТЗ містить відеодатчик, інформація з якого проходить попередню обробку і фіксується в буферному запам'ятовуючому пристрої на час обробки зображення в комп'ютері.

У режимі настроювання відеодатчик наводять на робочу сцену, фокусують зображення, задають пороги градації розпізнавальних ознак (наприклад, чорний і білий). У режимі навчання перед відеодатчиком поміщають еталонні об'єкти і задають в ЕОМ функцію належності еталона до певного класу.

У режимі розпізнавання ЕОМ обробляє відеоінформацію про об'єкт за складними алгоритмами розпізнавання образів і визначає його належність до того чи іншого класу. Як відеодатчики для оптичних СТЗ застосовують дисектори, відікони, прилади із зарядовим зв'язком (ПЗЗ), напівпровідникові матричні фотоприймачі.

Для роботи в оптично непрозорих середовищах розробляють радіаційні, теплові, радіохвильові й акустичні СТЗ.

Радіаційні СТЗ просвічують об'єкт рентгенівськими променями і перетворюють рентгенівське випромінювання у світлотіньове або електронне. У томографії одержують об'ємне зображення внутрішності об'єкта шляхом обробки щільності шарів. Теплові СТЗ сприймають електромагнітне випромінювання поверхні нагрітого тіла. Теплове поле перетворюють в електричні сигнали за допомогою тепловізора. Радіохвильові СТЗ використовують матриці випромінювачів і приймачів радіохвиль довжиною 1...100 мкм, що дозволяє визначити геометричні розміри об'єктів, відстань, швидкість руху, механічні напруги. Акустичні СТЗ відрізняються порядковим скануванням об'єкта і обробкою відбитих сигналів.

У пристрої сполучення відеодатчика з ЕОМ поле зору розбивається на окремі елементи, для кожного з яких оцінюється рівень яскравості (зазвичай чорний або білий). В ЕОМ передається матриця зображення з нулів і одиниць. Алгоритмічні методи обробки зображень зводяться до одного з трьох підходів: зіставлення з еталоном, класифікація (ухвалення рішення) і синтаксичний аналіз структури.

Програмне забезпечення СТЗ включає в себе модулі: зв'язку з технологічним устаткуванням і налагоджувальним комплексом; управління роботою відеодатчика (перетворення зображення); обчислення ознак (опис об'єкта стандартним набором параметрів); розпізнавання (побудова вирішуючого правила, що дозволяє шляхом зіставлення отриманих параметрів з наявними віднести об'єкт до відомого класу); навчання (підготовка СТЗ до роботи з новими об'єктами).

Складність СТЗ збільшується в такому порядку:

- визначення плоских координат відомих об'єктів;
- розпізнавання окремих двовимірних об'єктів;
- розпізнавання двовимірних об'єктів, що торкаються один одного;
- розпізнавання окремих тривимірних об'єктів;
- розпізнавання і аналіз взаємного розташування груп тривимірних об'єктів (аналіз сцен);
- розпізнавання тривимірних об'єктів, що лежать "навалом".

4.2. Інтелектуальні датчики

У сучасні датчики вбудовують мікропроцесор, що виконує інтелектуальні функції, такі, як переключення датчиків для роботи на спільний канал, внутрішнє масштабування, фільтрація і лінеаризація сигналу, сполучення з протоколом промислової шини, визначення максимуму й мінімуму сигналів, перетворення вихідного сигналу в стандартну цифрову форму, спрацьовування при заданій відстані до об'єкта, розпізнавання заданих матеріалу, кольору і форми об'єкта, гальванічна розв'язка й нормалізація сигналу і т. ін.

Таким чином, основні процедури обслуговування датчиків і пристроїв управління проводять на периферії систем, дозволяючи передавати тільки системні команди управління по каналах зв'язку і приймати оброблені, відкалібровані та відмасштабовані значення контрольованих параметрів.

Під терміном *“інтелектуальний”* найчастіше розуміють те, що сенсорна інформація вимірювальних процесів надходить споживачеві без одержання зайвих і необов'язкових даних після первинної обробки на сенсорному рівні. Отже, на відміну від традиційних датчиків, що виводять найчастіше неопрацьовані дані, інтелектуальні виводять тільки корисну інформацію.

Інтелектуальні датчики – це вже не просто перетворювачі, а спеціальні мікромеханічні пристрої (MEMS-пристрої). У таких датчиках фізичні перетворювачі інтегруються з управлінням і електронікою обробки сигналів у спільному, компактному корпусі. Крім того, інтелектуальний датчик може бути динамічно запрограмований і налагоджений залежно від змін вимог користувача і умов експлуатації.

Основними реалізованими функціями інтелектуальних пристроїв є такі:

- автономний (який не обслуговується) режим роботи у перебігу тривалого часового періоду;
- висока стабільність метрологічних характеристик протягом тривалих інтервалів часу;
- стійкість до впливу внутрішніх і зовнішніх перешкод і збоїв;
- підвищення точності датчиків і корекція похибок;
- самотестування;
- самонавчання з елементами штучного інтелекту;
- комутація (інтерфейси передачі даних, автоматичне підключення і самонастроювання Plug&Play);
- мінімальне енергоспоживання;
- обмежені габаритні розміри й маса.

Для здійснення цих функцій при розробці апаратних засобів і прикладного програмного забезпечення запропоновано такі рішення:

- 1) використання вбудованого мікроконтролера і модуля перетворення з автоматичним вибором діапазону;

- 2) корекція похибки та можливість автокалібрування вимірювальних каналів;
- 3) апаратна і програмна фільтрація вхідного сигналу з метою зменшення перешкод;
- 4) реалізація режиму періодичної подачі та відключення живлення;
- 5) використання сторожового таймера для запобігання втраті програмного управління;
- 6) використання статичних ОЗП з резервуванням живлення;
- 7) багаторазовий вимір параметрів із можливістю усунення збоїв;
- 8) автоматичне тестування.

Особливого значення набуває застосування в інформаційно-вимірювальних системах елементів *штучного інтелекту*, яке в більшості випадків полягає у використанні нечітких множин і нейромережних моделей, що забезпечує реалізацію механізмів адаптації, прогнозування і самонавчання.

Застосовуючи деякі методи й підходи штучного інтелекту, можна забезпечити функцію самонавчання датчика на основі апріорної інформації, автоматичну оцінку кількості необхідних циклів самонавчання датчика для адаптації до процесу дрейфу із заданою точністю і автоматичний розрахунок виправлень до процесів індивідуального дрейфу похибок вимірювального каналу.

З 1993 р. Національним Інститутом Стандартизації і Технології (NIST, США) здійснюється проект створення інтерфейсу "інтелектуальних" перетворювачів. З огляду на широке поширення мережних технологій Ethernet і Internet, вони були взяті за основу для комутації датчиків у розподілених контрольно-вимірювальних системах. Стандартизовані інтерфейси датчиків дають можливість вирішити проблеми сумісності пристроїв, мінімізують економічний ризик інвестицій у нові технології, прискорюють реалізацію інтелектуальних технологій у датчиках, забезпечують використання "Plug&Play" можливостей при взаємодії датчиків і мереж.

Результатом проекту NIST зі створення інтерфейсу "інтелектуальних" перетворювачів стала сім'я стандартів IEEE P1451. Відповідно до стандарту розподілена система інтелектуальних датчиків складається з мережної магістралі (мережа може бути фізичною або віртуальною через Internet), на якій знаходиться набір вузлів. У реальних "інтелектуальних" датчиках, що підтримують сім'ю стандартів P1451, виділяють три основних функціональних вузли: NCAP (мережеорієнтований процесор), STIM (модуль інтерфейсу інтелектуального перетворювача, тобто оброблююча частина + вимірювальна частина + інтерфейс), TEDS (електронний опис перетворювача). Основною ідеєю є те, що при переході на нове середовище передачі даних (мережа) немає необхідності змінювати всі датчики цілком, досить лише замінити модулі NCAP, при цьому STIM залишається той же. Модуль

TEDS використовують для надання користувачеві різної інформації про датчик: ідентифікація датчика в мережі, інформація про виробників, методи корекції помилок і т.д.

Отже, застосовують всі старі налаштування, немає необхідності в перекалібровці датчиків, що зменшує часові й фінансові витрати на реорганізацію мережі в цілому.

4.3. Виконавчі механізми

Виконавчі механізми (ВМ) є засобами впливу на технологічний процес.

ВМ призначені для переміщення регулювальних органів у системах автоматичного та дистанційного управління, а запірну й позиційно-регулюючу трубопровідну арматуру з електроприводом використовують у системах дистанційного управління при автоматизації різних технологічних процесів.

ВМ класифікують за такими ознаками (табл. 4.1):

Таблиця 4.1

Класифікація виконавчих механізмів

Класифікаційна ознака	Виконавчі механізми
1. За призначенням	- запірні (відсічні, запобіжні); - регулюючі (засувки); - запірно-регулюючі клапани (КЗР)
2. За типом робочого регулюючого органа	- сідельні; - з діафрагменою заслінкою; - клітинні; - кульові; - коркові; - дискові поворотні затвори й заслінки; - пілотні
3. За видом переміщення	- однооборотні; - однооборотні й неповноповоротні (0.25 ... 0.63 об.) фланцеві; - багатооборотні регулюючі засувки з постійною швидкістю; - прямоходні поступальної дії для прямолінійного переміщення регулювальних органів з постійною швидкістю
4. За управлінням напрямками потоків	- прямі; - кутові
5. За типом управління потоками	- двоходові (запірні); - триходові (розподільні, змішувальні); - чотириходові (розподільні, змішувальні)

Класифікаційна ознака	Виконавчі механізми
6. За типом управляючого сигналу	- пневматичні; - електричні; - електропневматичні; - гідравлічні
7. За типом приводу	- механічний; - пневматичний (мембранний, поршневий, лопатевий); - електропневматичний; - пневмомеханічний; - електромеханічний; - пневмогідравлічний; - гідравлічний
8. За виконанням виду виконавчого пристрою	- нормально відкриті; - нормально закриті; - довільного положення
9. За характеристикою перетворення	- лінійні; - експоненційні; - логарифмічні
10. За видом управляючого сигналу	- аналогові; - дискретні 2-позиційні (статичні й динамічні); - дискретні 3-позиційні (статичні й динамічні)
11. За оснащенням додатковим устаткуванням	- інтерфейс (HART і т. ін.); - позиціонер; - пілотний механізм; - ручний дублер; - показчик положення регулюючого органа індуктивний, реостатний, струмовий - датчики крайніх положень, блоки кінцевих вимикачів

До основних елементів електричних ВМ відносяться:

- електродвигун;
- редуктор, що знижує число обертів;
- вихідний пристрій для механічного зчленування з регулювальним органом;
- ручний привід (ручний дублер) на випадок виходу з ладу системи автоматизації або для налагодження;
- пристрої самогальмування при відключенні електродвигуна;
- двигун, який при перевантаженнях на валу відключається механічним пристроєм обмеження граничного моменту, що впливає на один із моментних вимикачів (залежно від напрямку руху вала);

- пристрій зворотного зв'язку в системах автоматичного управління;
- пристрої для дистанційного вказання положення вала ВМ і сигналізації положення механізму.

Позиціонер являє собою підсилювач зі зворотним зв'язком по положенню вихідної ланки виконавчого пристрою. Позиціонери (позиційні реле) призначені для підвищення чутливості й швидкодії, збільшення переставного зусилля, зменшення гістерезису.

Позиціонери застосовують в умовах: в'язких середовищ, високих тисків регульованого середовища, у випадку установки клапанів у не рекомендованих положеннях, на клапанах великого діаметра, при значній відстані між регулюючим пристроєм і ВМ.

Управління механізмами (пуск, останов, зміна напрямку руху або реверс) здійснюється контактними і безконтактними пристроями. При контактному управлінні використовують реверсивні електромагнітні пускачі або реле. Безконтактне управління механізмами реалізується безконтактними реверсивними пускачами.

ВМ можуть мати вибухозахищене виконання з видом вибухозахисту «іскробезпечне електричне коло» і «вибухонепроникна оболонка».

Контрольні запитання і вправи

1. Для чого призначені датчики?
2. Які бувають види вихідних сигналів датчика?
3. Назвіть загальні вимоги, що пред'являються до датчиків. Які з них є основними?
4. Які різновиди датчиків положення існують? У чому їх особливості?
5. На чому оснований принцип роботи фотоелектричних датчиків положення?
6. У чому полягають розходження між накопичувачими і абсолютними цифровими вимірниками?
7. Для чого застосовують силомоментні датчики?
8. Яким чином відбувається перетворення сил і моментів в електричний сигнал?
9. Що являє собою термopара? Для чого її застосовують?
10. Як здійснити вимір рівня рідини?
11. Перелічіть основні функції СТЗ.
12. Які основні модулі включає в себе ПЗ для СТЗ?
13. У чому ви бачите основну причину появи інтелектуальних датчиків?
14. Які додаткові функції можуть виконуватися інтелектуальними датчиками?
15. Назвіть основні функціональні вузли, що властиві інтелектуальним датчикам.



РОЗДІЛ 5

ПРОГРАМУВАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ

5.1. Класи контролерних засобів

У даний час автоматизація будь-яких виробничих процесів виконується на базі універсальних мікропроцесорних контролерних засобів, що одержали назву програмно-технічних комплексів (ПТК). На вхід ПТК від датчиків надходять обмірювані значення величин, що характеризують виробничий процес. Комплекси реалізують задані функції контролю, обліку, регулювання, логічного управління і видають результати на екран дисплея робочої станції оператора (операторські панелі) та управляючі впливи на виконавчі механізми об'єкта автоматизації.

До типових елементарних задач автоматизації, які розв'язуються на базі контролерних засобів, відносять:

1) збір (із прив'язкою до реального часу), обробку і збереження інформації про технічний стан і технологічні параметри об'єкта автоматизації;

2) моніторинг певних параметрів різних пристроїв і механізмів об'єкта автоматизації в реальному масштабі часу або з певною періодичністю із сигналізацією про вихід цих параметрів за деякі припустимі межі;

3) діагностику стану об'єкта автоматизації;

4) надання диспетчерському та інженерно-технічному персоналу поточної й статистичної інформації про стан технологічних процесів та устаткування;

5) видачу управляючих впливів на виконавчі механізми об'єкта автоматизації.

При цьому до контролерних засобів пред'являються такі функціональні вимоги: апаратна підтримка (найчастіше і управління) мереж і протоколів польового та верхнього рівня; дистанційне управління й завантаження програм; відмовостійкість, самодіагностика і т. ін.

Розв'язання таких елементарних задач дозволяє вирішувати задачі автоматизації більш високого рівня:

- підвищення оперативності й якості управління технологічними процесами;
- підвищення безпеки виробничих процесів;
- підвищення рівня контролю технічних систем та об'єктів, забезпечення їхнього функціонування без постійної присутності чергового персоналу;
- скорочення витрат часу персоналу на виявлення і локалізацію не-

справностей і аварій у системі;

- економія трудових ресурсів, полегшення умов праці обслуговуючого персоналу;
- ведення баз даних, що забезпечують інформаційну підтримку оперативного диспетчерського персоналу.

Усі ПТК можна розбити на класи, кожний з яких розрахований на певний набір виконуваних функцій і відповідний обсяг одержуваної й оброблюваної інформації про об'єкт.

При розгляді ПТК діапазон можливих класів коливається від найпростіших, мінімальних за функціями і обсягом автоматизації, до найбільш потужних повномасштабних розподілених систем управління. Для кожної групи контролерних засобів є раціональна галузь застосування (рис. 5.1).

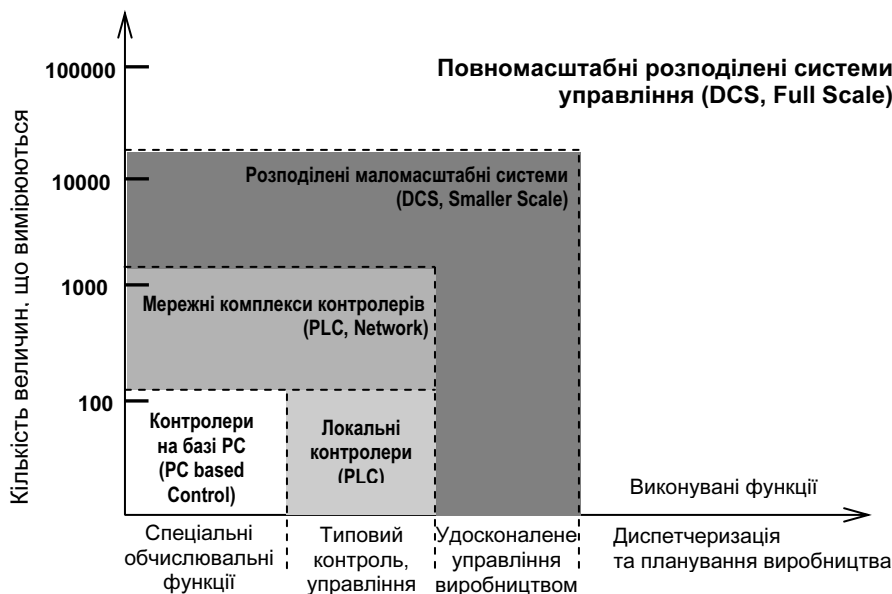


Рис. 5.1. Класи контролерних засобів

1. Контролери на базі персональних комп'ютерів

Підхід, що одержує усе більше поширення, в якому реалізація функцій управління здійснюється пакетами прикладних програм, що виконуються PC сумісними комп'ютерами, одержав назву **Softlogic**.

До важливих переваг PC-контролерів (*PC based control*) варто віднести відкриту архітектуру, легкість підключення будь-яких блоків введення/виведення, можливості використання широкої номенклатури напрацьованого програмного забезпечення (операційних систем реального часу, баз даних, пакетів прикладних програм контролю і управління).

Можна вказати такі умови, що окреслюють галузь застосування контролерів на базі PC:

- виконується великий обсяг обчислень за досить малий інтервал часу при невеликій кількості входів і виходів об'єкта (необхідна велика обчислювальна потужність);

- засоби автоматизації працюють у навколишньому середовищі, що не відрізняється від умов роботи офісних персональних комп'ютерів;
- операторам практично не потрібна потужна апаратна підтримка роботи в критичних умовах, що забезпечується звичайними контролерами. До функцій такої підтримки відносяться: глибока діагностика роботи обчислювальних пристроїв, автоматичне резервування, «гаряча» заміна пристроїв, модифікація програмних компонентів під час роботи системи управління і т.д.;
- контролер виконує нестандартні функції, що доцільно програмувати не спеціальною технологічною мовою, а універсальною мовою програмування високого рівня (наприклад, C++, Pascal).

2. Локальний програмувальний логічний контролер (PLC)

ПЛК реалізують типові функції обробки вимірювальної інформації, блокувань, регулювання та інші у локальних і розподілених системах управління. За технічними можливостями, що визначають рівень розв'язуваних задач, ПЛК поділяють на класи: мікро-, малі, середні та великі. Високі експлуатаційні характеристики роблять доцільним застосування ПЛК скрізь, де потрібна логічна обробка сигналів від датчиків. Більшість із них мають один або кілька фізичних портів для з'єднання з іншою апаратурою та інтерфейси, що пов'язують окремі пристрої через мережу з іншими засобами автоматизації.

Застосування ПЛК забезпечує високу надійність, просте тиражування і обслуговування пристроїв управління, прискорює монтаж і налагодження устаткування, забезпечує швидке відновлення алгоритмів управління (у тому числі і на працюючому устаткуванні).

3. Мережний комплекс контролерів (PLC Network)

Мережні ПЛК найбільш широко застосовують для управління виробничими процесами у всіх галузях промисловості. Мінімальний склад даного класу ПЛК має такі компоненти: набір контролерів; кілька дисплейних робочих станцій операторів; промислову мережу, що з'єднує контролери між собою і контролери з робочими станціями.

Контролери, що входять у мережний комплекс, можуть мати різні модифікації і відрізнятися один від одного швидкодією, обсягом пам'яті, можливостями щодо резервування, кількістю каналів введення/виведення і т. ін. (залежно від особливостей технологічного об'єкта, що автоматизується, і необхідних функцій).

Промислова мережа також може мати різну структуру, фізичні канали зв'язку (кручена пара, оптоволокно, радіоканал і т. ін.) і забезпечує інтеграцію устаткування в єдину систему автоматизації.

Розглянутий клас мережних комплексів контролерів має верхні обмеження зі складності виконуваних функцій і розміру об'єкта, що автоматизується. Зазвичай телемеханічні комплекси цього класу вирішують типові задачі виміру, контролю, обліку, регулювання, захисту і

блокування, використовуючи до декількох десятків тисяч вимірюваних і контрольованих величин (на рівні окремих агрегатів або цехів заводів).

4. Розподілені маломасштабні системи управління (DCS Smaller Scale)

Маломасштабні розподілені контролерні засоби в середньому перевершують більшість мережних комплексів контролерів за потужністю і гнучкістю структури, а отже, за обсягом і складністю виконуваних функцій. Дана категорія засобів відрізняється від попереднього класу тим, що має розвинуту багаторівневу мережну структуру. Так, нижній рівень може виконувати зв'язок контролерів і робочої станції компактно розташованого технологічного вузла, а верхній рівень – підтримувати взаємодію декількох вузлів один з одним і з робочою станцією диспетчера усієї ділянки виробництва, що автоматизується.

Потужність контролерів, застосовуваних у цьому класі засобів, дозволяє на додаток до типових функцій контролю і управління реалізовувати більш складні й об'ємні алгоритми управління (наприклад, самонастроювання алгоритмів регулювання, адаптивне управління).

Маломасштабні розподілені системи управління використовуються для автоматизації окремих агрегатів підприємств безперервних галузей промисловості, а також цехів і ділянок дискретних виробництв.

5. Повномасштабні розподілені системи управління (DCS Full Scale)

Це найбільш потужний за можливостями і охопленням виробництва клас контролерних засобів. Описувана група контролерних засобів відрізняється: розвинутою багаторівневою структурою; виходом на корпоративну мережу підприємства, систему управління бізнес-процесами, глобальну мережу Інтернет, а також на рівень інтелектуальних приладів; широким модельним рядом застосовуваних контролерів і робочих станцій і т.д.

Під час вибору контролерних засобів доцільно керуватися критеріями, важливість яких для кожного класу ПТК наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Критерії вибору контролерних засобів

Важливість	DCS	PC-based	PLC
1	Надійність	Надійність	Надійність
2	Простота установки	Гнучкість і здатність до взаємодії	Гнучкість і здатність до взаємодії
3	Сумісність з існуючими системами	Простота установки	Сумісність з існуючими системами
4	Гнучкість і здатність до взаємодії	Сумісність з існуючими системами	Довговічність
5	Погодженість зі стандартами	Довговічність	Легка розширюваність і перенастроювання

Конкретні технічні контролерні засоби вибирають з урахуванням специфіки цих пристроїв, а критерії оцінки можна розділити на три групи:

- технічні характеристики (кількість каналів введення/виведення, швидкодія, рівні напруги сигналів, функціональність, масогабаритні характеристики і т.д.);
- експлуатаційні характеристики (діапазон робочих температур, відносна вологість повітря, пилезахищеність і т.д.);
- споживчі властивості (співвідношення показників витрати/продуктивність/надійність).

5.2. Програмувальні логічні контролери PLC

5.2.1. Архітектура контролера. Принцип роботи

Програмувальний логічний контролер (PLC) – пристрій, призначений для збору, перетворення, обробки, збереження інформації та вироблення команд управління. PLC реалізується на базі мікропроцесорної техніки і працює в локальних і розподілених системах управління в реальному часі відповідно до набору програм. Перші контролери з'явилися на початку 80-х років і спочатку використовувалися для заміни традиційних пристроїв релейної автоматики.

Сьогодні PLC завдяки своїй універсальності вирішують найширше коло задач і можуть застосовуватися в будь-яких галузях промисловості, в енергетиці, металургії, медицині, транспорті, сільському господарстві і т.д.

За функціональними ознаками у PLC можна виділити такі елементи:

- центральний процесор, призначений для виконання команд (інструкцій) управляючої програми і обробки даних, розміщених у пам'яті;
- оперативна пам'ять контролера з розподілом областей для розміщення різних типів даних;
- енергонезалежна пам'ять для програм управління;
- модулі введення, що забезпечують приймання й первинне перетворення інформації від датчиків об'єкта управління;
- модулі виведення, що призначені для видачі управляючих сигналів на виконавчі пристрої об'єкта управління;
- перетворювачі інтерфейсів;
- лицьова панель, що може включати світлодіодну індикацію, рідкокристалічний екран індикації, пульт або клавіатуру;
- блок живлення (може комплектуватися акумулятором для забезпечення безперебійної роботи).

За конструктивним виконанням PLC можуть бути:

- блокового типу;
- модульного типу.

На відміну від PLC блокового типу, що мають жорстку конфігурацію, модульна структура дозволяє гнучко змінювати конфігурацію, скорочувати і нарощувати кількість каналів введення/виведення. Номенклатура модулів введення/виведення перебиває практично всі потреби промислової автоматизації. Це модулі: дискретного та аналогового введення/виведення, цифроаналогові перетворювачі (ЦАП) за напругою і за струмом, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) за напругою і за струмом, частотні входи, послідовні інтерфейси, мережні модулі, що дозволяють підключати PLC до стандартних промислових шин.

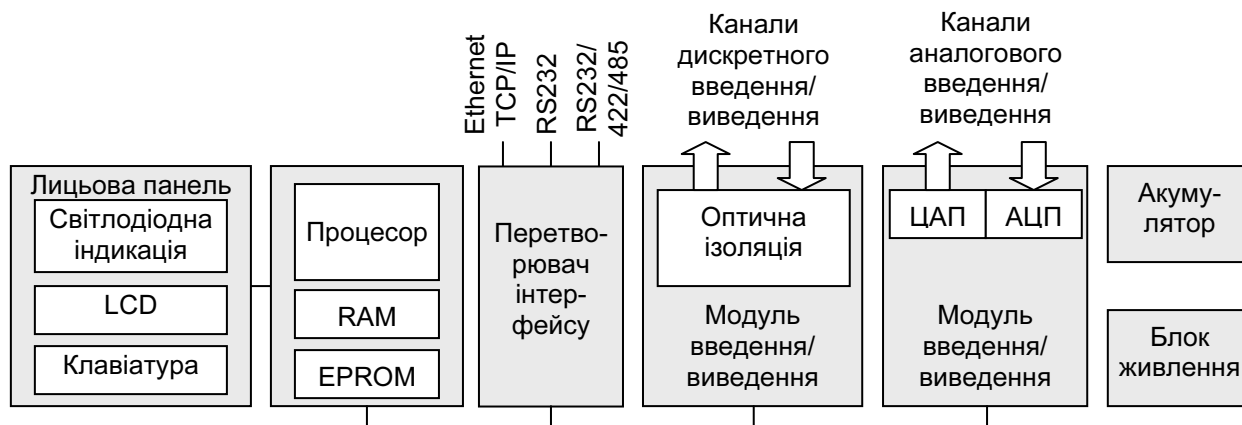


Рис. 5.2. Структурна схема PLC

У модулях передбачається гальванічна ізоляція, захист від перенапруги і короткого замикання, заходи для перешкодозахищеності і т.д.

Один *дискретний вхід* PLC здатний приймати один бінарний електричний сигнал, описуваний двома станами – включений або виключений. На рівні програми це один біт інформації – «1» (Так) або «0» (Ні). Кнопки, вимикачі, контакти реле, датчики і набір приладів з виходом типу «сухий контакт» або «відкритий колектор» безпосередньо можуть бути підключені до дискретних входів PLC.

Аналоговий електричний сигнал відбиває рівень напруги або струму, аналогічний деякій фізичній величині в кожен момент часу. Це може бути температура, тиск, маса, положення, швидкість, частота і т.д.

Оскільки PLC є цифровою обчислювальною машиною, *аналогові вхідні сигнали* обов'язково піддаються *аналого-цифровому перетворенню* (АЦП). У результаті утворюється дискретна змінна певної розрядності. Як правило, у PLC застосовують 8-12-розрядні перетворювачі. АЦП більш високої розрядності не виправдують себе, у першу чергу через високий рівень індустриальних перешкод, характерних для умов роботи контролерів.

Особливим класом аналогових входів є входи, призначені для підключення термометрів опору і термопар. Тут потрібно застосування

спеціальних технічних рішень (треточкове включення, схеми компенсації холодного спаю, схеми лінеаризації і т.д.).

Один *дискретний вихід* PLC здатний комутувати один електричний сигнал. Як і дискретний вхід, з погляду програми це один біт інформації, що приймає стани «1» або «0». Навантаженням дискретних входів можуть бути лампи, реле, силові пускачі, пневматичні клапани, індикатори і т.д. Багато складних приладів комутації та регулювання оснащуються керуючими дискретними входами, наприклад блоки плавного пуску і управління електроприводами.

Найпростіший дискретний вихід PLC виконують у вигляді контактів реле. Такий вихід досить зручний у застосуванні і простий. Однак він має характерні недоліки реле – обмежений ресурс (число спрацьовувань), низька швидкодія, руйнування контактів при роботі на індуктивне навантаження. Альтернативним рішенням дискретного виходу є електронний силовий елемент.

Схема ключа PLC, як правило, містить індивідуальну світлодіодну індикацію, гальванічну розв'язку і елементи захисту від помилкового включення та короткого замикання навантаження.

Практика експлуатації довела недоцільність зосередження в корпусі PLC великого числа силових комутуючих елементів. Оптимальним рішенням є установка силових комутуючих приладів максимально близько до навантаження. У результаті скорочується довжина силових монтажних з'єднань, знижується вартість монтажу, спрощується обслуговування, зменшується рівень електромагнітних перешкод. За необхідності управління потужнострумовими навантаженнями застосовують виносні пристрої комутації.

Для більшості модифікацій PLC можливо просте об'єднання контролерів у мережу з використанням інтерфейсу RS-485 (один із контролерів призначається ведучим, а інші – відомими) або Ethernet.

Базовим принципом побудови будь-якого PLC є незмінність циклу програми. Так, PLC скануючого типу працюють циклічно за методом періодичного опитування входних даних. *Робочий цикл* PLC включає в себе чотири фази (рис. 5.3): опитування входів, виконання прикладної програми управління, установку значень виходів і деякі допоміжні операції (діагностика, підготовка даних для налагодника, візуалізація і т.д.). Прикладна програма має справу з одномоментною копією значень входів. У середині одного циклу виконання програми значення входів можна вважати константами. Така модель спрощує аналіз і програмування складних логічних і послідовних алгоритмів. Очевидно, що *час реакції* на подію буде залежати від часу виконання однієї ітерації прикладної програми.

Сама програма може бути розбита на блоки, що відповідають за ті чи інші дії, обробку якихось подій. Такими подіями можуть бути зміна стану датчика чи їхньої групи, закінчення деякого інтервалу часу, оде-

ржання того або іншого повідомлення по мережі і ряд інших причин. Події, що вимагають швидкої реакції, виділяються в окремі задачі, пріоритетність і період виконання яких можна змінювати.

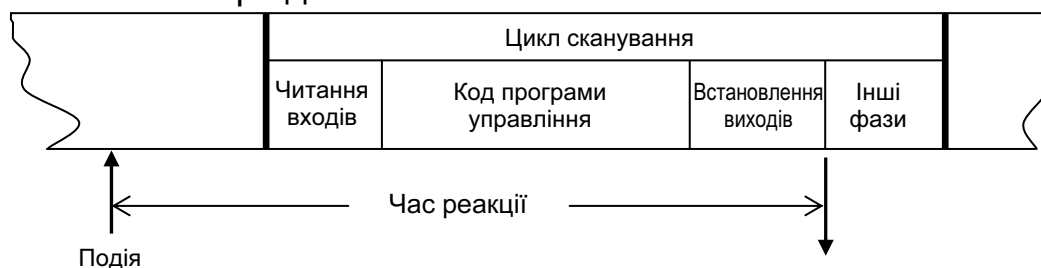


Рис. 5.3. Робочий цикл ПЛК

Схожі ділянки програми можуть бути оформлені у вигляді окремого блока – еквівалента підпрограми. Більшість PLC постачена системними блоками, в яких реалізовані різні функції, що часто застосовуються в промисловій автоматизації, наприклад, операції над числами з плаваючою комою, ПІД-регулювачі та деякі інші. Такі блоки незмінні, оскільки створені виробником PLC. Вони можуть викликатися блоками користувача. Так само можуть існувати спеціальні блоки, що викликаються під час обробки переривань або при «холодному» чи «гарячому» старті PLC.

Для програмування логіки PLC використовують мови програмування, що відповідають стандарту IEC 61131-3. У цьому випадку оператори PLC можуть бути подані в декількох виглядах: релейно-сходової діаграми, функціональної схеми або в символічному вигляді, дуже схожому на асемблерний код мікроконтролера. Базовий набір операторів досить примітивний і містить у собі логічні операції, операції установки або скидання деякої змінної, різні таймери й лічильники і т. ін. Інші оператори можуть змінюватися від однієї моделі PLC до іншої.

Усі PLC забезпечуються програмним забезпеченням для ПЕОМ, за допомогою якого створюються програми і налагоджуються безпосередньо на об'єкті, що автоматизується. Симулятор, що входить у програмне забезпечення, дозволяє в ряді випадків налагодити програму без фізичної присутності PLC.

У загальному випадку до складу програмного забезпечення контролера можуть входити:

- операційна система реального часу;
- редактор мови функціональних блоків;
- інтерпретатор мови функціональних блоків;
- бібліотеки інтерпретатора;
- бібліотеки підтримки;
- підсистема введення/виведення;
- підсистема оперативного управління та налаштування;
- комунікаційна підсистема;
- підсистема діагностики.

5.2.2. Резервовані архітектури контролерів

Контролерні пристрої для промислової автоматизації зазвичай відрізняються особливо високою надійністю, живучістю і швидкодією. У них передбачаються різні варіанти повної поточної діагностики несправностей із глибиною до окремої плати; захисні коди, що охороняють інформацію від перекручувань під час передачі і збереження; резервування як окремих компонентів, так і всього пристрою в цілому. Зокрема, до найбільш розповсюджених способів резервування контролерів відносяться:

- гарячий резерв окремих компонентів і/або контролера в цілому (при непроходженні тесту в робочому контролері управління переходить до другого контролера);
- трювання основних компонентів і/або контролера в цілому з голосуванням за результатами обробки сигналів усіма контролерами, що складають групу (за вихідний сигнал приймають той, котрий видали більшість контролерів групи, а контролер, що розрахував інший результат, вважається несправним);
- робота за принципом "пара і резерв". Паралельно працює пара контролерів з голосуванням результатів, а аналогічна пара знаходиться в гарячому резерві. При виявленні різниці результатів роботи першої пари управління переходить до другої пари; перша пара тестується, і або визначається наявність випадкового збою і управління повертається до першої пари, або діагностується несправність і управління залишається у другій парі.

Розглянемо типову схему резервування контролерних пристроїв. Один із контролерів у парі є активним контролером, а інший – резервним. Між активним і резервним контролером зазвичай немає ніякої відмінності – ні фізичної, ні в перевазі позиції активного контролера. Контролер, що завантажиться першим, і стає активним контролером.

Резервний контролер містить у собі ту ж саму конфігурацію, що й активний контролер, і відслідковує всі операції активного контролера. Коли активний контролер виходить з ладу, резервний контролер стає активним, забезпечуючи безперервне управління без утручання користувача і без ініціалізації.

Коли контролер, що був активним до моменту відмовлення, відновлюється або заміняється, ці два контролери знову стають резервованою парою.

Переключення контролерів з активного на резервний може відбуватися в таких випадках:

- апаратний збій (постійне самотестування електроніки контролера на наявність апаратних збоїв гарантує виявлення збою компонента);
- збій обміну між активним контролером і підсистемою введення-

виведення (обидва контролери постійно перевіряють свій стан обміну з модулями введення/виведення. Якщо активний контролер не може обмінюватися з модулями введення/виведення довше визначеного інтервалу часу, то відбувається переключення на резервний контролер, якщо його обмін з модулями введення/виведення знаходиться в нормі);

- збій обміну по основній і резервній мережах для активного контролера (через певний інтервал часу обидва контролери перевіряють свій стан обміну з іншими вузлами керуючої мережі. Якщо активний контролер знайде втрату комунікації, то відбудеться переключення на резервний контролер, якщо він може обмінюватися з вузлами керуючої мережі як мінімум по одній (основній або резервній) підмережі);
- видалення контролера з настановної панелі (якщо активний контролер фізично видаляється з настановної панелі, то відбувається переключення на резервний контролер);
- запит користувача на переключення контролерів (користувач, що має необхідний рівень доступу, може вручну ініціювати переключення контролерів);
- відмова живлення активного контролера (переключення відбувається, якщо резервний контролер доступний);
- відмова пам'яті активного контролера (для виявлення проблем, пов'язаних з пам'яттю, контролер виконує тест контрольної суми для енергонезалежної й оперативної пам'яті);
- зависання програмного забезпечення (контролер повинний мати механізм виявлення зависання програмного забезпечення, що включає сторожовий таймер (watchdog timer) і обробку позаштатних станів процесора).

Факт переключення контролерів і причина виникнення мають обов'язково фіксуватися на операторських станціях у журналі подій.

Переключення контролерів не повинно викликати порушення управляючих вихідних сигналів.

Після виконання переключення новий активний контролер підготовляється до виконання програмних модулів. Під час цієї фази всі виходи залишаються у своїх останніх значеннях.

Потім новий активний контролер починає виконувати модулі з тієї ж самої точки, на якій відключився старий активний контролер. Необхідно, щоб усі програми-клієнти, яким потрібні параметри контролера, перереєструвалися за цими параметрами.

При відновленні програм у працюючому процесі управління для резервованих контролерів досить оновити резервний контролер і потім виконати ручне переключення.

Після цього виконується відновлення другого контролера, що був тільки що переведений у резерв.

5.2.3. Загальна характеристика стандарту IEC 61131-3 з програмування контролерів

Програмувальним контролерам присвячена серія стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) IEC 61131 (раніше позначалися як IEC 1131).

Серія складається з декількох частин, що охоплюють як апаратні засоби програмувальних контролерів, так і їхнє програмне забезпечення (табл. 5.2)

Таблиця 5.2

Стандарти IEC 61131 «Контролери програмувальні»

Номер стандарту	Найменування	Рік видання/діючий	Вимоги	
			Апаратні	Програмні
IEC 61131-1	Частина 1. Загальні зведення	1992/2003	+	+
IEC 61131-2	Частина 2. Вимоги до устаткування й випробувань	1992/2003	+	-
IEC 61131-3	Частина 3. Мови програмування	1993/2003	-	+
IEC 61131-4	Частина 4. Керівництво для користувача	1995/2004	+	+
IEC 61131-5	Частина 5. Зв'язок	2000	+	+
IEC 61131-6	Частина 6. Зв'язок через fieldbus	у розробці	-	+
IEC 61131-7	Частина 7. Програмування управління з нечіткою логікою	2000	-	+
IEC 61131-8	Частина 8. Провідні вказівки щодо застосування і реалізації мов програмування	2000/2003	-	+

У МЕК прийнятий п'ятирічний цикл перевірки стандартів, тому деякі з них знаходяться в процесі відновлення.

Перша частина цієї серії стандартів – стандарт IEC 61131-1 присвячений загальному опису програмувального контролера (ПЛК), включаючи термінологію щодо ПЛК, опис його структури і функціональних характеристик – функцій обробки сигналів, інтерфейсів введення/виведення, зв'язку, людино-машинної взаємодії, програмування, надійності й ергономіки.

Основним стандартом, що відноситься до апаратури програмувальних контролерів, є стандарт IEC 61131-2. У ньому визначаються:

- вимоги до контролерів з умов їхньої експлуатації, транспортування і збереження, включаючи температуру, вологість, тиск, механічні впливи й ін.;
- електричні вимоги, включаючи вимоги з аналогового і дискретного введення/виведення, живлячих напруг, інтерфейсів зв'язку, процесорів, пам'яті, периферії, стійкості до зовнішніх перешкод і випромінюваних перешкод, ізоляції, самотестування і діагностики;

- вимоги безпеки, включаючи захист від електричних поразень, розряди через зазори, вогнестійкість, огороження, термостійкість механічних з'єднань, заземлення, батареї й ін.;
- тестування і експерименти з перевірки виконання наведених вище вимог;
- інформація, яку має прикладати до продукції виробник контролерів.

Основним стандартом, що відноситься до програмного забезпечення контролерів, є стандарт з мов програмування контролерів – IEC 61131-3. У стандарті визначені дві текстові мови програмування (IL – *Instruction List* і ST – *Structured Text*) і дві графічні мови (LD – *Ladder Diagram* і FBD – *Function Block Diagram*). Конкретизована для контролерів також графічна мова послідовних функціональних діаграм (SFC – *Sequential Function Chart*) введена раніше як стандарт IEC 848.

Усі ці мови програмування контролерів взаємозв'язані – для всіх цих мов стандарт визначає єдині моделі програмного забезпечення, зв'язкових функціональних блоків і модель власне програмування. Стандартизовано загальні елементи цих мов і насамперед використувані символи, типи даних і змінні. Визначено функції й функціональні блоки, їхні декларації, набори стандартних функцій і функціональних блоків, поняття програм на цих мовах. Стандарт визначає і такі загальні елементи, як конфігурації, ресурси, шляхи доступу, задачі. Усе це дає можливість проведення програмування на кожній з цих мов або їхнього спільного використання із забезпеченням генерації кодів єдиної програми.

У додатках до стандарту наведені формальні специфікації елементів текстових мов, а як інформаційний матеріал – набір прикладів конкретних функцій, блоків функцій і програм, написаних на цих мовах. Вони разом зі стандартними функціями та функціональними блоками є основою для створення багатих бібліотек стандартних елементів програм для систем контролю і управління.

Найважливішим розширенням стандарту IEC 61131-3 є стандарт IEC 61131-5, пов'язаний з програмуванням зв'язків між контролерами та іншими програмувальними системами. Цей стандарт спирається на стандарт специфікації виробничого повідомлення – *Manufacturing Message Specification* (MMS, ISO/IEC 9506).

У стандарті визначені сервіси прикладного рівня, такі, як мережна перевірка (сертифікація) приладів, збір даних (за викликом і програмувальний), управління по мережі (параметричне і захисне), повідомлення про тривоги, виклики виконання програм та управління, передачі прикладних програм, управління зв'язком. Сервіси наведені на мовах програмування, визначених у IEC 61131-3 і, зокрема, у вигляді FBD. Подані діаграми станів і переходів для кожного сервісу.

Сьома частина серії стандартів – IEC 61131-7 присвячена мові програмування нечіткого контролю і управління. Тут мова йде про

введення стандартних описів елементів нечіткого управління на мовах програмування контролерів, визначених у IEC 61131-3 (і головним чином мовою FBD). Визначено модель і функціональні елементи нечіткого управління, таких, як розмиття (*fuzzification*), зворотне ущільнення (*defuzzification*), що роблять правила за алгоритмом послідовних операцій з'єднання (*aggregation*), активації (*activation*) і накопичування (*accumulation*).

У результаті в стандарті визначена мова нечіткого контролю і управління (*Fuzzy Control Language - FCL*). Розглянуто рівні відповідності систем контролю і управління, що використовують FC.

IEC 61131-4 – це настанова користувачеві, що працює за цими стандартами, в якому зібрані корисні дані для всіх етапів життєвого циклу контролерів.

IEC 61131-8 – технічний звіт, що узагальнює досвід програмування контролерів на мовах стандарту 61131-3.

5.2.4. Огляд мов програмування контролерів

Досвід показує, що вибір використовуваних мов найчастіше залежить від особистих переваг користувачів і мало пов'язаний з технологічним процесом, що автоматизується. Дійсно, наведені в стандарті IEC 61131-3 мови в більшості випадків взаємозамінні. Це означає, що при різному рівні підготовленості в галузі чистого програмування користувачі можуть створювати програми однакової функціональності.

1. SFC. Теорія кінцевих автоматів, яка використовується для формалізації станів складних процесів управління, спирається на різні графічні моделі опису станів. Одну з найвідоміших моделей запропонував К. Петрі. Вона одержала назву “мережі Петрі”, або діаграми станів, і послужила теоретичною основою мови послідовних функціональних схем (*Sequential Function Charts – SFC*).

SFC дозволяє формулювати логічні програми на основі процедурних кроків, що чергуються, і транзакцій (умовних переходів), а також описувати послідовно-рівнобіжні задачі в зрозумілій і наочній формі.

Точно кажучи, SFC не є мовою програмування, а є засобом проектування прикладного ПЗ, що складається з великої кількості програмних одиниць (програм, функціональних блоків). SFC забезпечує паралельність виконання програм, встановлення і контроль стану породжених процесів, синхронізацію прийому і обробки даних.

Мова включає в себе два аспекти контролера:

- послідовність виконання (лінійна, розгалужена, перехід, петля);
- виконувані дії (не замикаюча, замикаюча, тимчасова затримка, тимчасове обмеження, пульсуюча).

Опис процесу мовою SFC будують із п'яти елементів (рис. 5.4).

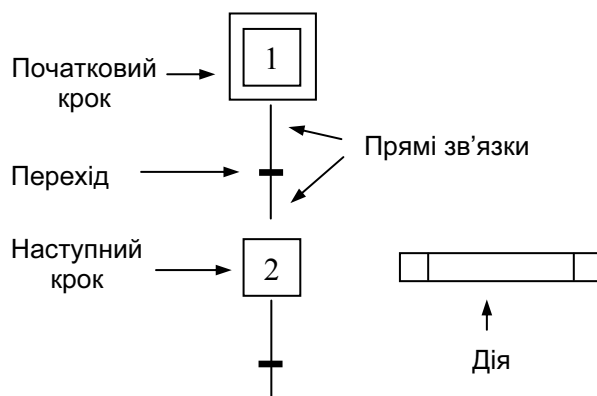
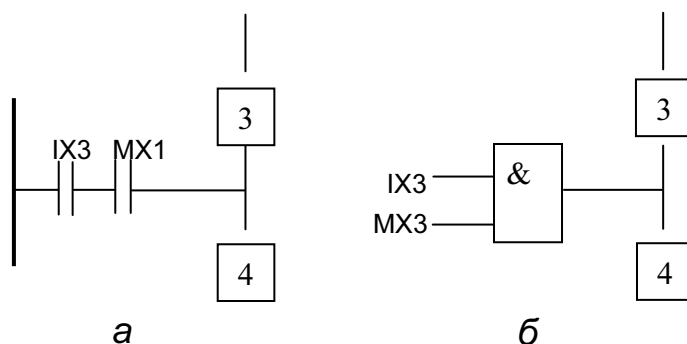


Рис. 5.4. Елементи мови діаграм послідовних функцій

Крок – це стійкий стан процесу, що позначається на діаграмі у вигляді прямокутника з номером кроку. Початковий крок позначається подвійною рамкою. Крок є активним, якщо на ньому виконується деяка дія, що показана праворуч у вигляді прямокутника.

Перехід – це деяка умова, має бути виконана при переході від одного кроку до іншого. Умова може бути описана на будь-якій мові стандарту IEC 61131-3. На рис. 5.5 показані умови відкривання переходів, записані мовою сходових діаграм (LD) або функціонально-блокових діаграм (FBD).

Рис. 5.5. Види умов для спрацьовування переходів:
а – мовою LD; б – мовою FBD

Прямі зв'язки – це лінії, що з'єднують кроки і переходи. Вони можуть бути вертикальними або горизонтальними. Кроки, що з'єднані вертикальними лініями, слідує зверху вниз через переходи.

Розгалуження аналогічне логічній операції «АБО» (рис. 5.6). Горизонтальні лінії розміщуються вище і нижче переходів, причому верхнє з'єднання горизонтальної та вертикальної ліній відзначається хрестиком.

Якщо перехід D відкривається, то виконуються кроки 3, 4. Якщо замість нього відкривається перехід E, то виконуються кроки 3, 5. Якщо замість нього відкривається перехід F, то виконуються кроки 3, 6.

При одночасному відкриванні переходів D, E, F послідовність кроків визначається пріоритетами, що привласнені переходам.

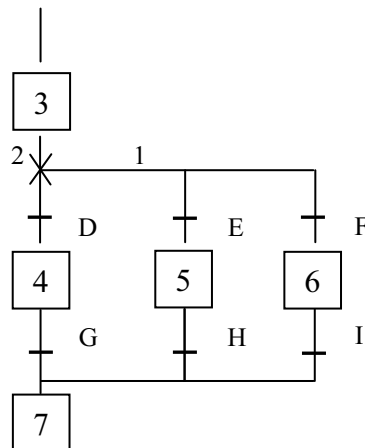


Рис. 5.6. Розгалуження мовою SFC

Петля показує, що при закриванні деякого переходу C і відкриванні переходу D процес повертається до попереднього кроку (рис. 5.7).

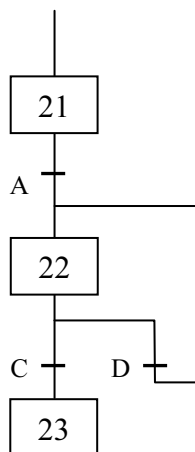


Рис. 5.7. Петля мовою SFC

2. FBD. Мова функціональних блоків (*Function Block Diagrams*) дозволяє створити програмну одиницю практично будь-якої складності на основі стандартних «цеглинок» (арифметичні, тригонометричні, логічні блоки, PID-регулятори, блоки, що описують деякі закони управління, мультиплектори й ін.). Вона використовує технологію інкапсуляції алгоритмів обробки даних і законів регулювання. Усе програмування зводиться до «склеювання» готових компонентів. У результаті виходить максимально наочна і добре контрольована програмна одиниця.

Мова FBD описує функції між вхідними й вихідними змінними. Ці функції описуються у вигляді сполучення елементарних *функціональних блоків*. Вихід функціонального блока може бути з'єднаний з інши-

ми блоками. Кожен функціональний блок являє собою прямокутник, усередині якого є позначення функції, виконуваної блоком. Один або кілька функціональних блоків, з'єднаних між собою, і утворюють програму мовою FBD.

У табл. 5.3 наведені приклади базових функцій мови FBD.

Таблиця 5.3

Приклади базових функцій мови FBD

Група	Позначення	Функція
Функції двоїчного типу	NOT	Інверсія (НІ)
	AND	Логічне множення (І)
	OR	Логічне додавання (АБО)
	XOR	Виключаюче АБО
	SET	Встановлення біта
	RESET	Скидання біта
	<<	Зміщення ліворуч
	>>	Зміщення праворуч
	UPV	Розпакування бітів
	PV	Упакування бітів
Арифметичні функції	ADD	Додавання
	SUB	Вирахування
	DIV	Ділення
	MUL	Множення
Функції управління	APERT	Апертура – фільтрує невеликі зміни вхідного значення
	PEACK	Фільтрація піків – фільтрує випадкові кидки у вимірювальних трактах, що обумовлені наявністю різних перешкод
	DZONE	Зона нечутливості – реалізація алгоритму нечутливості виходу на малі значення входу
	HSTR	Гістерезис – формування бітового вихідного сигналу при переході вхідного значення через задану границю з урахуванням значення гістерезису
	PWM	Ланка ШІМ - реалізує широтно-імпульсну модуляцію вхідної величини. За її значенням на двох виходах формуються послідовності імпульсів певних шпаруватості й періоду
	IMP	Циклічний імпульс – призначений для формування імпульсів заданої тривалості і шпаруватості
	SMTN	Експоненційне згладжування
	AVER	Середнє значення
	LIM	Обмежник
Функції порівняння	=	Рівність
	<>	Нерівність
	>	Більше
	<	Менше
	=>	Більше або дорівнює
	<=	Менше або дорівнює

Група	Позначення	Функція
Математичні функції	ABS	Абсолютне значення
	EXPT	Експонента
	LOG	Логарифм
	SQRT	Квадратний корінь
Тригонометричні функції	ACO	Обчислення арккосинуса
	ASIN	Обчислення арксинуса
	ATAN	Обчислення арктангенса
	COS	Обчислення косинуса
	SIN	Обчислення синуса
	TAN	Обчислення тангенса
Функції вибору	MUX	Вибір одного з входів
	PRIOR	Вибір за пріоритетом
	MAX	Вибір максимального
	MIN	Вибір мінімального
Тригери й лічильники	rTRIG	Імпульс по включенню
	fTRIG	Імпульс по виключенню
	SR	Тригер із пріоритетом по установці
	RS	Тригер із пріоритетом по скиданню
	CTU	Наростаючий лічильник
	CTD	Убутний лічильник
	TP	Імпульс довільної тривалості
	TON	Затримка на включення
	TOFF	Затримка на виключення
Регулювання	PID	ПІД-регулювання (для настроювання використовуються: KP - коефіцієнт при пропорційній складовій, KD - при диференціальній, KI - при інтегральній)
	PDD	ПДД-регулювання (для настроювання використовуються: KP - коефіцієнт при пропорційній складовій, KD - при диференціальній, KDD - при другій похідній)
Генератори	G1	Біжуча одиниця
	RND	Випадкова величина
	PILA	Лінійно наростаючий сигнал
	G01	Бітовий меандр (здійснює генерацію значень 0 і 1 на своєму виході. Причому на кожному такті перерахування здійснюється заміна одного значення іншим)

Існують такі формальні правила мови FBD:

- функціональні блоки можуть розташовуватися довільно в полі програми;
- не може бути вільних (несполучених) входів і виходів функціонального блока;
- будь-який зв'язок може мати ім'я змінної;
- входи і виходи функціональних блоків, що приєднані до зв'язків, які мають однакові імена, вважаються з'єднаними;

- черговість виконання блоків у програмі: зліва направо, зверху вниз.

Змінні FBD програм приєднуються до вхідних/вихідних точок функціональних блоків. На вході FBD блока може бути константний вираз; будь-яка внутрішня або вхідна змінна; вихідна змінна. На виході FBD блока може бути будь-яка внутрішня або вихідна змінна.

Розглянемо приклад проекту автоматизованої системи підігріву води (рис. 5.8).

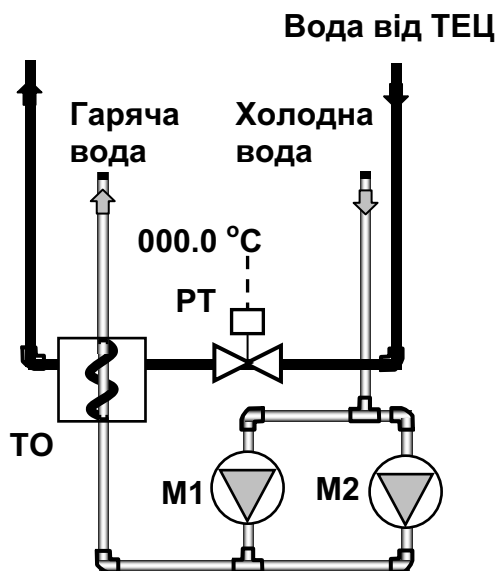


Рис. 5.8. Приклад автоматизованої системи підігріву води

Холодна вода нагрівається в теплообміннику **ТО**. Тиск холодної води забезпечує двигун **М1**; двигун **М2** є резервним. Кількість гарячої води від ТЕЦ у теплообміннику регулюється аналоговим регулятором **РТ** із приводом постійного струму. Температура води, що нагрівається, залежить від положення регулятора **РТ**.

Проект має такі змінні та константи:

Вхідні змінні:

Alarm_M1 – сигнал несправності двигуна **М1**;

Alarm_M2 – сигнал несправності двигуна **М2**;

T_wat – температура води в контурі гарячого водопостачання.

Вихідні змінні:

Start_M1 – пуск двигуна **М1**;

Start_M2 – пуск двигуна **М2**;

Ctrl – управління приводом **РТ**.

Глобальні змінні:

T_stab – температура стабілізації (задатчик);

Start – пуск одного з двигунів.

Блок, показаний на рис. 5.9, формує вихідне значення за PID-законом від величини, поданої на його вхід **INP**.

Формула обчислення вихідного значення має такий вигляд:

$$Q := KP * INP + KD * (INP - INP_1) / dt + KI * dt * \sum^n INP_i,$$

де **Q** – вихід блока; **INP** – значення входу на поточному такті перерахування; **INP₁** – значення входу на попередньому такті перерахування; **INP_i** – значення входу на *i*-му такті перерахування; **n** – загальне число тактів перерахування; **dt** – проміжок часу між викликами програми (період опитування каналу); **KP** – коефіцієнт при пропорційній складовій; **KD** – коефіцієнт при диференціальній складовій; **KI** – коефіцієнт при інтегральній складовій.

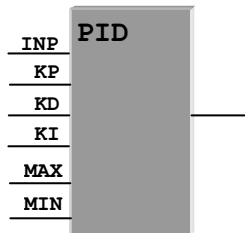


Рис. 5.9. FBD блок PID-регулювання

Для введення значень налаштувань використовують три входи: **KP**, **KD**, **KI**. Модуль подаваного на вхід **KI** негативного значення передається на вихід. Далі при подачі на вхід **KI** ненегативного значення регулювання починається з установленної величини. Для обмеження величини управляючого впливу використовують входи блока **MIN** і **MAX**. Перший з них задає нижню межу управління, а другий – верхню. Якщо величина управління виходить за кожну з цих границь, то виходу привласнюється величина відповідного входу і перестає накопичуватися інтегральна складова закону регулювання. Даний блок обчислює величину управління за значенням неузгодженості регульованої величини і завдання, яке треба обчислювати за допомогою окремого функціонального блока. Введення в алгоритм параметра **dt** виключає необхідність у перерахуванні налаштувань регулятора при зміні періоду опитування каналу регулювання.

Значення змінних **Start** і **T_stab** установлює система візуалізації верхнього рівня. При одержанні сигналу **Start** і відсутності сигналу **Alarm_M1** включається двигун **M1**. У тому випадку, якщо двигун **M1** несправний (**Alarm_M1** = True), включається двигун **M2**. Функціональний блок **AVER** обчислює середнє значення обмірюваної температури води. Кількість вимірів задається параметрично (у наведеному прикладі – 1000). Обчислене значення температури подається на вхід PID-регулятора. На інший вхід регулятора подається значення уставки (у даному прикладі **T_stab**). Величина неузгодженості між заданим й істинним значеннями параметра є аргументом функції регулювання. Коефіцієнти регулювання задаються параметрично. Вихідний сигнал регулятора обмежується дозволеними межами цифро-аналогового перетворювача і безпосередньо управляє приводом постійного струму.

Проект складається з двох програм: **Motors_Ctrl** – управління насосами (рис. 5.10) і **Reg_Ctrl** – управління регулятором температури (рис. 5.11).

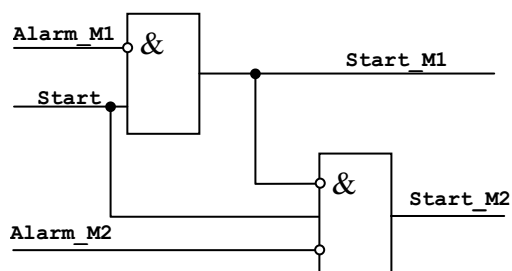


Рис. 5.10. Програма управління насосами в системі підігріву води

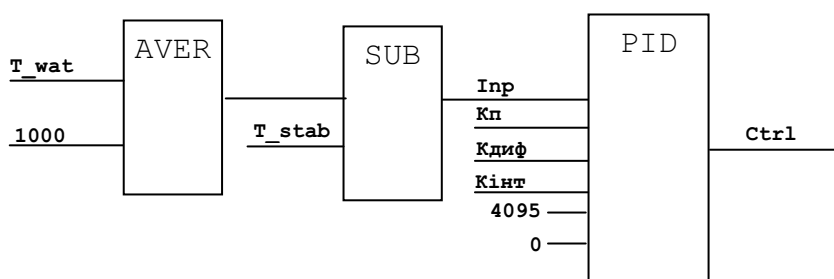


Рис. 5.11. Програма управління регулятором температури

3. LD. Мова релейних діаграм, або релейної логіки (*Ladder Diagrams*), застосовується для опису логічних виразів різного рівня складності і використовує як базові елементи програмування графічні елементи «контакти» (contacts) і «котушки» (coils), пов'язані з вхідними та вихідними каналами відповідно.

Наявність у стандарті мови LD пов'язана з тим, що для релейної техніки, на зміну якої прийшли контролери, була розроблена величезна кількість устаткування й алгоритмів. Сьогодні, маючи типовий набір цифрового введення-виведення, можна створювати керуючі системи на налагодженій роками алгоритмічній базі.

Релейна діаграма (табл. 5.4) містить:

- ліву вертикальну шину живлення;
- горизонтальні й вертикальні лінії;
- контакти (чотири види);
- котушки виконавчих пристроїв (шість видів).

Котушка виконавчого пристрою відображається крайньою праворуч. Мається на увазі, що її правий кінець підключений до правої вертикальної шини живлення, яку не рисують. Між нею та лівою шиною живлення розміщують з'єднання контактів, функцій і функціональних блоків, які задають логічні умови для включення виконавчого пристрою.

Елементи мови релейних діаграм

Назва	Графічне позначення	Опис
Розімкнутий контакт		Якщо VAR <>0, ENQ = RUN (на вхід RUN можна подавати тільки ненегативні значення). Якщо VAR =0, ENQ =0
Замкнутий контакт		Якщо VAR =0, ENQ = RUN (на вхід RUN можна подавати тільки ненегативні значення). Якщо VAR <>0, ENQ =0
Контакт по позитивному переходу		Якщо RUN <>0, а вхід VAR змінює своє значення з нуля на будь-яке ненульове, то на один (наступний) такт перерахування ENQ =1. В усіх інших випадках ENQ =0
Контакт по негативному переходу		Якщо RUN <>0, а вхід VAR змінює своє значення з будь-якого ненульового на нуль, то на один (наступний) такт перерахування ENQ =1. В усіх інших випадках ENQ =0
Котушка		Блок передає ненегативне значення входу на виходи ENQ і VAR
Інверсна котушка		Якщо значення входу більше нуля, VAR =0. Якщо значення входу дорівнює нулю, VAR =1. Значення входу завжди передається на вихід ENQ
Котушка встановлення		Значення виходу VAR встановлюється в одиницю при подачі на вхід будь-якого ненульового значення. Надалі значення виходу VAR не залежить від значення входу
Котушка скидання		Значення виходу VAR встановлюється в нуль при подачі на вхід будь-якого ненульового значення. Надалі значення виходу VAR не залежить від значення входу
Котушка позитивного переходу		Якщо значення входу змінюється з нуля на будь-яке позитивне значення, то на один (наступний) такт перерахування VAR =1. Значення входу завжди передається на вихід ENQ
Котушка негативного переходу		Якщо значення входу змінюється з будь-якого позитивного на нуль, то на один (наступний) такт перерахування VAR =1. Значення входу завжди передається на вихід ENQ

На рис. 5.12 проста релейно-контактна схема показана у вигляді релейної діаграми. Кнопкою **S1** включається контактор **K1**, що залишається включеним своїми блоками-контактами. Його контактами включається контактор **K3**, що відключає **K1** і включає сигнальну лампочку **H1**. При повторному натисканні кнопки **S1** включається контактор **K2**. При цьому контактор **K3** відключається і лампочка **H1** гасне.

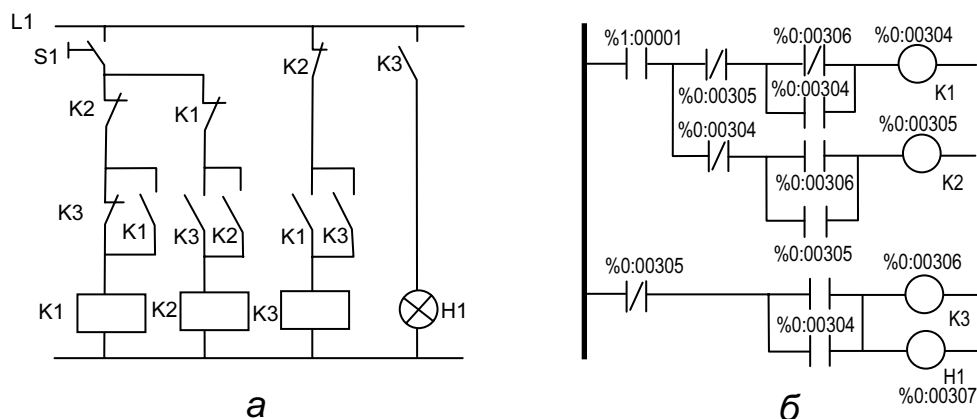


Рис. 5.12. Опис релейно-контактної схеми мовою сходових діаграм:
а – релейно-контактна схема; б – LD-діаграма

4. ST. Мова структурованого тексту (*Structured Text*) відноситься до класу текстових мов високого рівня. Оснащена конструкціями типу IF, WHILE, CASE, FOR мова ST ідеально підходить для програмування алгоритмів з умовами, циклами і будь-якими складними задачами. Мова структурованого тексту є основним для програмування послідовних кроків і транзакцій мови SFC. Крім того, вона має “виходи” в усі інші мови, що робить її універсальною у застосуванні різними категоріями користувачів.

5. IL – це машинно-незалежний асемблер. Поява мови інструкцій (*Instruction List*) у наборі стандартних мов – це уніфікація інтерфейсу мови програмування низького рівня, не орієнтованого на яку-небудь мікропроцесорну архітектуру. У мови IL є дуже важлива якість: на її основі створюються оптимальні за швидкодією програмні одиниці.

Прикладами широко використовуваних у цей час інструментальних систем для програмування ПЛК, що реалізують стандарт IEC 61131-3, є такі: ISaGRAF (*CJ International*, Франція), CoDeSys (*Smart Software Solutions*, Німеччина), Virgo 2000 (*AlterSys*, Канада), STEP7 (*Siemens*, Німеччина), UltraLogic (*UltraLogic*).

Серед SCADA-систем, що мають убудовані засоби програмування контролерів за стандартом IEC 61131-3, слід зазначити систему TraceMode (*AdastrA Research Group*, Росія), версія 6.0 якої підтримує всі мови стандарту.

У багатьох інструментальних системах існує можливість змішувати програми/процедури, написані на різних мовах, а також вставляти кодові послідовності з однієї мови в коди, написані на іншій мові. Підтримка Сі-інтерфейсу, що вважається сьогодні обов'язковою, дозволяє виконати будь-яке функціональне розширення (наприклад, у вигляді dll).

5.3. Промислові комп'ютери або PC- контролери

В даний час програмувальні логічні контролери PLC поступають місцем контролерам на базі PC. Така ситуація обумовлена рядом причин, серед яких – низька ціна контролерів на базі PC, висока продуктивність, універсальність, свобода вибору програмних і апаратних засобів, доступність технічної підтримки й ін.

Перша і головна перевага PC-контролерів пов'язана з їхньою відкритістю.

У 1994 році фірмою *General Motors* була висунута **концепція відкритої модульної архітектури – OMAC (Open Modular Architecture Controls)**. Її вимоги полягають у такому:

- **Open – відкрита** архітектура, що забезпечує інтеграцію широко розповсюдженого на ринку апаратного і програмного забезпечення;
- **Modular – модульна** архітектура, що дозволяє використовувати компоненти в режимі Plug&Play;
- **Scaleable – архітектура**, що масштабується, яка дозволяє легко і ефективно змінювати конфігурацію для конкретних потреб;
- **Economical – економічна** архітектура, що забезпечує невисоку вартість життєвого циклу контролерного устаткування;
- **Maintainable – архітектура**, що легко обслуговується, яка витримує напружені умови роботи в цехах, проста в ремонті й обслуговуванні (мінімальний час простою).

Концепція відкритої модульної архітектури, що реалізована в PC-контролерах, забезпечує їх взаємодію як між собою (на основі підтримуваних міжнародними та регіональними організаціями зі стандартизації промислових протоколів, таких, наприклад, як Profibus, CAN, Bitbus, InterBus, LonWorks), так і з системами верхнього рівня управління (на основі стандартних мережних засобів типу Ethernet, Arcnet, Token Ring і протоколів TCP/IP, IPX/SPX, NetBios й ін.).

Відкритість пов'язана також із можливістю застосовувати в АСУ ТП найсучасніше устаткування різних фірм, причому устаткування для PC-контролерів зараз випускають уже не десятки, а сотні виробників, що робить вибір унікально широким. Це дуже важливо, якщо врахувати, що модернізація АСУ ТП йде поетапно і забирає тривалий час.

Друга важлива перевага їх полягає в більш «родинних» зв'язках з комп'ютерами верхнього рівня. У результаті не потрібні додаткові витрати на підготовку персоналу. Це дозволяє скоротити терміни впровадження систем управління і спрощує процедури їхньої експлуатації, що в кінцевому підсумку приводить до загального зниження витрат на створення або модернізацію АСУ ТП.

Третя перевага – більш висока надійність. Зазвичай розрізняють фізичну і програмну надійність контролерів. Під фізичною надійністю розуміють здатність апаратури стійко функціонувати в умовах навколишнього середовища промислового цеху і протистояти її шкідливому

впливу. Фізичну надійність PLC і PC-контролерів можна вважати однаковою, оскільки немає підстав припускати, що у PC-контролерах вона буде нижче. Більшість PC-контролерів орієнтовані на роботу у важких умовах, наприклад у розширеному діапазоні температур, а також захищені від пилу, вологи, ударів, вібрації та електромагнітних випромінювань. Під програмною надійністю розуміється здатність ПЗ стійко функціонувати в ситуаціях, що вимагає реакції в заданий час. Вона визначається в першу чергу ступенем налагодженості ПЗ. Оскільки в більшості PC-контролерів використовують комерційні широко розповсюджені і добре налагоджені прикладні пакети і операційні системи (Windows, Unix, Linux, QNX й ін.), то варто очікувати, що програмна надійність буде не нижче, ніж у PLC.

Однак операційні системи PC-контролерів мають задовольняти не тільки вимоги відкритості, але і вимоги роботи в режимі реального часу, бути компактними і мати можливість запуску з ПЗУ або флеш-пам'яті.

Розглянемо основні відмітні риси промислових комп'ютерів.

За своєю архітектурою промисловий комп'ютер на відміну від офісного PC може мати цілий ряд таких немаловажних доповнень:

- «сторожовий таймер», що автоматично перезавантажує систему у випадку її «зависання»;
- підтримка роботи з твердотільними накопичувачами на базі флеш-пам'яті в проектах, де звичайні механічні НЖМД не підходять за своїми характеристиками;
- збереження параметрів конфігурації (SETUP) в енергонезалежному ППЗП замість CMOS-пам'яті з батареєю;
- захист портів введення/виведення від розрядів статичної електрики;
- велика периферійна ємність, включаючи розвинуті комунікаційні можливості;
- використання спеціалізованих шин і форм-факторів обчислювальних модулів;
- система електроживлення, що задовольняє особливі вимоги (у тому числі використання резервних джерел живлення);
- засоби забезпечення відмовостійкості, такі, наприклад, як пристрої контролю за системою охолодження, дублювання найважливіших вузлів комп'ютера, й ін.

Інші відмінності стосуються переважно конструктивних особливостей, наприклад:

- замість звичайної материнської плати використовують пасивну об'єднану плату, куди поряд з іншими вставляється процесорна плата, що підвищує ремонтпридатність системи;
- як правило, промислові комп'ютери виконані в міцному металевому корпусі, призначеному для монтажу на стіну або в стояк;

- застосовують спеціальні пристосування для кріплення плат і дисконних накопичувачів, що забезпечують підвищену ударо- і віброміцність;
- використовують спеціальну систему повітряного охолодження з пилеуловлюючим фільтром, що забезпечує всередині корпусу комп'ютера позитивний тиск очищеного повітря;
- відсік з накопичувачами може забезпечуватися дверцятами, що замикаються, захищаючи їх від забруднень і несанкціонованого доступу;
- число гнізд розширення може досягати 20.

Існують різні конструктивні виконання промислових комп'ютерів від найпростіших малогабаритних систем з декількома гніздами розширення ISA/PCI і можливістю кріплення до горизонтальних і вертикальних поверхонь до потужних стоякових відмовостійких шасі із системою контролю температури в корпусі і з можливістю «гарячої» заміни блоків живлення, вентиляторів і дисконних накопичувачів.

Особливий клас промислових комп'ютерів являють собою так звані **панельні** промислові комп'ютери (в єдиному корпусі розміщені власне промисловий комп'ютер і сенсорний дисплей) і **промислові робочі станції** (в єдиному корпусі розміщені промисловий комп'ютер, дисплей і клавіатура).

Всі інші промислові комп'ютери зазвичай відносяться до класу тих, що **вбудовуються**. Найбільше впливає на класифікацію промислових комп'ютерів, що вбудовуються, використання різних спеціалізованих шин і форм-факторів обчислювальних модулів.

Для передачі інформації в PC-контролерах використовують різноманітні спеціалізовані шини даних, такі, як PC/104, VME, CompactPCI, Industrial PCI, PXI, PMC, STD32, а також традиційні специфікації ISA, PCI, ISA+PCI. Промислові комп'ютери на основі останніх трьох специфікацій комплектуються платами, що за типорозміром близькі до плат офісних комп'ютерів (повного або половинного розміру). При цьому процесорні плати, розроблені відповідно до стандарту ISA+PCI, також являють собою повнорозмірні плати IBM PC, на крайове рознімання яких виведена як шина ISA, так і PCI. Відповідно в системі можуть застосовуватися одночасно як плати ISA, так і до чотирьох плат розширення із шиною PCI.

Дамо коротку характеристику деяких зі спеціалізованих шин промислових комп'ютерів.

1. **PC/104** був розроблений у відповідь на потребу для більш компактного виконання шини PC, що задовольняють вимоги до обмеженого настановного простору, повної апаратної та програмної сумісності з популярним стандартом шини PC.

Характерними рисами контролерів, виконаних за цією специфікацією, є такі:

- компактні модулі (90 x 96 мм);
- зручна стекова конструкція шини, що дозволяє зменшити вагу і розмір виробів шляхом відмови від використання громіздких об'єднанчих панелей;
- використання надійних 64- і 40-контактних штирових рознімачів для з'єднання модулів;
- низьке енергоспоживання кожного модуля (1...2 Вт), обумовлене використанням шинних формувачів із вихідним струмом 4 мА, що дозволяє застосовувати ці модулі в закритих просторах без примусового охолодження.

Модулі, виконані в стандарті PC/104, призначені для використання в жорстких умовах експлуатації (широкий діапазон температур, удар, вібрація, закриті простори без додаткового охолодження й ін.).

2. Магістрально-модульний стандарт **VME** (стандарти IEC/821, ANSI/1014, IEEE/1014) розроблений і підтримується міжнародною Асоціацією VITA (VME International Trade Association).

VME – 32-розрядна шина з роздільними 32 лініями адреси і 32 лініями даних на об'єднанчій панелі. Шина VME має 64-розрядне розширення – VME64. Максимальна пропускна здатність шини VME – 40 Мб/с (80 Мб/с для VME64).

До головних переваг застосування VME можна віднести більш широкі можливості підтримки мультипроцесорних конфігурацій, гнучкі механізми обробки переривань, а також можливості побудови систем з 21 слотом.

3. Шина **CompactPCI** основана на стандартній електричній специфікації PCI і реалізована на стандартних мікросхемах PCI, але використовує стандартні крейти формату 3U і 6U (аналогічні VME) і спеціальне 235-штирове п'ятирядне рознімання.

Стандарт CompactPCI дозволяє більш ефективно організувати високошвидкісні блокові обміни даними (максимальна пропускна здатність – 132/264 Мб/с для 32/64 розрядів відповідно), підтримує **технологію "гарячої заміни" модулів** (hot swap) і має ряд переваг при використанні як операційної системи WindowsNT/2000.

4. Шина **PCI** (PCI Extensions for Instrumentations) запропонована фірмою *National Instruments* для створення високопродуктивних вимірювальних систем. Шина основана на специфікаціях Compact PCI, за винятком того, що ряд контактів системної магістралі, які не використовувались там, перевизначений на користь декількох нових сигналів, призначених для запуску й синхронізації процесів виміру.

5. Шина **STD32** сполучає в собі компактність промислової архітектури з функціональністю і продуктивністю сучасних PC.

Шина STD32 підтримує 16 і 32-бітову передачу даних через задню сполучну панель без мультиплексування сигналів. Для програм з високошвидкісною передачею сигналів STD32 може працювати зі

швидкістю 32 Мб/с. Однак її архітектура, подібна EISA, надає не тільки високошвидкісну передачу даних. Іншими її перевагами є: мультипроцесорність; 32-бітова адресація; високошвидкісний прямий доступ до пам'яті (DMA); слот-спеціфіковані переривання; підтримка технології "гарячої заміни" модулів.

6. Плати в стандарті **PMC** (PCI Mezzanine Card) мають розмір 75×150 мм і приєднуються до основної плати через дворядні 64-контактні рознімання. Допускається до п'яти таких рознімань на платі. Два обов'язкових рознімання містять сигнали 32-розрядної версії PCI. Для 64-розрядного розширення PCI потрібно ще одне рознімання. Якщо мезонинний модуль використовує додаткові шини або лінії введення/виведення, то можуть додаватися ще одне або два рознімання.

Розглянемо функціональні елементи контролера з відкритою модульною архітектурою. На рис. 5.13 показано варіант структурної схеми PC-контролера із зовнішньою шиною PXI.

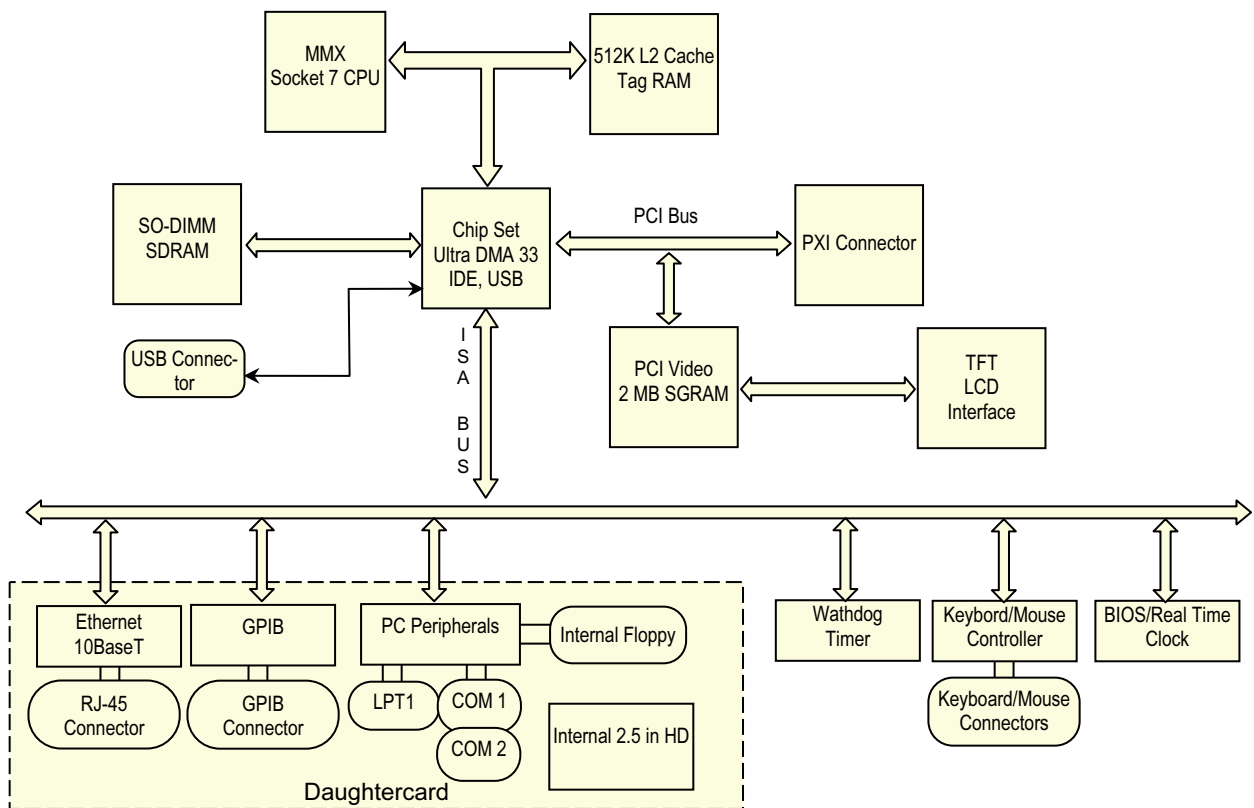


Рис. 5.13. Варіант структурної схеми PC-контролера

Передбачається, що PC-контролер має централізовану архітектуру, тобто компоненти контролера зосереджені в монолітному блоці. Однак немає причин, що перешкоджають тому, щоб концепція модульності не могла бути застосовна до управляючої системи, окремі компоненти якої з'єднуються через високошвидкісну мережу.

Обидві характеристики ОМАС – відкритість і модульність – задаються в основному не апаратними компонентами, а програмними модулями. При виборі потрібної апаратної платформи заміна апарат-

них компонентів не повинна бути істотною перешкодою.

Концепція модульності подається у вигляді об'єднання окремих частин, що виконують різні функції контролера.

Модульний принцип побудови дозволяє швидко конфігурувати структуру для вирішення конкретних технологічних задач.

У загальному випадку до складу PC-контролера входить великий набір модулів: процесорні, пам'яті, дискретного і аналогового введення/виведення, відображення та введення інформації, інтерфейсні, комунікаційні й ін.

Розглянемо основні й можливі (опціональні) архітектурні модулі для промислового комп'ютера:

- процесор;
- системна шина;
- шина даних;
- пам'ять;
- графічний процесор:
 - VGA/SVGA (підтримка LCD);
- збереження даних:
 - HDD жорсткий диск (IDE, SCSI);
 - FDD гнучкий диск;
 - флеш-диск;
 - CF (Compact Flash);
 - PCMCIA (SRAM (статичний ОЗП), флеш ПЗП);
- інтерфейси:
 - послідовні інтерфейси RS-232, RS-422, RS-485;
 - струмова петля;
 - рівнобіжний інтерфейс;
 - USB;
 - IrDA;
 - PS/2 (миша і клавіатура);
 - KBD (клавіатура);
 - PCMCIA (факс-модем, ISDN, мережні адаптери Ethernet, адаптери телефонної мережі, підключення до Notebook);
- підтримка польових шин (Fieldbus):
 - Profibus;
 - AS інтерфейс;
 - CANBus і ін.;
- мережний зв'язок:
 - Ethernet;
 - організація локальної мережі з радіомодемом (радіо-Ethernet);
 - модем;
- блок живлення;
- додаткові DC/DC перетворювачі;
- автоматизація;

- модулі введення/виведення дискретних сигналів;
- модулі введення/виведення аналогових сигналів;
- модуль управління кроковим двигуном;
- модулі управління приводами;
- модулі відображення й переключення (служать для конфігурування системи управління та відображення станів на світлодіодах, для контролю виходів дискретних і аналогових модулів, для імітування вхідних сигналів при розробці та налагодженні програм управління);
- пристрої відображення і введення інформації (дисплей, клавіатура й вказівний пристрій, що пристосовані під вимоги РС).

Електронний диск найкраще підходить для застосування в невеликих системах управління. Електронний диск у вигляді ППЗП, флеш або енергонезалежного ОЗП може розміщатися на процесорній платі. ППЗП і флеш-пам'ять, як дуже надійні пристрої, можуть використовуватися при роботі системи управління в самому несприятливому навколишньому середовищі. НЖМД і дисководи призначені для використання в приміщеннях з невеликим рівнем вібрації й пилу.

Контрольні запитання і вправи

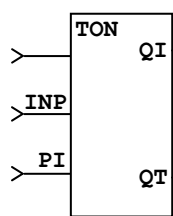
1. Реалізувати FBD-програму, що визначає, чи є рік високосним (високосним вважається будь-який рік, що поділяється на 400, і роки, що поділяються на 4, але не поділяються на 100).
2. Реалізувати FBD-програму, що визначає день тижня, використовуючи той факт, що 1 січня 1970 року був четвер. Результат видавати в числовому вигляді: понеділок – 0, вівторок – 1, середа – 2 і т.д.
3. Реалізувати FBD-програму витягу годин, хвилин, секунд і мілісекунд, якщо упаковане значення часу було отримано в такий спосіб: збільшується значення годин на число хвилин у годині, додається число хвилин, помножене на число секунд у хвилині, і т.д. до мілісекунд. **Вхідні змінні: PackTime** – упаковане значення часу. **Вихідні змінні: Hour, Min, Sec, MSec**.
4. Реалізувати FBD програму пропорційного регулятора. **Вхідні змінні: Val** – регульований параметр; **Ref** – уставка, задане значення параметра; **Km** – коефіцієнт пропорційності. **Вихідні змінні: Out** – сигнал регулювання.
5. Реалізувати FBD програму управління підсистемою вентиляції. Програма керує устаткуванням залежно від температури **Temper** і вологості **Enth** зовнішнього повітря, призначаючи режими вентиляції (**Ventilation**), обігріву (**Heating**), охолодження (**Cooling**). Режими **Heating** і **Cooling** є взаємовиключаючими. Устаткування: датчики вологості і температури; вентилятор B1, вентилятор B2, нагрівач H1.

Режим Ventilation (перехід при $Enth > 75$). Включено вентилятор В2. **Режим Heating** (перехід при $Temper < 18$). Включено вентилятор В1. Включено нагрівач Н1. **Режим Cooling** (перехід при $Temper > 28$). Включено вентилятор В1. Виключено нагрівач Н1.

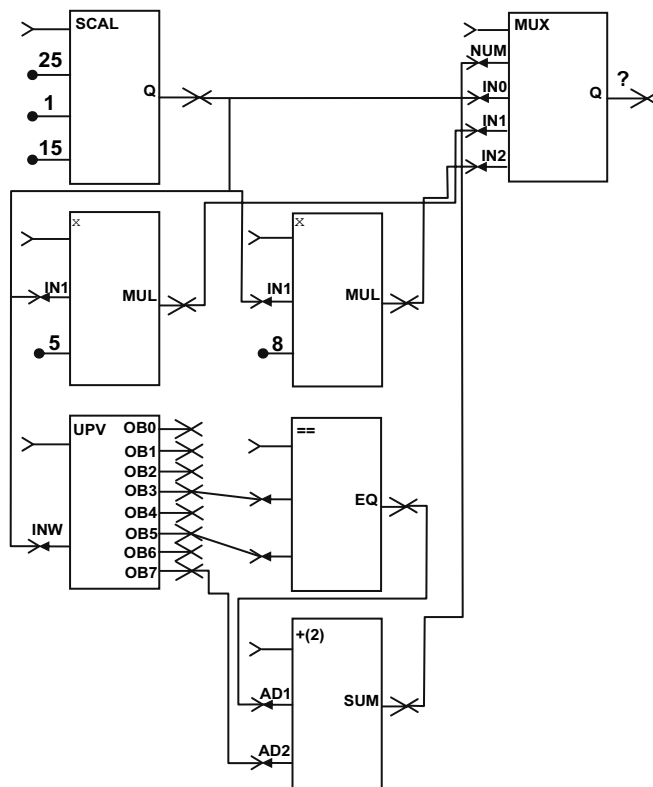
Вхідні змінні: **Start** – запуск системи; **Enth** – вологість зовнішнього повітря; **Temper** – температура зовнішнього повітря. **Вихідні змінні:** **Start_B1** – пуск вентилятора В1; **Start_B2** – пуск вентилятора В2; **Start_H1** – пуск нагрівача Н1.

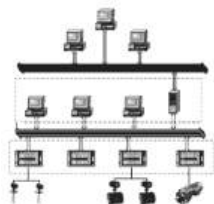
6. Реалізувати програму трьохпозиційного регулятора. У трьохпозиційних регуляторів регульовальний орган може займати три положення: відкрите, закрите й середнє. При вхідній величині $X = X_{в}$ вихід програми $Y = Y_{макс}$. При зменшенні вхідної величини X на величину зони неоднозначності $dX_{в}$ вихід $Y = Y_{сер}$. При подальшому зменшенні X , коли X стане дорівнювати $X_{н}$, $Y = Y_{мін}$. При збільшенні X на величину зони неоднозначності $dX_{н}$ вихід Y знову дорівнює $Y_{сер}$.

7. Сформууйте часову діаграму роботи блока затримки на включення TON (запізнення з формування управляючого сигналу при команді на включення (переведення з 0 в 1). На вхід **INP** подається сигнал управління. Якщо цей сигнал відмінний від 0, то включається внутрішній лічильник тактів перерахунку. Як тільки цей лічильник стане дорівнювати значенню входу **PT**, виходу **QI** буде присвоєно значення 1. Поточне значення внутрішнього лічильника подається на вихід **QT**).



8. Розрахуйте значення виходу програми.





РОЗДІЛ 6

ПРОМИСЛОВІ МЕРЕЖІ Й ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ'ЯЗКУ

6.1. Сучасні промислові мережі й інтерфейси. Загальна характеристика

Мережі передачі даних, що забезпечують інформаційні потоки між розподіленими на об'єкті автоматизації контролерними пристроями, датчиками та різноманітними виконавчими механізмами, називаються *промисловими мережами*.

Специфіку використання і основні вимоги до промислових мереж у першу чергу визначає тип виробництва, що автоматизується (вимоги до безпеки управління, надійність передачі інформації, працездатність системи при відключенні окремих пристроїв, відстань передачі сигналів, управління стаціонарними об'єктами, управління рухомими об'єктами з використанням безпроводних каналів зв'язку, запобігання критичним ситуаціям за короткий час і т. ін.).

Залежно від рівня каналів обміну інформацією (рис. 6.1) іноді промислові шини підрозділяють на **сенсорні** (*Sensor/actuator bus*) (простий канал обміну інформацією, до якого підключають датчики і виконавчі пристрої об'єкта управління) і власне **промислові** (*Fieldbus*) (з'єднує датчики, приводи й перемикачі з контролерними пристроями). Сенсорну шину з'єднують із промисловою шиною через міст, що погоджує різні протоколи передачі інформації в сенсорній і промисловій шинах. До цієї шини підключають регулятори, інтелектуальні датчики й приводи, що мають власні пристрої первинної обробки інформації та інтерфейс зв'язку з промисловою шиною.

Вихід у системи візуалізації даних, корпоративні інформаційні системи організується, як правило, через стандартні **офісні** (LAN) мережі типу Ethernet через протокол TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*).

Унікальні системи, тобто системи, що працюють за унікальними протоколами зв'язку, а також вироблені й підтримувані однією компанією, одержали назву **закритих** систем. Успішно ж інтегрувати в єдину систему пристрої від різних виробників дозволяє використання принципів **відкритих** систем.

Мережа вважається відкритою, якщо вона задовольняє такі критерії:

- наявність повних опублікованих специфікацій з можливістю їхнього придбання за доступну вартість;
- наявність критичного мінімуму доступних компонентів від ряду незалежних постачальників;

- організація процесу ратифікації можливих доповнень до стандартів і специфікацій.

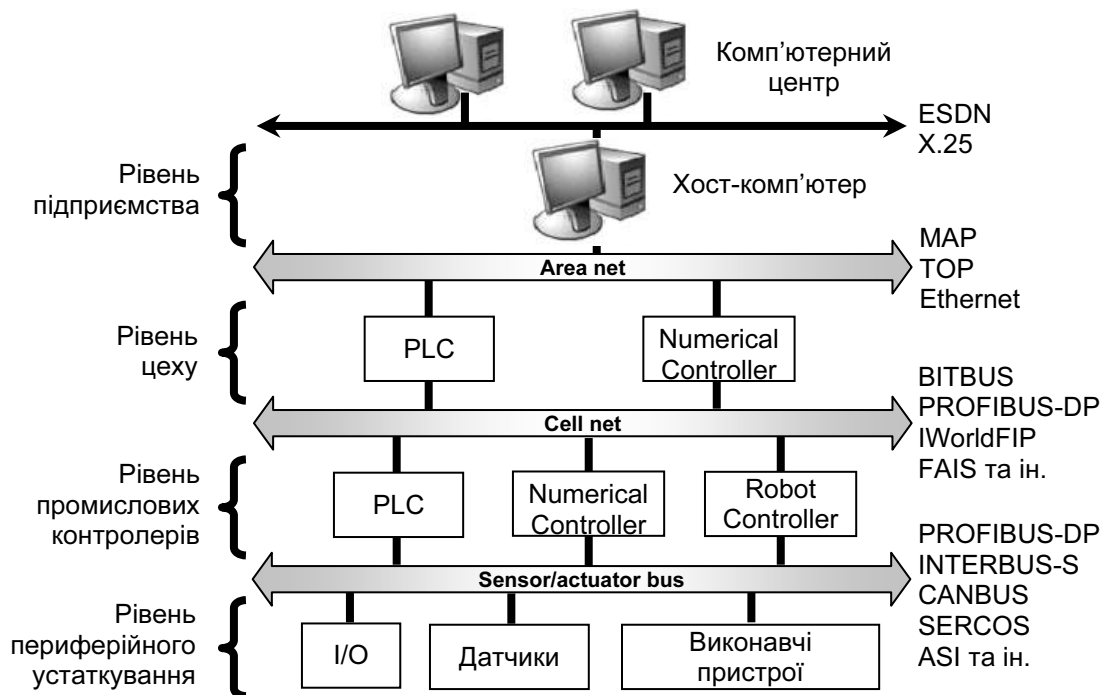


Рис. 6.1. Структура зв'язку пристроїв АСУ

Якщо деяка fieldbus-технологія відноситься до відкритих систем, то вона повинна мати такий ряд принципів якостей:

- *взаємозв'язок (interconnectivity)* – можливість вільного фізичного включення в загальну мережу пристроїв від різних виробників;
- *взаємодія (interoperability)* – можливість побудови працездатної мережі на основі включення компонентів від різних постачальників;
- *взаємозамінність (inter-changeability)* – можливість заміни компонентів аналогічними пристроями від інших виробників.

Очевидно, що кінцевою метою створення відкритої промислової мережі є досягнення саме взаємозамінності окремих її компонентів. Це можливо, якщо специфікації протоколів повні й існує налагоджена система тестування і сертифікації нових виробів.

Промислові мережі включають у себе:

- конфігурацію та принципи побудови системи зв'язку АСУ;
- середовище передачі даних, що має відповідати безлічі різноманітних, а найчастіше суперечливих вимог;
- набір стандартних протоколів обміну даними, що дозволяють пов'язати воедино устаткування різних виробників, а також забезпечити взаємодію нижнього і верхнього рівнів АСУ.

Таким чином, **fieldbus** – це основний термін, що визначає деяку цифрову, двоспрямовану, багатоточкову, послідовну комунікаційну мережу, що використовується для зв'язку ізольованих один від одного

(за функціями) таких пристроїв, як контролери, датчики, виконавчі механізми і т.д.

Кожен field-пристрій має самостійний обчислювальний ресурс, що дозволяє відносити його до розряду інтелектуальних (*smart fieldbus device*). Кожен такий пристрій здатний самостійно виконувати ряд функцій з самодіагностики, контролю і обслуговування функцій двоспрямованого зв'язку. Доступ до нього можливий з боку не тільки операторської станції, але й аналогічних йому пристроїв.

Кількість провідних з'єднань у промислових мережах централізованої системи як мінімум у два рази більше, ніж у розподіленій (рис. 6.2). Потрібно враховувати багаторазово зростаючу імовірність помилки при монтажі провідників у численних кросових клемних колодках і складність пошуку і усунення несправностей. Окремо варто згадати про ситуації, коли в складі об'єкта управління з'являється ще кілька вхідних або вихідних каналів. Додавання нових ліній зв'язку до вже прокладеної кабельної системи найчастіше є складною задачею.

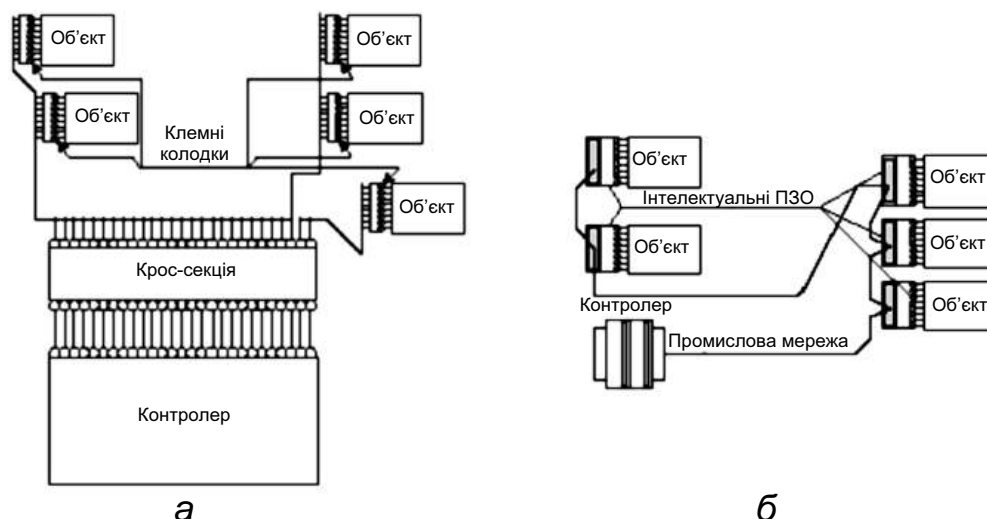


Рис. 6.2. Принципи побудови централізованих і розподілених мереж:
а – централізована система; б – розподілена система

Fieldbus – це мережа для промислового застосування, логічно дуже схожа на LAN-мережі. Однак промислові мережі мають відповідати специфічному набору вимог:

- тверда детермінованість (передбачуваність) поведінки;
- забезпечення функцій реального часу;
- робота на довгих лініях з використанням доступних, простих і недорогих фізичних середовищ;
- підвищена надійність фізичного і каналного рівнів передачі даних для роботи в промисловому середовищі (перешкодостійкість й ін.);
- керованість і самовідновлення у випадку виникнення позаштатних ситуацій;

- наявність спеціальних високонадійних механічних сполучних компонентів.

Ключові вимоги тут – детермінованість поведінки, яка припускає, що всі можливі події в мережі можуть бути заздалегідь чітко визначені, і підвищена надійність передачі даних. Крім цієї вимоги до промислових мереж включають такі: продуктивність; передбачуваність часу доставки інформації; максимальний сервіс для програм верхнього рівня; мінімальна вартість пристроїв апаратної реалізації, особливо на рівні контролерів, і т. ін.

Необхідно відзначити, що більшість вимог суперечливі і від того, як розставлені акценти, залежить успішність вирішення задач, що стоять перед промисловою мережною архітектурою.

6.2. Застосовувані мережні топології, фізичні інтерфейси і середовища передачі даних

Мережна топологія описує спосіб (тип) мережного об'єднання різних пристроїв. Існує кілька видів топологій, що відрізняються одна від одної за трьома основними критеріями: режим доступу до мережі; засоби контролю передачі та відновлення даних; можливість зміни кількості вузлів мережі.

Основні топології – зірка, кільце і шина. Порівняння цих топологій наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Порівняльні характеристики основних топологій

Порівняльні характеристики	Зірка	Кільце	Шина
Режим доступу	Доступ і управління через центральний вузол	Децентралізоване управління. Доступ від вузла до вузла	Можливий централізований і децентралізований доступ
Надійність	Збій центрального вузла - збій усієї системи	Розрив лінії зв'язку, що призводить до збою всієї мережі	Помилка одного вузла, що не призводить до збою всієї мережі
Розширюваність	Обмежена кількістю фізичних портів на центральному вузлі	Можливе розширення кількості вузлів, але час відповіді знижується	Можливе розширення кількості вузлів, але час відповіді знижується

1. Структура "зірка"

У даній топології вся інформація передається через деякий центральний вузол. Кожен пристрій має своє власне середовище з'єднання. Усі периферійні станції можуть обмінюватися один з одним тільки через центральний вузол. Перевага цієї структури полягає в

тому, що ніхто інший не може впливати на середовище передачі. З іншого боку, центральний вузол має бути винятково надійним пристроєм як у змісті логічної побудови мережі (відстеження конфліктних ситуацій і збоїв), так і фізичної, оскільки кожен периферійний пристрій має свій фізичний канал зв'язку і, отже, всі вони повинні забезпечувати однакові можливості доступу. Додатковий пристрій може бути включений в мережу тільки в тому випадку, якщо організовано порт для його приєднання до центрального вузла.

2. Структура "кільце"

У кільцевій структурі інформація передається від вузла до вузла по фізичному кільцю. Приймач копіює дані, регенерує їх разом зі своєю квитанцією підтвердження наступному пристрою в мережі. Коли початковий передавач одержує свою власну квитанцію, це означає, що його інформація була коректно отримана адресатом. У кільці не існує визначеного централізованого контролю. Кожен пристрій одержує функції керуючого контролера на строго визначений проміжок часу. Відмова в роботі хоча б одного вузла призводить до порушення роботи кільця, а отже, і до зупинки всіх передач. Щоб цього уникнути, необхідно включати в мережу автоматичні перемикачі, що беруть на себе ініціативу, якщо даний пристрій вийшов з режиму нормальної роботи (включають або виключають окремі вузли без переривання нормальної роботи).

3. Структура "шина"

У будь-якій шинній структурі всі пристрої приєднані до загального середовища передачі даних або шини. На відміну від "кільця" адресат одержує свій інформаційний пакет без посередників.

Процес підключення додаткових вузлів до шини не вимагає апаратних доробок з боку вже працюючих вузлів мережі, як це має місце у випадку топології "зірка".

Однак для шинної топології потрібна тверда регламентація доступу до середовища передачі.

Лінія зв'язку (Interchange Circuit) — фізичне середовище, призначене для переносу інформації між одиницями устаткування, що беруть участь в інформаційному обміні, включаючи дані, сигнали управління та синхронізації.

Канал передачі даних (Data Transmission Channel) — сукупність фізичного середовища й технічних засобів, включаючи апаратуру перетворення сигналів, що втягуються в процес передачі інформації між устаткуванням системи зв'язку.

У системах управління промисловими об'єктами, збору, обробки інформації, що надходить від видалених периферійних пристроїв, широкое поширення одержали *інтерфейси послідовної передачі даних* у довгу непогоджену лінію, що підтримують стандарти RS-232, RS-485, RS-422.

У послідовних шинах дані передаються послідовно біт за бітом, як правило, по одному фізичному каналу (одному провіднику). Такий режим передачі не тільки заощаджує кабельне устаткування, але і дозволяє вирішувати задачі з надійної передачі даних на великі відстані. Час передачі, однак, збільшується пропорційно довжині бітового рядка.

Практично всі комп'ютери в промисловому виконанні оснащені засобами організації інформаційного обміну з використанням даних інтерфейсів. Сучасні інтелектуальні датчики і елементи управління поряд із традиційним інтерфейсом RS-232 також можуть мати у своєму складі підсистему послідовного введення-виведення інформації на базі інтерфейсу RS-485. Програмувальні логічні контролери багатьох виробників як засоби організації територіально-розподілених систем збору даних й управління містять ту чи іншу реалізацію інтерфейсів RS-422/RS-485.

У табл. 6.2 наведені порівняльні характеристики цих трьох стандартних фізичних інтерфейсів.

Таблиця 6.2

Порівняльні характеристики фізичних інтерфейсів

Порівняльні характеристики	RS-232	RS-422	RS-485
Режим роботи		Диференціальний	Диференціальний
Максимальна кількість приймачів-передавачів на лінії	1/1	1/10	32/32
Максимальна довжина лінії (без повторювачів)	15 м	1200 м	1200 м
Максимальна швидкість передачі	120 Кбіт/с	10 Мбіт/с	10 Мбіт/с

Інтерфейс **RS-232** – широко використовуваний стандартний інтерфейс, за яким основні сигнали передаються по лініях "передача/приймач" даних, інші сигнальні лінії передають статусну інформацію пристроїв, що комутуються.

Стандарт **RS-485** забезпечує двоспрямовану напівдуплексну передачу даних і допускає підключення до загальної шини набору приймачів і передавачів.

Стандарт **RS-422** передбачає односпрямований драйвер, керуючий набором приймачів.

Диференціальні виходи передавачів у системах на основі стандартів RS-485 і RS-422 забезпечують надійну передачу даних за наявності шумів, а диференціальні входи приймачів, крім того, можуть подавляти значні синфазні напруги. Реалізований принцип кодування робить цей стандарт стійким до зовнішніх збурень.

Використання цих стандартів дозволяє значно подовжувати фізичні лінії передачі даних і збільшувати швидкість. Максимальна шви-

дкість для інтерфейсів RS-485 і RS-422 у табл. 6.2 зазначена згідно зі стандартом, але реально промислові плати підтримують швидкості від 900 Кбіт/с до 2.5 Мбіт/с.

Крім типу фізичного інтерфейсу при побудові промислової мережі не менш важливо враховувати особливості й обмеження *фізичного середовища передачі даних*. У табл. 6.3 наведені оцінні дані, що порівнюють основні типи середовищ передачі за рядом критеріїв.

Таблиця 6.3

Порівняльні характеристики різних середовищ передачі даних

Характеристики	Кручена пара	Радіо-канал	Коаксіальний кабель	Оптоволокно	GSM
Типовий діапазон	1 кГц ... 1 МГц	50 кГц ... 10 МГц	10 кГц ... >10МГц	10 кГц ... >10 МГц	900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц
Типова швидкість передачі	0.3...2000	1.2... ...9.6	300... ...10000	1...100000	9.6, 19.2
Відносна ціна вузла	\$10...\$30	\$50... ...\$100	\$30...\$50	\$75...\$200	\$150... ...\$300
Витрати на установку	Низькі	Високі	Середні	Середні-високі	Низькі
Витрати на експлуатацію	Середні	Низькі	Середні	Середні	Низькі-середні

Розробник системи передачі даних має враховувати той факт, що на якість її функціонування можуть впливати такі ефекти, як перешкоди, наведені на лінію зв'язку, різниця потенціалів землі в місцях розміщення технічних засобів системи, активні й реактивні втрати потужності, а також відображення, що можуть мати місце при високих швидкостях обміну.

6.3. Загальна характеристика методів доступу до шини

Якщо кілька пристроїв комутуються між собою через загальну лінію зв'язку (шину), то має бути визначений ясний і зрозумілий протокол доступу до неї.

Існують два методи упорядкованого доступу: централізований і децентралізований.

У випадку **централізованого** контролю за доступом до шини виділяється вузол із правами Майстра (master). Він призначає і відслідковує порядок і час доступу до шини для всіх інших учасників (slave). Це рішення знаходить своє застосування як на контролерному рівні, так і на рівні датчиків і виконавчих механізмів. Право ініціювати цикли читання/запису на шині має тільки майстер-вузол. Він адресує кожного пасивного учасника slave, забезпечує їх даними і запитує в них дані.

Для того, щоб збільшити пропускну здатність шини, команди протоколу мають бути якомога простішими.

У рамках протоколу вирішують такі задачі, як захист даних, виявлення помилок при передачі, відновлення даних. На швидкість і обсяг переданої інформації природним чином впливає середовище передачі.

Якщо виникає відмовлення майстер-вузла, то і цикли обміну по шині зупиняються.

Саме з цієї причини децентралізований контроль із перехідними функціями майстра від одного учасника (вузла мережі) до іншого повернув до себе найбільшу увагу і був розвинутий. Тут права майстра призначаються групі пристроїв мережі. В усьому світі широко прийняті і використовуються дві моделі **децентралізованого** доступу:

- CSMA/CD (стандарт IEEE 802.3);
- Token Passing Model (стандарт IEEE 802.4).

Для спільної роботи мереж типу CSMA/CD і Token Passing Model необхідний так званий міжмережний шлюз.

Найбільш відомим механізмом управління локальною мережею шинної конфігурації є метод множинного доступу з контролем несучої і виявленням конфліктів (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection – CSMA/CD).

Найбільш широко відома реалізація цього методу – специфікація Ethernet. Усі станції на шині мають право передавати дані. Кожна з них постійно прослуховує шину. Якщо шина вільна, будь-який з учасників мережі може зайняти шину під свій цикл передач. У тому випадку, коли кілька станцій претендують на шину одночасно, це призводить до так званого конфлікту (колізії), і тоді всі претенденти знімають свою заявку. Потім кожний з учасників включає випадковий генератор, що задає випадковий інтервал чекання до наступного моменту запиту шини.

Метод CSMA/CD одержав широке поширення в офісних системах і найбільш ефективний в умовах відносно низького загального завантаження каналу (менше 30%). В умовах більшого завантаження каналу вигідніше використовувати мережі, що реалізують модель із передачею маркера.

У методі передачі маркера (Token Passing Method) право на доступ до шини (маркер) передається в циклі від пристрою до пристрою. Порядок передачі залежить від прикладної задачі і визначається на стадії планування системи. Цей метод пропонує кожному учасникові мережі "справедливий" поділ шинних ресурсів відповідно до їх запитів.

Принцип передачі маркера використовують у системах, де реакція на події, що виникають у розподіленій системі, має виявлятися за певний час.

6.4. Класи промислових мереж

На рис. 6.3 показано класифікацію промислових мереж відповідно до рівнів (fieldbus, sensor/actor), топології та методів доступу.

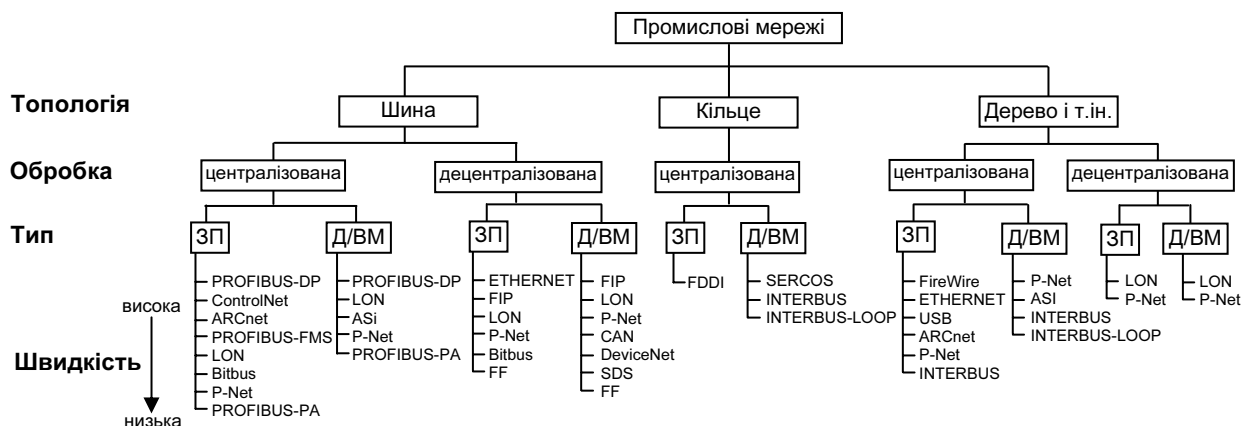


Рис. 6.3. Класифікація промислових мереж:
 ЗП – мережі загального призначення;
 Д/ВМ – мережі рівня датчиків і виконавчих механізмів

На кожному рівні обмін інформацією між елементами системи здійснюється за визначеними протоколами промислових мереж. Для вирішення задач промислової автоматизації в принципі можна застосувати різні комбінації промислових мереж, кожна з яких має свої характеристики.

Типові відкриті промислові мережі:

- PROFIBUS (Process Field Bus);
- BITBUS.

Типові відкриті сенсорні мережі:

- ASI (Actuator/Sensor Interface);
- INTERBUS;
- PROFIBUS-DP (Profibus for Distributed Periphery);
- SERCOS Interface.

Типові відкриті мережі для обох рівнів застосування:

- CAN (Controller Area Network);
- FIP (Factory Instrumentation Protocol);
- LON (Local Operating Network).

Порівняння характеристик цих та інших промислових мереж наведено в табл. 6.4.

На рис. 6.4 показано основні види промислових мереж залежно від вартості й їхніх можливостей.

Як видно з рисунка, промислова мережа Profibus посідає центральне місце, що робить її оптимальною для використання в промисловій автоматизації.

Таблиця 6.4

Порівняння характеристик промислових мереж і протоколів

Протокол (стандарт) і різновиди	Організація (країна)/ рік	Середовище передачі	Число вузлів	Швидкість передачі даних, Кбод	Довжина ліній	Топологія мережі	Принцип доступу до мережі	Переваги	Недоліки
ВІТBUS (IEEE 1118)	США/ 1984	Кручена пара, радіоканал, оптопара	28 синхр.; 250 самосинхр. (до 28 вузлів на сегмент)	500...2400 (синхр.), 62.5 і 375 (самосинхр.)	30м (синхр.); до 300м (375), до 1200 м (62.5) (самосинхр.)	Шина	MASTER/ SLAVE	Висока швидкість передачі, детермінізм і надійність	Не дає можливості побудови складних систем - структура його інформаційних пакетів проста
ASI (IEC)	AS-1 Consortium (США)/ 1993	Кручена пара ASI-кабель	До 31 підлеглих, 1 головний (248 ліній введення/ виведення)	До 167 Кбіт/с	До 100 м, з повторювачами до 300 м	Лінія; зірка; дерево; кільце	MASTER/ SLAVE	Надзвичайна простота, дешева, поширеність, висока швидкість, подача живильної напруги по мережному кабелю	Погано підходить для об'єднання пристроїв аналогового введення/виведення; обмежені розміри мережі
HART (Bell202 FSK)	Rosemount (США)/ 1986	Кручена пара, виділений тел. канал	До 15 підлеглих, 2 головних	1,2 Кбіт/с	До 3 км, до 100 м - шина	Зірка, шина	Точка-точка, багатоточкове з'єднання MASTER/ SLAVE	Одночасне використання цифрового сигналу і керуючого аналогового сигналу, що можуть одночасно передаватися по одному фізичному каналу	Низька швидкість передачі, необхідність наявності HART-модему для кожного компонента мережі, що беруть участь в обміні-передачі даних, крім випадків, коли відсутня струмова петля
LonWorks	Echelon Corp.(США)/ 1987	Кручена пара, коаксіал, оптоволоконно, радіоканал, силова провідка	32000 у рамках одного домену	До 1.25 Мбод/с	До 2 км	Довільна топологія	Довільний доступ (CSMA/CD)	Можливість побудови мережі за принципом вільної топології, в якій застосовується протокол LonTalk, що дозволяє організовувати сегменти мережі з використанням різних фізичних середовищ передачі	Відносна дорожня вузлових мікросхем Neuron Chip
CANBUS (ISO 11898, ISO 11519)	CAN In Automation (Німеччина)/ 1988	Кручена пара	До 64	125, 250, 500, 1000 Кбіт/с	Від 100 до 500м, до 1 км – 20 Кбод; до 40 м – 1 Мбод	Шина	Довільний доступ за пріоритетом (CSMA/ CM)	У більшому ступені придатний для швидкодіючих систем управління переміщенням і контурів регулювання зі зворотним зв'язком. Висока надійність, раціональне використання пропускної здатності, подача живильної напруги по мережному кабелю	Надмірна складність протоколу з погляду розробників, обмежена пропускна здатність, обмежений розмір повідомлень, обмежена довжина з'єднання
WorldFIP (UTE46, IEC 1158-2)	WorldFIP (Франція)/ 1985	Кручена пара, оптокабель	До 256	31,25 Кбіт/с; 1 Мбіт/с; 2.5 Мбіт/с.	До 2 км	Шина	MASTER/ SLAVE/ TOKEN	Ефективна шина реального часу, функції управління деяким процесом можуть розподілятися між різними пристроями на шині, усі "приймачі" одночасно приймають однакові зміни, а час відновлення даних та їхня передача підпорядковуються суворому контролю	

Продовження табл. 6.4

Протокол (стандарт) і різновиди	Організація (країна)/ рік	Середовище передачі	Число вузлів	Швидкість передачі даних, Кбод	Довжина ліній	Топологія мережі	Принцип доступу до мережі	Переваги	Недоліки
MODBUS (PI-MBUS-300)	Gould Inc.(США)/ 1985	Не специф.	1 master, до 247 slaves	0,6...19,2	15 м – RS232C ; 1200 м – RS422; 1000 м – струмова петля	Зірка; шина	MASTER/SLAVE/TOKEN	Найбільш розповсюджений, проста логіка і незалежність від типу інтерфейсу	Низька швидкість передачі даних
PROFIBUS (DIN 19245) Різновиди: Profibus DP, Profibus FMS, Profibus PA	Siemens (Німеччина)/ 1986	Кручена пара, оптокабель	До 126	500...1500 (FMS); 1500...12000 (DP); 31 (PA)	1200 м; 4800 м з повторювачами; до 24 км оптокабель	Зірка; шина	MASTER/SLAVE/TOKEN	Найпоширеніший у світі мережний стандарт; задовольняє вимоги переважної більшості систем автоматизації	Відносно високі накладні витрати при передачі коротких повідомлень, відсутність подачі живлення по шині, трохи більш висока в порівнянні з іншими шинами вартість
ARCNET (ANSI/ATA 878.1)	Datapoint/ 1977	Коаксіал, кручена пара, оптоволокно	255	19.53К до (ARCNET Plus – 20 Мбіт/с)	Коаксіал 2000 м. Кручена пара 400 м. Волокно 6000 м	Шина, зірка, кільце	Точка-точка, маркерний метод доступу	Дешевина, проста установка і експлуатація, проста діагностика апаратних несправностей	Виробництво апаратури Arcnet практично припинене
INTERBUS (DIN 19258 EN 50.254)	Phoenix Contact/1984	Кручена пара, оптоволокно, контактне кільце, інфрачервоний зв'язок	256	500 Кбіт/с (можлива 2 Мбіт/с), повний дуплекс	400 м/сегмент, у сумі 12.8 км	Послідовне кільце	Master/slave з повною передачею кадру	Істотно спрощує конфігурування системи автоадресації, розширені діагностичні можливості, низькі витрати, малий час відклику, раціональне використання пропускну здатності, подана напруги живлення по мережному кабелю	Перебій будь-якого з'єднання призводить до відмовлення всієї мережі; обмежені можливості з передачі даних великого обсягу
ControlNet (ControlNet Міжнародний)	Allen-Bradley/ 1995	Коаксіал, оптоволокно	99	5 Мбіт/с	Від 250 м, 1000 м (коаксіал) 2 вузли, 5км – коаксіал з повторювачами; 30 км – оптоволокно з повторювачами	Лінійна, дерево, зірка або комбінації	Модель «виробник/споживач», обмін з підтримкою декількох головних пристроїв, обмін між одноранговими пристроями	Детерміноване, стабільне, раціональне використання пропускну здатності, резервування	Обмежена підтримка виробниками, дорожня спеціалізованих мікросхем
DeviceNet (ISO 11898 & 11519)	Allen-Bradley/ 1994	Кручена пара	64	500 Кбіт/с, 250 Кбіт/с, 125 Кбіт/с	Від 100 до 500 м, 6 км із повторювачами	Шина з областями	Master/slave, multi-master, точка-точка	Дешевина, широке поширення, висока надійність, ефективне використання пропускну здатності, подана живильної напруги по мережному кабелю	Обмежена пропускну здатність, обмежений розмір повідомлень, обмежена довжина з'єднання

Закінчення табл. 6.4

Протокол (стандарт) і різновиди	Організація (країна)/ рік	Середовище передачі	Число вузлів	Швидкість передачі даних, Кбод	Довжина ліній	Топологія мережі	Принцип доступу до мережі	Переваги	Недоліки
Foundation Fieldbus (ISA SP50/IEC 61158) Різновиди: H1 внутрішньо безпечна шина (Intrinsically Safe), 31,25 Кбіт/с; HSE високошвидкісний Ethernet (High Speed Ethernet), 100 Мбіт/с.	Fieldbus Foundation/ 1995	Кручена пара, волокно	240 на сегмент (65000 сегментів)	31,25 Кбіт/с	До 1900 м	Зірка або шина	Клієнт/сервер, видавець/ передплатник, повідомлення про події	Відкритий міжнародний стандарт, гнучкий розвинутий протокол, що має широкі можливості; внутрішня безпека, інтегрований підхід для рівнів пристроїв автоматики і загальнозаводського устаткування	Орієнтація на обробку промислових, обмежений набір сумісних пристроїв
Ethernet (IEEE 802.3, DIX v. 2.0) Різновиди: 10Base2, 10Base i 100Base, 100BaseFX, 1 Gigabit	DEC, Intel, Xerox/ 1976	Кручена пара, коаксіал, оптокабель	1024 вузли, розширюється маршрутизаторами	10, 100 Мбіт/с	185м 10 Base T (кручена пара): Max 100m (90 м горизонтальний кабель, 5m drops, 1m patch) Max 4 хаба /повторювачі між вузлами 4Km відстань w/o маршрутизатори Волокно: 100 Base FX 400m 2.5 Km multi режим w/o комутатори; 50 Km топов режим w/ комутатори	Шина, зірка	Точка- точка (одноранговий)	Найпоширеніший і практично універсальний міжнародний мережний стандарт. Підтримує передачу великих обсягів даних з високою швидкістю	Великі витрати при передачі даних невеликого обсягу. Подача живильної напруги по мережному кабелю не виконується. Фізично вразливі конектори, підвищена в порівнянні з іншими промисловими шинами чутливість до електромагнітних перешкод

	-	ДАНИ	+	
- ф у н к ц і о н а л ь н і с т ь +		Ethernet TCP/IP		+
		Control NET Foundat Fieldbus H2		с к л а д н і с т ь
		Profibus-DP Profibus FMS INTER DUS Data Highway Remote I/O Modbus+		
		DeviceNET Fieldbus H1 CAN LON Profibus PA Modbus HART		
		ASI Seriplex Hardwiring RS-485		-
	-	ВАРТИСТЬ	+	

Рис. 6.4. Вартість і можливості промислових мереж

6.5. Протокол MODBUS

Спеціальний фізичний інтерфейс для цього протоколу не визначений. Ця можливість надана самому користувачеві: RS-232, RS-422, RS-485 або ж струмова петля 20 мА.

Протокол Modbus працює за принципом “master-slave” або “ведучий-відомий”. Конфігурація на основі цього протоколу припускає наявність одного *master-вузла* і до 247 *slave-вузлів*. Тільки master ініціює цикли обміну даними. Існує два типи запитів:

- запит/відповідь (адресується тільки один зі *slave-вузлів*);
- широкомовна передача (*master* через виставлення адреси 0 звертається до всіх інших вузлів мережі одночасно без квітирування).

Деякі характеристики протоколу Modbus фіксовані: формат кадру (команд), послідовність кадрів (полів у команді), обробка помилок комунікації і виняткових ситуацій, коди виконуваних функцій.

Інші характеристики вибираються користувачем: тип засобу зв'язку, швидкість обміну, перевірка на парність, число стопових бітів і режим передачі. Параметри, що вибираються користувачем, встановлюються (апаратно або програмно) на кожній станції. Ці параметри не можуть бути змінені під час роботи системи.

При передачі по лініях даних повідомлення поміщуються в «конверт». «Конверт» залишає пристрій через «порт» і «пересилається» по лініях пристрою, що адресується.

Протокол Modbus описує «конверт» у формі кадрів повідомлень. Інформація в повідомленні містить адресу необхідного одержувача; що одержувач повинний зробити (код функції або команди); дані, необхідні для виконання цього; механізм контролю вірогідності (контрольна сума).

Коли повідомлення досягає інтерфейсу *slave-вузла*, воно потрапляє в пристрій, що адресується, через схожий «порт». Пристрій, що адресується, розкриває «конверт», читає повідомлення і, якщо не виникло помилок, виконує необхідну задачу. Потім він поміщає в конверт повідомлення-відповідь і посилає його «відправникові». Інформація у повідомленні-відповіді являє собою адресу пристрою, що адресується, виконану задачу, дані, отримані в результаті виконання задачі, і механізм контролю вірогідності. Якщо повідомлення було широкомовним (повідомлення для всіх *slave-вузлів*), на що вказує адреса 0, то повідомлення-відповідь не передається.

У більшості випадків *master* посилає наступне повідомлення іншому *slave* або після прийому коректного повідомлення-відповіді, або після проходження визначеного користувачем інтервалу часу, якщо повідомлення-відповідь не було отримано.

Для кодування переданих даних використовують формати ASCII (American Standard Code for Information Interchange) і RTU (Remote Terminal Unit). У режимі RTU дані передаються у вигляді 8- розрядних двійкових символів. У режимі ASCII кожен RTU символ спочатку поділяється на дві 4- розрядні частини (старша і молодша), переводиться у свій шістнадцятирічний еквівалент і потім використовується в створенні повідомлення. ASCII режим використовує в два рази більше символів, ніж RTU режим, але декодування і управління даними – легше. До того ж у режимі RTU символи повідомлення мають передаватися безперервним потоком. У режимі ASCII припустима затримка до 1 секунди між двома сусідніми символами.

Існує два типи помилок, що можуть виникати в системах зв'язку: помилки передачі і програмні або оперативні помилки. Modbus має способи визначення кожного типу помилок.

Помилки зв'язку зазвичай полягають у зміні одного або декількох бітів повідомлення (наприклад, байт 0001 0100 може змінитися на 0001 0110). Помилки зв'язку виявляються за допомогою символу кадру, контролю по парності і надлишкового кодування.

Коли виявляється помилка кадрів, парності й контрольної суми, обробка повідомлення припиняється. *Slave* не повинний генерувати повідомлення-відповідь (той же результат досягається, якщо була використана адреса неіснуючого *slave*).

Якщо виникає помилка зв'язку, дані повідомлення ненадійні. Пристрій *slave* не може з упевненістю визначити, що повідомлення було адресовано саме йому. Інакше *slave* може відповісти повідомленням, що не є відповіддю на вихідний запит. Пристрій *master* має

програмуватися так, щоб у випадку неодержання повідомлення-відповіді протягом певного часу повинна фіксуватися помилка зв'язку. Тривалість цього часу залежить від швидкості обміну, типу повідомлення і часу опитування *slave*. Після проходження цього періоду *master* має бути запрограмований на ретрансляцію повідомлення.

Обидва режими передачі, RTU і ASCII, можуть включати у формат символу додатковий біт парності. У режимі RTU це дев'ятий біт у полі даних (8 бітів даних і біт парності). У режимі ASCII це восьмий біт даних (7 бітів даних і біт парності). Якщо контроль парності не використовують, біт парності не передається. Необхідно, щоб усі пристрої в системі були сконфігуровані однаково.

Контроль парності може визначити тільки зміну одного біта в символі.

Для забезпечення якості передачі даних система Modbus має кілька рівнів виявлення помилок. Для виявлення множинної зміни бітів повідомлення система використовує надлишковий контроль: CRC для RTU (*Cyclic Redundancy Check*) і LRC для ASCII (*Longitudinal Redundancy Check*).

Функція обслуговування таймауту реалізована для фіксування колізій при прийомі/передачі даних.

Набір команд протоколу описує функції:

- читання/запис бітів і бітових послідовностей;
- читання/запис регістрів;
- діагностики;
- програмні;
- управління списком опитування;
- скидання (RESET).

Протокол Modbus – це відкритий протокол, що має просту структуру, невелику кількість службових сигналів і не залежить від типу інтерфейсу.

6.6. Шина PROFIBUS. Загальна характеристика, типи й реалізації

PROFIBUS – найрозповсюдженіша в світі відкрита промислова мережа. Існує кілька різновидів протоколу PROFIBUS: FMS (*Fieldbus Message Specification*) – протокол загального призначення для передачі великих обсягів даних між контролерами й інтелектуальними пристроями (кілька головних пристроїв або однорангові пристрої), DP (*Distributed Periphery*) – протокол для вирішення задач реального часу (головний/підлеглий), PA (*Process Automation*) – протокол із внутрішнім захистом даних для використання в небезпечних виробництвах. Найбільш розповсюджений протокол – PROFIBUS-DP.

Стандарт PROFIBUS дозволяє створювати розподілені системи з одним або декількома ведучими пристроями, причому реалізуючих усі три типи (тільки PA-пристрої необхідно підключати через спеціальні

повторювачі). Загальна кількість пристроїв ведучих і відомих, що підключаються до однієї шини, може складати 126 вузлів.

Система PROFIBUS-DP може містити пристрої різних типів:

- ведучий DP-пристрій класу 1 (DPM1) – центральний контролер (програмувальний логічний контролер PLC, числовий контролер СМС, контролер робота RC);
- ведучий DP-пристрій класу 2 (DPM2), що призначений для програмування, конфігурування і діагностики;
- відомий DP-пристрій – периферійний пристрій двійкового або аналогового введення/виведення.

Принципи доступу до мережі: точка-точка (передача користувальницьких даних); багатоточковий (синхронізація) – періодична передача користувальницьких даних між ведучими і відомим пристроями і неперіодичною передачею даних між ведучими пристроями.

Протоколом визначені три ациклічні команди: SDN – послати дані без підтвердження; SDA – послати дані з підтвердженням; SRD – послати і запросити дані. Реалізована також одна циклічна команда CSRD – циклічна посилка і запит даних.

На роботу системи в основному впливає стан пристрою DPM1. Залежно від нього розглядають такі режими:

- *робота* – періодична передача вхідних і вихідних даних;
- *скидання* – вхідні дані зчитуються з відомого DP-пристрою, а виходи підтримуються в стані захисту від збоїв;
- *останов* – дані не передаються.

Крім того, можлива синхронізація вхідних і/або вихідних даних усіх відомих DP-пристроїв: Sync-режим (синхронізуються всі вихідні дані); Freeze-режим (синхронізуються всі вихідні дані).

Обмін даними з розподіленими пристроями відбувається в основному циклічно. Пристрій типу DPM1 зчитує вхідні дані з відомого DP-пристрою і посилає назад відомому пристрою вихідні дані. При цьому цикл шини коротше програмного циклу контролера, що у більшості випадків дорівнює приблизно 10 мс.

Пристрій DPM1 груповою командою передає свій локальний статус усім призначеним для роботи з ним DP-пристроєм. Реакція системи на несправність, що виникла під час фази передачі даних, наприклад збій DP-пристрою, може налаштовуватися і визначається спеціальним конфігураційним параметром DPM1-пристрою. Якщо цей параметр знаходиться в стані "так", DPM1 переключає виходи всіх призначених для роботи з ним відомих DP-пристроїв у стан захисту від збоїв. Це означає, що вони не можуть передавати недостовірні дані. Після цього DPM1 переходить у стан *скидання*. Якщо параметр знаходиться в стані "ні", DPM1 у випадку несправності відомого DP-пристрою залишається в стані *робота*.

Кількість вхідних і вихідних даних не залежить від пристрою й обмежується 246 байтами. Багато хто з використовуваних зараз відомо-

мих DP-пристроїв мають тільки 32 вхідних і 32 вихідних байти даних.

При передачі даних використовують такі механізми захисту:

- усі повідомлення передаються з хемінговою відстанню 4 (у будь-якій послідовності даних три помилкових біти будуть виявлені, а один біт може бути відновлений);
- сторожові таймери в DP-пристроях;
- захист доступу до вхідної/вихідної інформації у відомих DP-пристроях;
- строго регламентована передача даних з використанням таймера, що настроюється в DPM1.

Таким чином, PROFIBUS-DP забезпечує такі функціональні можливості:

- циклічні передачі користувальницьких даних між ведучими DP-пристроями або відомими DP-пристроями;
- перевірка конфігурації відомих DP-пристроїв;
- потужні діагностичні можливості (три ієрархічних рівні діагностичних повідомлень);
- синхронізація вхідних і/або вихідних даних;
- присвоєння адрес відомим DP-пристроєм через шину;
- підключення і від'єднання станцій без впливу на інші станції.

Значне збільшення швидкості в порівнянні із шиною PROFIBUS-FMS відбувається в основному завдяки використанню функції SRD, що дозволяє передавати вхідні та вихідні дані в одному циклі повідомлень. Крім того, продуктивність підвищується завдяки збільшенню швидкості передачі до 1,5 Мбіт/с.

Для успішного використання шинної системи однієї високої пропускної здатності недостатньо. Необхідна ще проста установка й обслуговування, можливості діагностики і безпомилкова передача даних. Протокол PROFIBUS оптимальним чином задовольняє усі ці вимоги.

Обмеженнями PROFIBUS є відносно високі накладні витрати при передачі коротких повідомлень, відсутність подачі живлення по шині, трохи більш висока в порівнянні з іншими шинами вартість.

6.7. Шина CANBUS

На початку 80-х років фірма BOSCH (Німеччина) розробила протокол *Control Area Network* (CAN), що був затверджений Міжнародною організацією зі стандартів як стандарт ISO 11898.

Сам по собі CAN – це усього лише низькорівневий арбітражний протокол обміну повідомленнями. Для його перетворення в повнофункціональний мережний протокол необхідний додатковий програмний рівень.

За своїми характеристиками він задовольняє вимоги задач реального часу. Реалізований механізм передачі даних дозволяє виявляти і виправляти помилки з хемінговою відстанню 6, тобто 5 помилко-

вих бітів виявляються і 2 помилкових біти виправляються.

CAN є недорогою і дуже надійною основою для декількох розповсюджених промислових шин. Мережі CANbus (CANopen), DeviceNet і Smart Distributed System (SDS) – це об'єктно-орієнтовані технології з подібними функціональними можливостями по передачі оперативних даних, конфігураційних параметрів і керуючої мережної інформації. Разом з тим DeviceNet і SDS значною мірою орієнтовані на зв'язок, у той час як CANbus – на передачу повідомлень. Є невеликі розходження й у способі фрагментації блоків даних великого обсягу.

Таким чином, CANbus – це сім'я профілів на базі CAN, протокол більш високого рівня (CAN Application Layer (CAL), а також комунікаційний профіль), постачаний такими додатковими функціональними можливостями, як стандартизовані комунікаційні об'єкти для технологічної інформації, службових даних, мережного управління, синхронізації, часової реєстрації й аварійних повідомлень.

Системи на основі CANbus досить легко конфігуруються і мають засоби централізованої діагностики.

CANbus – це послідовна шина, механізм роботи якої описується моделлю децентралізованого контролю доступу до шини CSMA/CM, що являє собою модернізований варіант моделі CSMA/CD. Відмінність полягає в механізмі вирішення колізій. У CANbus кожний блок даних містить додатковий 11-бітовий ідентифікатор, що є, по суті, пріоритетом даного повідомлення. Призначення пріоритетів може відбуватися в такий спосіб: один – для параметра швидкості, інший – для частоти обертання вала двигуна і т.д. Кожен вузол-приймач у мережі CANbus сам вибирає призначені для нього повідомлення. Можливі колізії, що пов'язані з одночасним запитом шини, вирішуються на основі пріоритетності повідомлень: право на роботу із шиною одержить той вузол, що передає повідомлення з найвищим пріоритетом.

У кожному повідомленні може бути передано від 0 до 8 бітів даних. Великі блоки можна передавати з використанням принципу фрагментації.

Основна відмінність CANbus від інших промислових шин, орієнтованих на з'єднання типу "головний/підлеглий", полягає в здатності кожного вузла самостійно звертатися до шини і прямо обмінюватися даними з будь-яким іншим вузлом, минаючи головний пристрій. Оскільки в основі CANbus лежить протокол CAN, процес передачі даних у комунікаційному профілі визначений як керований подіями, що дозволяє максимально скоротити обсяг трафіку. Для нестатків систем управління переміщеннями в CANbus є операції синхронізації (циклічна і ациклічна).

Поряд із системами управління переміщенням (текстильна і поліграфічна галузі, пакувальні лінії, обпресування під тиском і ін.) мережі CANbus застосовують також у роботизованому виробництві, медичному устаткуванні типу комп'ютерних томографів і рентгенівських апа-

ратів, навантажувачах і підіймальних кранах. Серед інших галузей застосування можна назвати громадський транспорт (інформаційні системи для водіїв і пасажирів) і бортові системи судів. Однак основною галуззю застосування є децентралізоване управління устаткуванням.

6.8. Протокол HART

Протокол HART (*Highway Addressable Remote Transducer*), що розроблений фірмою Rosemount Inc. у середині 80-х років, реалізує відомий стандарт BELL 202 FSK (*Frequency Shift Keying*) для організації цифрової передачі, основаної на технології 4...20 мА.

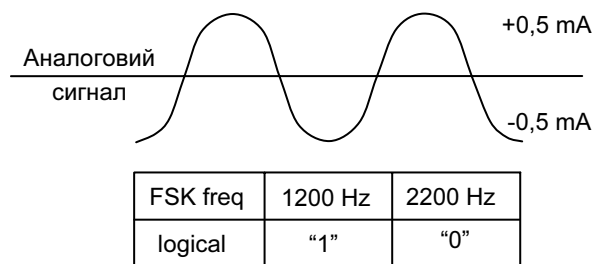


Рис. 6.5. Схема роботи протоколу HART

У HART-протоколі реалізована схема відносин між вузлами мережі за принципом master/slave. У HART-мережі може бути присутнім до 2 master-вузлів (зазвичай один). Другий master, як правило, звільнений від підтримки циклів передачі і використовується для організації зв'язку з якою-небудь системою контролю/відображення даних.

Стандартна топологія організована за принципом "точка-точка" або "зірка". Для передачі даних по мережі використовують два режими:

- асинхронний – за схемою "запит-відповідь" (один цикл – 500 мс);
- синхронний – усі пасивні вузли безупинно передають свої дані на master-вузол (час відновлення даних у master-вузлі 250...300 мс).

Можлива побудова топології "шина" (до 15 вузлів), коли декілька вузлів підключені на одну кручену пару. Причому на довжину шини значно впливає метод екранування (загальноекранована кручена пара – до 1524 м, кожен провідник у крученій парі екранований окремо – до 3048 м).

Весь набір команд, реалізованих у HART-протоколі, умовно можна розділити на три групи:

- універсальні команди (команди загального призначення, що використовують на рівні операторських станцій: код виробника пристрою в мережі, модель, серійний номер, короткий опис пристрою, діапазони обмежень, набір робочих змінних);
- команди для груп пристроїв (фіксація значення струму на вихідному каналі, скидання і т.д.);

- команди, що залежать від пристрою (старт/стоп, спеціальні функції калібрування і т.д.).

За одну посилку один вузол іншому може передати до чотирьох технологічних змінних, а кожен HART-пристрій може мати до 256 змінних, що описують його стан.

Структура інформаційного байта має стандартний формат: 1 стартовий біт; 8 бітів даних; 1 біт контролю по парності; 1 стоповий біт. Метод контролю коректності переданих даних оснований на одержанні підтвердження. HART-протокол дозволяє передавати до 1200 біт/с.

HART-протокол підтримує велику кількість устаткування польового рівня (датчики і виконавчі пристрої) у першу чергу компанії розробника протоколу – Rosemount. У США HART-повідомлення можна вільно передавати по телефонних лініях. У Європі це не дозволено – для цих цілей необхідно мати виділений телефонний канал.

6.9. Технології безпроводного зв'язку в промисловій автоматизації. Використання стандартів GSM, SMS, GPRS

Однією із задач, що часто зустрічаються на практиці, є організація *безпроводного каналу зв'язку* центральної станції з численними видаленими терміналами. Найбільш характерні подібні задачі для систем дистанційного управління і телеметрії, в яких керовані об'єкти (стаціонарні або рухливі) розподілені по значній території. У цьому випадку важливе значення має тип управління: з централізованим управлінням; з управлінням з боку видаленого об'єкта; з комбінованим управлінням.

Для вирішення подібних задач з успіхом можуть застосовуватися технології безпроводного зв'язку на основі радіо-, мобільного, високочастотного або супутникового зв'язку.

Основною характеристикою безпроводної технології передачі даних є те, в якій смузі радіоспектра передається сигнал.

Звичайний вузькополосний сигнал передається у вузькій смузі радіоспектра, що оточує його несучу частоту. Недолік цього методу полягає в тому, що вузькополосний сигнал повинний мати значну енергію, тому він стає досить сильним джерелом перешкод і, навпаки, сам виявляється вразливим для зовнішніх шумів.

Ці проблеми вдається вирішувати, використовуючи широкополосний сигнал. Під цим терміном маються на увазі дві досить далекі одна від одної технології, спільною властивістю яких є те, що сигнал займає значно більш широкий спектр частот. Обидві технології, використовуючи псевдовипадкове (або так зване шумоподібне) кодування сигналу, дозволяють багатьом передавачам, що застосовують ортогональне кодування, працювати в одній смузі радіоспектра, не заважаючи один одному. Крім того, ці технології дозволяють значно підвищити перешкодостійкість. В даний час їх використовують в основному в

трьох діапазонах частот - 913 МГц, 2,4 і 5,7 ГГц. Пропускна здатність - від 1 до 4 Мбіт/с.

Одним зі способів формування широкополосного сигналу є метод частотних стрибків (*Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS*). У спрощеному вигляді його можна навести в такий спосіб: кожний з наступних бітів інформації перескакує на іншу несучу частоту (одну з 79, визначених стандартом 802.11 для FHSS). Порядок чергування піднесучих визначається псевдовипадковою послідовністю. Не знаючи її, прийняти передачу неможливо. Кожна пара приймач-передавач працює з однією і тією же послідовністю. Очевидно, що якщо в безпосередній близькості одна від одної працюють кілька таких пар, що використовують різні послідовності стрибків частоти, то вони одна одній не заважають. Якщо ж у деякий момент чиїсь несучі випадково збігаються і відповідні дані будуть зіпсовані, то цю помилку можна виявити (наприклад, за допомогою протоколів більш високих рівнів), і необхідний фрагмент (дуже невеликий) буде переданий ще раз. Точно в такий же спосіб забезпечується і перешкодозахищеність передачі стосовно вузькополосних перешкод – якщо перешкоди випадково збіжаться по частоті з однією з несучих, необхідно повторно передати дуже невелику частину загального обсягу даних (за інтенсивністю радіосигнал, переданий за методом FHSS, не уступає вузькополосному сигналу і тому може служити джерелом перешкод для інших пристроїв).

Другий спосіб – метод прямої послідовності (*Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS*). Тут переданий сигнал спочатку перетворюється в псевдовипадкову послідовність більш коротких і менш енергоємних імпульсів, названих чипами, кожний з яких передається на своїй несучій (за стандартом 802.11 їх всього 11). Таким чином, виходить широкополосний сигнал з розподіленою енергією, для прийому якого потрібно відповідним чином декодувати саму псевдовипадкову послідовність чипів. У результаті навіть якщо інтенсивність корисного сигналу на кожній несучій має той же порядок, що й інтенсивність фону, приймач усе одно зможе виділити корисний сигнал, оскільки відомо, де його шукати. Саме тому для позначення широкополосного сигналу, переданого за методом прямої послідовності, часто використовують термін “шумоподібний сигнал” (не знаючи кодової послідовності, прийнятий сигнал нічим не буде відрізнятися від шуму). Однак завдяки низькій інтенсивності DSSS-сигнал, на відміну від FHSS-сигналу, не може бути джерелом перешкод для інших радіопередаючих пристроїв.

Розгортання систем **УКВ-радіозв'язку** включає в себе: розміщення спеціалізованого устаткування передачі даних, що використовує широко розповсюджені UHF/SHF частотні діапазони (устаткування базових станцій і видалених терміналів); розміщення ретрансляційного устаткування і антен на максимально вигідних за висотою об'єктах або на спеціалізованих радіовишках.

За наявністю базових станцій виділяють децентралізовані (зв'язок абонентської станції з абонентською станцією без базової станції) і централізовані (зв'язок абонентської станції з абонентською станцією через базову станцію). Базова станція, в свою чергу, може мати вихід на інші канали зв'язку: виділені, що комутуються, радіорелейні, оптоволоконні й ін.

Протокол має реалізовувати методи множинного доступу в канал зв'язку, виявлення і усунення конфліктів, контроль цілісності інформації і т.д.

За видом радіозв'язку розрізняють: симплексні (приймання та передавання на одній частоті); напівдуплексні (приймання та передавання по черзі на різних частотах); дуплексні (приймання та передавання одночасно на різних частотах).

Дисципліна збору телемеханічної інформації в системі може складатися з таких процедур: циклічне опитування з центральної станції; за розкладом (наприклад, кожні п'ять хвилин); за подією (технологія, що дозволяє значно знизити навантаження на канали зв'язку і прискорити доставку інформації в системах з великою кількістю контролерів і складною мережною структурою); у будь-якій комбінації перерахованих вище способів.

Максимальна відстань між контролерами (видаленим терміналом) і диспетчерським центром (центральною станцією) визначається висотами підвісу і типами базової й абонентської антен, діапазоном частот, рельєфом місцевості і потужністю використовуваних передавачів. Для забезпечення зв'язку на великі відстані використовують спрямовані антени та режими ретрансляції на видалених терміналах.

На рис. 6.6 показано приклад схеми організації мережі радіозв'язку.

У більшості випадків системи радіозв'язку будують або за принципом "точка-точка", або за принципом "точка-багатоточка", використовуючи послідовне опитування (наприклад, як у протоколі MODBUS, широко використовуваному в телемеханіці).

Розрізняють системи на «прозорі» і «непрозорі» для зовнішніх контролерів, а також на системи з емуляцією протоколу користувача:

1. Зв'язок зовнішніх контролерів через «прозорі» системи здійснюється поза залежності від протоколу обміну даними між контролерами. Система для контролерів рівнозначна провідній лінії, в яку паралельно підключені всі абоненти. При цьому принципи обміну даними визначаються самими контролерами.

Переваги «прозорих» систем:

- просто реалізується мережа передачі даних (за допомогою використання відповідного протоколу зв'язку);
- дані передаються поза залежністю від їхнього типу, обсягу і принципів передачі;

- при зміні структури даних, що передаються, параметри системи не змінюються.
- Недоліки «прозорих» систем:
- технічно складні й ненадійні вузлові пристрої при побудові систем з ретрансляцією;
 - ускладнено побудову сильно розгалужених і лінійно-розподілених мереж передачі інформації через великі затримки при передачі даних;
 - ускладнено діагностику зв'язку між точками, і обриви зв'язку виявляються вже при затримці інформації (наприклад, за відсутності відповіді точки на запит).

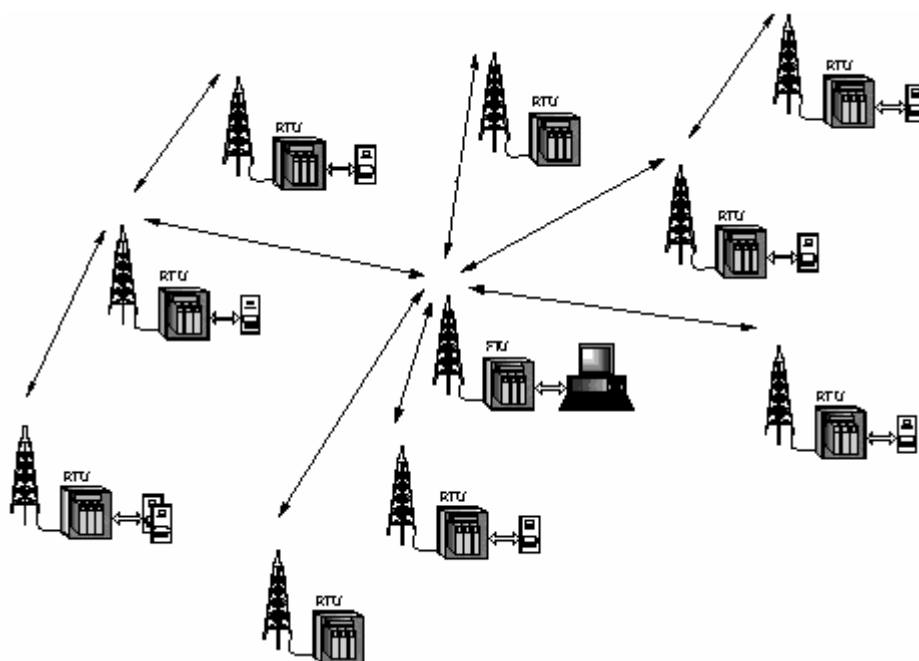


Рис. 6.6. Схема організації зв'язку

2. У «непрозорих» системах між контролером – передавачем даних і системою організується обмін даними за яким-небудь домовленим протоколом зв'язку. Всередині системи відбувається передача даних на інший кінець за своїми власними алгоритмами, після чого інформація віддається контролеру-приймачу знову ж за одним із протоколів зв'язку.

У даному типі систем мають значення і первинно повинні бути визначені: протоколи зв'язку із зовнішніми контролерами; обсяги переданої інформації; режими доставки інформації («за запитом», «за ініціативою знизу» й ін.).

Переваги «непрозорих» систем:

- можливість побудови сильно розгалужених і лінійно-розподілених мереж передачі інформації з довільною кількістю вузлів і галузей;

- надійність збереження переданих даних (у разі неможливості відправлення даних у будь-якій точці системи дані зберігаються);
- висока гнучкість у використанні каналів зв'язку (дублювання, резервування, послідовне використання різних каналів зв'язку);
- можливість одержання великого обсягу сервісної інформації про роботу системи, що дозволяє точно і швидко діагностувати несправності, а іноді і попереджати їх.

Недоліки "непрозорих" систем:

- необхідність зміни параметрів системи (закладеної програми) при зміні структури переданих даних (кількість даних, додавання нових абонентських точок і т. ін.);
- складність в обслуговуванні (необхідний спеціально навчений персоналу).

3. Системи з емуляцією протоколу користувача мають проміжне положення між «прозорими» та «непрозорими» системами. З одного боку, зв'язок між зовнішніми контролерами здійснюється за єдиним протоколом зв'язку, що визначається самими контролерами, з іншого боку, у системі відбувається перенесення протоколу користувача на транспортний протокол-носіє, що працює всередині системи.

Дані системи мають переваги «прозорих» систем – прості з погляду зовнішнього користувача (використовують стандартні протоколи зв'язку для зовнішніх контролерів, емулюють «безпосередній» зв'язок між контролерами). Однак вони мають усі переваги й недоліки «непрозорих» систем, оскільки будуються на тому ж устаткуванні і за тими ж принципами побудови мережі, але за допомогою використання спеціального програмного забезпечення. Додатковим недоліком є більш повільна доставка повідомлень шляхом:

- використання «повільних» зовнішніх протоколів зв'язку (зазвичай опитувального типу);
- додаткової затримки на конвертацію протоколу всередині системи;
- відсутності «вибірковості» у передачі запитаних даних.

Супутникові лінії зв'язку працюють у 9 – 11 діапазонах частот. У цих системах сигнал із земної станції посилюється на супутник, що містить приймально-передавальну апаратуру, там підсилюється, обробляється і посилюється назад на Землю, забезпечуючи зв'язок на великі відстані і перекиваючи великі площі. Швидкість передачі в супутниковому каналі - до 45 Мбіт/с.

Мобільний зв'язок в організації передачі даних у промисловій автоматизації полягає у використанні наданих операторами зв'язку базових послуг, таких, як передача даних за **GSM**, передача коротких повідомлень **SMS** і пакетної передачі даних **GPRS**.

У випадку використання в АСУ GSM-каналів зв'язку необхідно, щоб всі елементи системи знаходилися в зоні покриття GSM-мережі.

Мережа GSM складається з декількох функціональних об'єктів із

заданими функціями й інтерфейсами. Мережі GSM можна розділити на три основних частини: мобільні телефони або GSM-модеми, якими користуються абоненти, підсистема базових станцій, що контролює радіозв'язок з мобільними телефонами, і мережна підсистема, головна частина якої – комутуючий центр послуг мобільного зв'язку (робить комутування дзвінків між своїми абонентами та користувачами інших фіксованих або мобільних мереж, а також керує мобільними сервісами).

Існують дві технології множинного доступу: з поділом за часом (Time Division Multiple Access – TDMA) і з кодовим поділом (Code Division Multiple Access – CDMA). GSM-стандарт оснований на TDMA.

Передача даних здійснюється в режимі **CSD** (Circuited Switched Data) на швидкості 9.6 Кбод/с. Передача даних по GSM-мережах подібна передачі даних по кабельних лініях зв'язку. Однак рівень надійності передачі даних за допомогою мобільної мережі зв'язку нижче, ніж при використанні фіксованих кабельних ліній зв'язку. Передачу даних за GSM-мережею доцільно вживати в тих випадках, коли користувач може контролювати процес зв'язку (у таких системах, як дистанційний моніторинг і програмування, завантаження програм, налаштування PID-регуляторів і т.д.).

SMS (Short Message Service) є оптимальним варіантом об'єднання устаткування і пристроїв у мобільну мережу і пропонує пакетний тип передачі даних, що широко використовується і відрізняється достатньою надійністю. Текстового повідомлення довжиною в 160 символів може бути досить для передачі телеметричної інформації, і вони простим способом реалізуються в діючих системах і узгоджуються з іншими системами. Інший новий тип передачі даних – це MMS (передача повідомлень з мультимедійним змістом), що має розширені можливості при пересиланні повідомлень, включаючи більший обсяг інформації, в тому числі мовні сигнали та відеодані.

GPRS (General Packet Radio Service) – це радіосервіс, оснований на пакетній комутації, що дає можливість постійного – "always on" – з'єднання, витісняючи трудомістке з'єднання через dial-up, що забирає багато часу. GPRS пропонує більш швидку передачу даних через мережі GSM зі швидкостями від 14.4 (при використанні одного часового каналу) до 115 Кбіт/с (при об'єднанні декількох каналів).

У випадку успішного проходження всіх процедур реєстрації абоненту видається тимчасовий номер мобільного абонента для пакетної передачі даних.

Для швидкої маршрутизації інформації GPRS-система потребує дані про місце знаходження абонента відносно мережі, причому з більшою точністю, ніж у випадку передачі голосового трафіка. Для того, щоб оптимізувати роботу системи залежно від місця знаходження абонента, застосовують поділ терміналів на три класи:

- **IDLE** (непрацюючий). Термінал відключений або знаходиться поза зоною дії мережі. Очевидно, що система не відслідковує переміщення

подібних абонентів;

- **STANDBY** (режим чекання). Апарат зареєстрований в GPRS-системі, але вже тривалий час (визначається спеціальним таймером) не працює на передачу даних. Місце знаходження STANDBY-абонентів відомо з точністю до RA (Routing Area – область маршрутизації); RA крупніший, ніж стільник, і складається з декількох елементарних комірок;

- **READY** (готовність). Абонентський термінал зареєстрований в системі і знаходиться в активній роботі. Координати абонентів, що знаходяться в режимі READY, відомі системі з точністю до стільника.

Слід відзначити такий важливий параметр, як QoS (*Quality of Service* – якість сервісу). В GPRS існують декілька класів QoS, які підрозділяються за такими ознаками: необхідним пріоритетом (високий, середній і низький); надійністю (встановлені три класи надійності залежно від кількості можливих помилок різного роду, втрачених пакетів і т. ін.); затримками (затримки інформації поза GPRS-мережі не враховуються); кількісними характеристиками (пікове і середнє значення швидкості).

Крім QoS в характеристику сесії передачі даних входять тип протоколу (*Packet Data Protocol type* – PDP type), PDP-адреса, що видана мобільній станції, а також адреса GGSN (*Gateway GPRS Support Node* – шлюз GPRS), з яким йде робота. Профіль сесії (PDP context) записується в абонентський термінал, а також у SGSN (*Serving GPRS Support Node* – вузол підтримки GPRS) і GGSN, що обслуговують його. Одночасно може підтримуватися декілька профілів передачі даних для кожного користувача.

Пакетна передача даних передбачає два види з'єднань: PTP (*Point-to-Point*) — «точка-точка»; PTM (*Point-to-Multipoint*) – «точка-багатоточка». Широковещальний режим із з'єднанням PTM, у свою чергу, підрозділяється на два підрежими: PTM-M (*PTM-Multicast*) – інформація передається всім користувачам, що знаходяться у певній географічній зоні; PTM-G (*PTM-Group Call*) – дані спрямовуються певній групі користувачів.

Виконуючи комутацію пакетів, оператор GPRS надає користувачеві постійний безпроводний зв'язок подібно Інтернету (суму оплати розраховують, виходячи з обсягу відісланих даних, а не залежно від часу зв'язку). GPRS по суті є механізмом для підключення до БД реального часу, подібно тому, як це робиться через Інтернет. На рівні кінцевих пристроїв GPRS сьогодні використовує динамічну IP-адресацію, що ставить певні вимоги до пристроїв обміну повідомленнями.

Серед інших важливих переваг GPRS – більш ефективне використання радіоспектра. Користувачі тепер займають радіоресурси тільки тоді, коли відбувається реальна передача даних. Це, по суті, означає, що в одній точці доступу можна обслужити більшу кількість користувачів, тоді як швидкості передачі даних залишаються високими.

Послуги пакетної передачі даних за радіоканалом GPRS є черговим ступенем від GSM до стільникових мереж третього покоління - 3G. Для наступного покоління 3G мереж, таких, як UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) і т. ін, планується значне розширення можливостей і збільшення швидкості передачі. UMTS – це один зі стандартів, розроблений Європейським Інститутом Стандартів Телекомунікацій (ETSI) для впровадження 3G. UMTS – це високошвидкісна передача даних, мобільний Інтернет, різні програми на основі Інтернету, інтранету і мультимедіа. Ключовою технологією для UMTS є широкополосний багатостанційний доступ з кодовим поділом (WCDMA). Системи WCDMA/UMTS включають у себе удосконалену базову мережу GSM і радіоінтерфейс за технологією WCDMA. Швидкість передачі в радіоканалі для мобільного абонента досягає 2 Мбіт/с. WCDMA призначена для використання в системах, які працюють у частотному діапазоні 2 ГГц, що дозволить повною мірою використовувати всі переваги цієї технології. Наприклад, всього одна несуча WCDMA шириною 5 МГц забезпечить надання змішаних послуг, що вимагають швидкостей передачі від 8 Кбіт/с до 2 Мбіт/с.

Сучасні мережі другого покоління є основою, на якій впроваджуються системи 3G. Вже є технологія EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) - підвищена швидкість передачі даних для глобальної еволюції (до 384 Кбіт/с). Реалізація EDGE дозволить підсилити й основні переваги технології GPRS: швидке встановлення з'єднань пакетної передачі та більш висока швидкість у радіоінтерфейсі.

GSM-модеми призначені для об'єднання пристроїв передачі даних у мобільну мережу. Існують два основних типи модемів: кінцеві, що аналогічні стандартним провідним модемам і мають послідовний порт для інтерфейсу з устаткуванням через AT-команди, і модульні. Модеми спеціально призначені для роботи в автоматизованих системах управління і у порівнянні з мобільними телефонами мають більш довгий термін служби і більш високі показники надійності і чутливості до мобільної мережі. Модульні модеми відрізняються малими габаритними розмірами, а тому можуть бути вбудовані у виробу на рівні печатних плат для здійснення безпроводного зв'язку.

Нові персональні кишенькові інформаційні пристрої й комп'ютери (PDA) надають широкі можливості для графічного інтерфейсу користувача в системах безпроводної автоматизації.

Крім того, існують спеціалізовані засоби автоматизації на основі мобільного зв'язку: контролери PLC, системи розподіленого збору і управління, плати ПЗО.

В АСУ ТП має бути централізована система, яка сполучається зазвичай з одним з АРМ, що керує потоком даних, контролює стільниковий зв'язок пристроїв, забезпечує формування повідомлень і передачу їх іншим системам. Запрограмувати обмін даними через GSM можна спеціалізованими програмними засобами або засобами деяких SCADA-

систем. Наприклад, у SCADA-системі Trace Mode зв'язок між моніторами реального часу за GSM-мережею реалізується у вигляді SMS-повідомлень. Для підтримки такого обміну на рівні операторських станцій призначений виконавчий модуль GSM-активатор, а на рівні контролерів – спеціалізована модифікація мікромонітора реального часу.

GSM-активатор забезпечує підтримку обміну даними у вигляді SMS-повідомлень з контролерами та іншими станціями. Крім того, він забезпечує відсилання на стільникові телефони аварійних або технологічних повідомлень, що заносяться до звіту тривоги, а також контроль і управління технологічними параметрами зі стільникових телефонів і серверів. Для обміну за GSM-мережею до послідовних портів комп'ютерів мають бути підключені GSM-модеми.

Таким чином, диспетчерський та обслуговуючий персонал може запитувати необхідні параметри з об'єктів і знімати показання вимірювальних приладів за допомогою мобільних телефонів. За необхідності працівники, що відповідають за обслуговування пристроїв аварійної сигналізації, негайно одержують інструкції безпосередньо на свої телефони. Пристрої й механізми можуть легко і просто приєднуватися до єдиної системи звітності, передавати дані про свою роботу, потреби в технічному обслуговуванні, ремонті і т.д.

Крім технологій мобільного зв'язку в промисловій автоматизації можуть використовуватися *високочастотні* канали передачі даних на базі сучасних безпроводних технологій Bluetooth і Wi-Fi.

Технологія **Bluetooth** – міжнародний стандарт для безпроводних комунікацій малого радіусу дії. Основне призначення Bluetooth – забезпечення економічної (з погляду споживаного електроживлення) і дешевого радіозв'язку між різними типами електронних пристроїв, причому чимале значення надається компактності електронних компонентів, що дає можливість застосовувати Bluetooth у малогабаритних пристроях.

Bluetooth є універсальним радіоінтерфейсом для епізодичного (непостійного) безпроводного зв'язку. Bluetooth забезпечує передачу голосу і даних на коротку відстань (до 10 м, з передавачем – до 100 м) з максимальною швидкістю 1Мбіт/с на смузі частот від 2.402 МГц (канал 0) до 2.480 МГц (канал 78). Використовує метод FHSS для формування широкополосного сигналу. Перескоки частот здійснюються 1600 разів/с. Топологія мережі Bluetooth має назву „пікомережа”, яка являє собою сукупність пристроїв, пов'язаних епізодичним чином. При цьому один вузол служить майстром, а решта – підпорядкованими на час сеансу (до 7 постійних підпорядкованих, парковано (тимчасово відключених) може бути > 200). Майстер визначає схему перескоку частот, а підпорядковані мають їй слідувати. Схема перескоку кожної пікомережі унікальна. Всі пристрої в пікомережі “скачуть” разом. При цьому майстер назначає підпорядкованим унікальний ID пристрою (48 бітів), за яким визначається схема перескоків і годинник (фаза в схемі

перескоку).

Зв'язок множини сумісно розташованих пікомереж у так звану *scatternet* здійснюється шляхом поділу спільного майстра або підпорядкованих: пристрій може бути підпорядкованим в одній пікомережі і майстром в іншій; пристрої перескокують з однієї пікомережі в іншу.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – стандарт безпроводного зв'язку, що поєднує кілька протоколів і має офіційне найменування IEEE 802.11 (Institute of Electrical and Electronic Engineers – міжнародна організація, що займається розробкою стандартів у галузі електронних технологій).

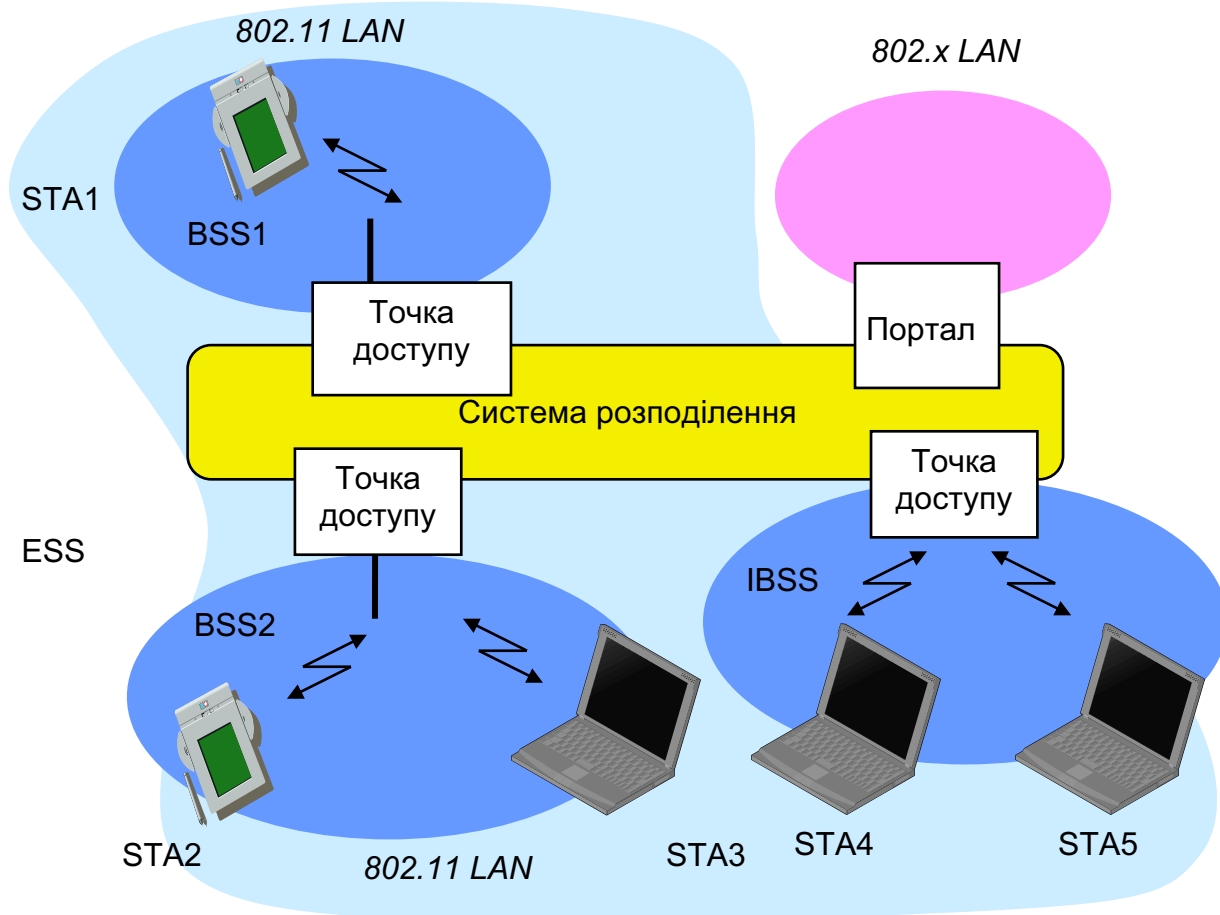


Рис. 6.7. Архітектура мережі 802.11

- У загальному випадку архітектура мережі 802.11 включає в себе:
- станцію (STA) – термінал з механізмом доступу до безпроводного середовища і радіозв'язком з точкою доступу;
 - базисний набір служб (BSS – *Basic Service Set*) – група станцій з однією радіочастотою (у випадку епізодичної мережі із забезпеченням прямого зв'язку в обмеженому діапазоні поданий незалежним набором базисних служб IBSS – *Independent BSS*);
 - точка доступу (AP – *Access Point*) – станція, інтегрована в безпроводну локальну обчислювальну мережу і систему розподілу;
 - портал – міст з іншими (кабельними) мережами;
 - система розподілу – мережа інтеграції в одну логічну мережу (EES – *Extended Service Set* – розширений набір служб) різних BSS.

Найвідомішим і найрозповсюдженішим на сьогоднішній день є протокол IEEE 802.11b (під скороченням Wi-Fi мають на увазі саме його), який визначає функціонування безпроводних мереж, в яких для передачі даних використовується діапазон частот від 2,4 до 2.4835 ГГц і забезпечується максимальна швидкість 11 Мбіт/с. Максимальна дальність передачі сигналу в такій мережі складає 100 м, однак на відкритій місцевості вона може досягати і великих значень (до 300...400 м, а при використанні антен – до 5 км). Незважаючи на зазначене стандартом обмеження зі швидкості, експлуатовані зараз пристрої забезпечують швидкість до 120 Мбіт/с.

Крім 802.11b існують ще безпроводний стандарт 802.11a, що використовує частоту 5 ГГц і забезпечує максимальну швидкість 54 Мбіт/с, а також 802.11g, що працює на частоті 2,4 ГГц і також забезпечує 54 Мбіт/с. Однак через меншу дальність, значно більшу обчислювальну складність алгоритмів і високе енергоспоживання ці технології поки не одержали великого поширення. Крім того, тепер ведеться розробка стандарту 802.11n, що дозволить забезпечити швидкості передачі до 320...540 Мбіт/с.

Контрольні запитання і вправи

1. Для чого призначена промислова мережа?
2. Які основні принципи побудови централізованих і розподілених мереж?
3. У чому полягає різниця між промисловими мережами та LAN-мережами?
4. Яка мережа вважається відкритою?
5. Назвіть основні мережні топології. У чому їх переваги та недоліки?
6. Порівняйте основні характеристики фізичних інтерфейсів.
7. Поясніть зміст централізованого та децентралізованого доступу до шини.
8. Які існують класи промислових мереж?
9. Із чим пов'язані використання та поширення безпроводного зв'язку у промисловій автоматизації?
10. Чим відрізняються «прозорі» та «непрозорі» для зовнішніх контролерів системи?
11. У чому полягають основні технології мобільного зв'язку GSM, SMS, GPRS?
12. У чому полягають основні обмеження технологій Bluetooth та Wi-Fi?

РОЗДІЛ 7



СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

7.1. Системи реального часу

Система реального часу (СРЧ) – система, правильність функціонування якої залежить не тільки від логічної коректності обчислень, але і від часу, за яке ці обчислення виробляються. Швидкодія СРЧ адекватна швидкості проходження фізичних процесів на об'єктах контролю або управління (маються на увазі процеси, безпосередньо пов'язані з функціями, виконуваними конкретною СРЧ). Проте належність системи до класу СРЧ не пов'язана з її швидкодією. СРЧ має зібрати дані, зробити їхню обробку відповідно до заданих алгоритмів і видати керуючий вплив за такий проміжок часу, що забезпечує успішне виконання поставлених перед системою задач. Відповідно швидкодія СРЧ має бути тим більше, чим більше швидкість проходження процесів на об'єкті контролю і управління.

Основними вимогами до СРЧ є такі:

- вимоги за часом;
- передбачуваність;
- можливість рівнобіжного виконання декількох задач;
- максимальний (а не середній) час відклику на подію;
- особливі вимоги з безпеки;
- можливість безвідмовної роботи протягом тривалого періоду часу.

Таким чином, СРЧ являють собою складні розподілені системи, які жорстко взаємодіють з апаратними засобами, виконання задач у яких залежить від часу.

У будь-якій системі реального часу можна виділити три рівні: апаратний, операційної системи і прикладний.

Тестування СРЧ являє собою складний процес. Однією з причин цього є те, що базові апаратні засоби в силу особливостей своєї реалізації можуть призводити до непередбачуваності поведінки досліджуваної системи, наприклад:

- конвеєрна обробка в процесорі;
- використання кеш-пам'яті, яка викликає затримки різної тривалості при виконанні доступу до відсутніх у ній даних;
- стохастичний алгоритм вирішення конфліктів у методі CSMA/CD у Ethernet мережах і т. ін.

На прикладному рівні програмне забезпечення при виконанні прямо залежить від операційної системи, і у цьому випадку передба-

часться, що вона є *операційною системою реального часу* (ОСРЧ). Звичайно є ситуації, коли система реального часу може бути побудована без участі операційної системи. Однак використання ОСРЧ припускає забезпечення надійної роботи в реальному часі з програмами.

ОСРЧ можуть застосовуватися як програмна платформа не тільки в системах промислової автоматизації, але і у різних системах, що вбудовуються. **Система, що вбудовується**, – це обчислювальна система спеціального призначення, що знаходиться всередині пристрою або приладу, яким вона керує або контролює його роботу. Система, що вбудовується, має деякі обмеження і спеціально розробляється для виконання визначеного кола задач, що відрізняє її від користувальницького персонального комп'ютера. Прикладами систем, що вбудовуються, є: бортові комп'ютери (авіаційна і автомобільна техніка), портативні вимірювальні прилади, медичне устаткування, панельні комп'ютери, принтери, мережне устаткування, побутова електроніка, КПК, стільникові телефони. На відміну від ринку комп'ютерів, де домінує архітектура Intel/AMD x86, на ринку систем, що вбудовуються, подано значно більшу кількість процесорних архітектур, таких, як ARM, XScale, PowerPC, MIPS, x86, PIC, AVR, Coldfire/68k, 8051.

7.1.1. Класифікація і основні особливості СРЧ

СРЧ мають реагувати на різні типи внутрішніх і зовнішніх подій: періодичних і неперіодичних.

Залежно від цієї реакції розрізняють системи *твердого* та *м'якого* реального часу:

Системою **твердого** реального часу називається система, де нездатність забезпечити реакцію на які-небудь події в заданий час є відмовою і веде до неможливості вирішення поставленої задачі. При цьому час реакції в системах твердого реального часу має бути мінімальним. Більшість систем твердого реального часу є системами контролю і управління. Такі СРЧ складні в реалізації, тому що для них ставляться особливі вимоги в питаннях безпеки.

Системами **м'якого** реального часу називають системи, в яких можливі запізнення реакції на події стосовно регламентованого часу і це не є відмовою. При цьому виникає проблема визначення критеріїв успішності (нормальності) функціонування системи. Залежно від функцій системи це може бути максимальна затримка у виконанні яких-небудь операцій, середня своєчасність обробки подій і т.д.

СРЧ можна також розділити на системи *спеціалізовані* та *універсальні*.

Спеціалізованою СРЧ називається система, де конкретні часові вимоги визначені заздалегідь. Така система має бути спеціально спроектована для задоволення цих вимог.

Універсальна СРЧ має виконувати довільні (заздалегідь не ви-

значені) часові задачі без застосування спеціальної техніки. Розробка таких систем є найскладнішою задачею, хоча зазвичай вимоги, що ставляться до таких систем, м'якше, ніж вимоги для спеціалізованих систем.

7.1.2. Операційні системи реального часу. Архітектура ОСРЧ

Вимоги до ОСРЧ викладені в стандарті POSIX робочого комітету IEEE. Цей стандарт покликаний забезпечити переносність програм між різними платформами. Для цього стандартизують підтримку потоків і процесів, необхідні програмні інтерфейси, тайм-аути, управління перериваннями й ін.

Всі ОСРЧ є **багатозадачними** системами. Задачі (набір операцій, призначений для виконання логічно закінченої функції системи) поділяють між собою ресурси обчислювальної системи, в тому числі і процесорний час. Прийнято розрізняти два різновиди задач: процеси і потоки.

Відповідно багатозадачність реалізується через **багатопроцесність** і **багатопотоковість**.

Під процесом розуміють програмний модуль, який завантажується окремо (файл), що, як правило, під час виконання є власником ресурсів (наприклад, пам'ять, дані, дескриптори відкритих файлів), які не розділяються з іншими процесами. У рамках одного процесу виконуються один або кілька потоків. Вони спільно використовують ресурси процесу. Багатопроцесність в ОСРЧ має істотні недоліки, оскільки вимагає підтримки часу виконання для доступу до пам'яті, і, отже, при переключенні контекстів системі потрібно виконати додаткові дії. Багатопотоковість – це найбільш розповсюджений підхід при проектуванні систем реального часу, при якому ОСРЧ являє собою один процес, у рамках якого запущені кілька потоків. Недоліком багатопотоковості є можливість модифікації чужих даних якою-небудь задачею (через відсутність захисту). У зв'язку з цим в ОСРЧ існують засоби синхронізації, тобто засоби, що забезпечують задачам доступ до поділюваних ресурсів.

За своєю внутрішньою архітектурою ОСРЧ можна умовно розділити на монолітні ОС, ОС на основі мікроядра та об'єктно-орієнтовані ОС. Як уже вказувалося, в будь-якій СРЧ можна виділити три рівні: апаратний, операційної системи і прикладний.

ОСРЧ із *монолітною архітектурою* показана на рис. 7.1 і складається з монолітного ядра операційної системи (інтерфейс між програмами і ядром (API), власне ядро системи, інтерфейс між ядром і устаткуванням (драйвери пристроїв)).

Чіткої границі між ядром (kernel) і операційною системою немає. Розрізняють їх за набором функціональних можливостей.

Ядра надають користувачеві такі базові функції, як планування, синхронізація задач, міжзадачна комунікація, управління пам'яттю і т.д. Операційні системи на додаток до цього мають файлову систему, мережну підтримку, інтерфейс з оператором та інші засоби високого рівня.

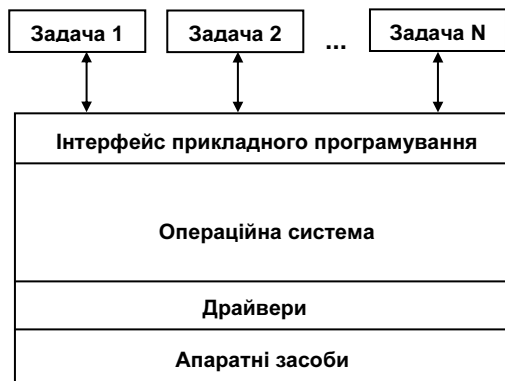


Рис. 7.1. ОСРЧ із монолітною архітектурою

Основною перевагою монолітної архітектури є її відносна швидкість роботи у порівнянні з іншими архітектурами (досягається це в основному шляхом написання значних частин системи на асемблері). Недоліки монолітної архітектури:

- системні виклики, що вимагають переключення рівнів привілеїв (від користувальницької задачі до ядра), мають бути реалізовані як переривання або спеціальний тип виключень. Це значно збільшує час їхньої роботи;
- ядро не може бути перервано користувальницькою задачею. Це може приводити до того, що високопріоритетна задача може не одержати управління через роботу низькопріоритетної;
- складність перенесення на нові архітектури процесора через значні асемблерні вставки;
- негнучкість і складність розвитку: зміна частини ядра системи вимагає його повної перекомпіляції.

Модульна архітектура (рис. 7.2) є спробою виключення інтерфейсу між програмами і ядром з метою забезпечення легкості модернізації системи і перенесення її на нові процесори.

Мікроядро вирішує задачі управління взаємодією частин системи (наприклад, менеджерів процесів і файлів) і забезпечує безперервність виконання коду системи (тобто відсутність переключення задач під час виконання мікроядра). Недоліки модульної архітектури фактично ті ж, що і у монолітної. Проблеми перейшли з рівня інтерфейсу на рівень мікроядра. Системний інтерфейс, як і раніше, не допускає переключення задач під час роботи мікроядра, тільки скоротився час перебування в цьому стані. Проблеми з переносністю мікроядра зменшилися (у зв'язку зі скороченням його розміру), але залишилися.

В об'єктній архітектурі інтерфейс між програмами і ядром відсутній взагалі (рис. 7.3). Взаємодія компонентів системи (мікроядер) і користувальницьких процесів здійснюється за допомогою звичайного виклику функцій, оскільки і система, і програми написані однією мовою (зазвичай C++). Це забезпечує максимальну швидкість системних викликів.

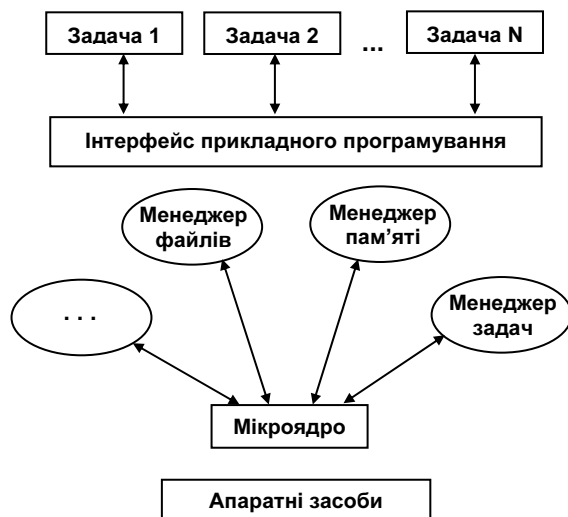


Рис. 7.2. ОСРЧ на основі мікроядра

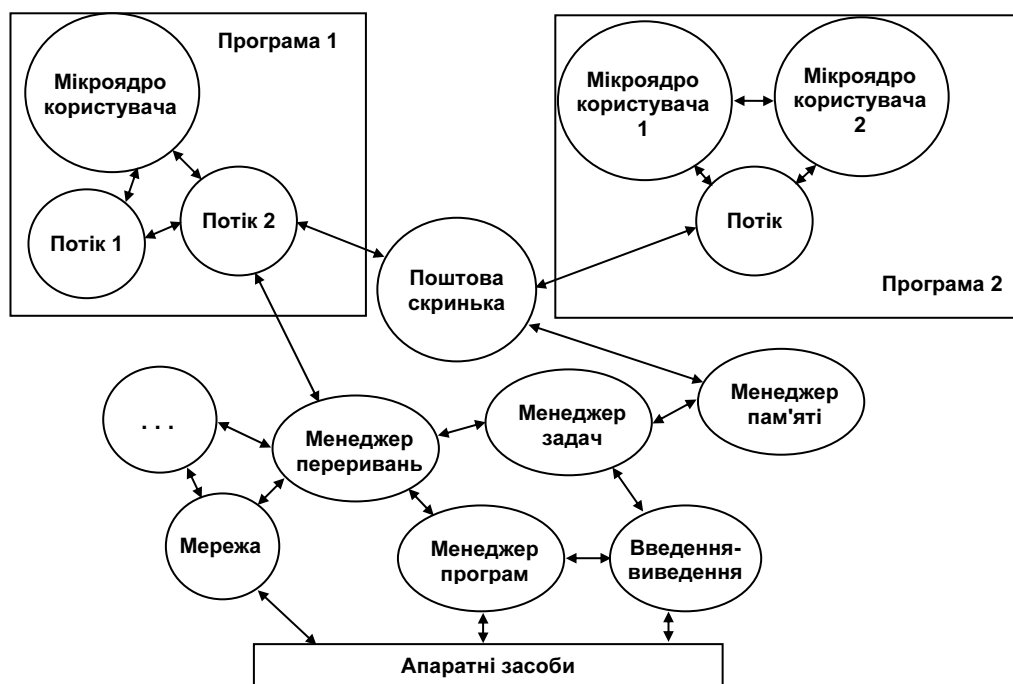


Рис. 7.3. Об'єктно-орієнтована ОСРЧ

Фактична рівноправність усіх компонентів системи забезпечує можливість переключення задач у будь-який час. Об'єктно-орієнтований підхід забезпечує модульність, безпеку, легкість модернізації та повторного використання коду.

На відміну від попередніх систем не всі компоненти самої операційної системи мають бути завантажені в оперативну пам'ять. Якщо мікроядро вже завантажено для іншої програми, то воно повторно не завантажувється, а використовується код і дані вже наявного мікроядра.

7.1.3. Основні особливості планування задач в ОСРЧ

Як правило, уся важлива з погляду ОСРЧ інформація про задачу зберігається в уніфікованій структурі даних – керуючому блоці (*Task Control Block, TCB*). У блоці зберігаються такі параметри, як ім'я і номер задачі, верхня та нижня границі стека, посилання на чергу повідомлень, статус задачі, пріоритет і т.п.

Пріоритет – це деяке ціле число, що привласнюється задачі й характеризує її важливість у порівнянні з іншими задачами, виконуваними в системі. Пріоритет використовується в основному планувальником задач для визначення того, яка з готових до роботи задач має одержати управління. Розрізняють системи з динамічною (пріоритет задач може змінюватися в процесі виконання) і статичною (пріоритет задач жорстко задається) пріоритетністю.

Контекст задачі – це набір даних, що містить усю необхідну інформацію для поновлення виконання задачі з того місця, де вона була раніше перервана. Часто контекст зберігається в *TCB* і містить у собі такі дані, як лічильник команд, покажчик стека, регістри *CPU* і *FPU* і т.д. Планувальник задач у разі потреби зберігає контекст поточної активної задачі і відновлює контекст задачі, призначеної до виконання. Таке переключення контекстів і є, по суті, основним механізмом ОСРЧ при переході від виконання однієї задачі до виконання іншої.

Стан (статус) задачі. З погляду ОСРЧ задача може знаходитися в декількох станах. Кількість і назва цих станів розрізняються від однієї ОС до іншої. Практично в будь-якій ОСРЧ завантажена на виконання задача може знаходитися, принаймні, у трьох станах:

- активна задача – це задача, виконувана системою в теперішній момент часу;
- готова задача – це задача, що готова до виконання і чекає своєї «черги» у планувальника;
- блокована задача – це задача, виконання якої припинено до настання певних подій. Такими подіями можуть бути звільнення необхідного для задачі ресурсу, надходження очікуваного повідомлення, завершення інтервалу чекання і т.д.

Порожня задача (Idle Task) – це задача, що запускається самою операційною системою в момент ініціалізації і виконується тільки тоді, коли в системі немає інших готових для виконання задач. Порожня задача запускається з найнижчим пріоритетом і, як правило, являє собою нескінченний цикл «нічого не робити». Наявність порожньої задачі

надає операційній системі зручний механізм відпрацьовування ситуацій, коли немає жодної готової до виконання задачі.

Багаторазовий запуск задач. Як правило, багатозадачні ОС дозволяють запускати кілька копій однієї і тієї ж задачі. При цьому для кожної такої копії створюється свій *TCB* і виділяється своя область пам'яті. З метою економії пам'яті може бути передбачено спільне використання того самого коду, що виконується, для всіх запусчених копій. У цьому випадку програма має забезпечувати повторне входження (реентерабельність). Крім того, програма не повинна використовувати тимчасові файли з фіксованими іменами і має коректно здійснювати доступ до глобальних ресурсів.

Реентерабельність (повторне входження) означає можливість без негативних наслідків тимчасово перервати виконання якої-небудь функції або підпрограми, а потім викликати цю функцію або підпрограму знову. Окремим виявленням реентерабельності є рекурсія, коли тіло підпрограми містить виклик самої себе.

Важливою частиною будь-якої ОСРЧ є **планувальник** задач, чия функція полягає в тому, щоб визначити, яка з задач має виконуватися в системі в кожний конкретний момент часу.

До основних методів планування зазвичай відносять:

- циклічний алгоритм (*round robin*);
- поділ часу з рівнодоступністю (*time sharing with fairness*);
- кооперативна багатозадачність.

Циклічний алгоритм простий у використанні і забезпечує мінімальні розміри коду і даних, однак у ньому відсутня пріоритетність і черги.

Алгоритм поділу часу реалізується в такий спосіб: кожній задачі приділяється певна кількість квантів часу, протягом яких задача може монополювати процесорний час. Після того, як заданий інтервал часу минає, управління передається наступній готовій до виконання задачі, що має найвищий пріоритет. Та, в свою чергу, виконується протягом відведеного для неї проміжку часу, після чого все повторюється в стилі *round robin*. При цьому реалізується принцип адаптивної пріоритетності, коли пріоритет задачі, що виконується занадто довго, поступово зменшується, дозволяючи менш пріоритетним задачам одержати свою частку процесорного часу. Цей алгоритм застосовується головним чином у багатокористувальницьких системах і рідко – в ОСРЧ.

В алгоритмі **кооперативної багатозадачності** задача, що одержала управління, виконується доти, доки вона сама зі своєї ініціативи не передасть управління іншій задачі. По суті це продовження ідеології *round robin*, і в чистому вигляді вона мало застосовується в ОСРЧ.

Найчастіше використовуваний в ОСРЧ принцип планування – **пріоритетна багатозадачність з витисненням**. Він полягає в тому,

що високопріоритетна задача, як тільки для неї з'являється робота, негайно перериває (витісняє) низькопріоритетну.

Однак, якщо в статичних системах усі задачі та їхні пріоритети заздалегідь визначені, то в динамічних системах набір виконуваних задач, їхні пріоритети і навіть алгоритми планування можуть змінюватися в процесі функціонування (наприклад, кожна задача може брати участь у кожному з трьох алгоритмів планування або їхньої комбінації).

Крім того, пріоритети теж можна призначати по-різному. У загальному випадку алгоритми планування мають відповідати критеріям оптимальності функціонування системи.

Для систем жорсткого реального часу такий критерій очевидний – «завжди і усе робити вчасно». Для систем м'якого реального часу це може бути, наприклад, мінімальне максимальне запізнювання або середньозважена своєчасність завершення операцій.

Залежно від критеріїв оптимальності можуть застосовуватися алгоритми планування задач, відмінні від розглянутих. Наприклад, може виявитися, що планувальник має аналізувати момент видачі критичних за часом керуючих впливів і запускати на виконання ту задачу, що відповідає за найближче з них (алгоритм *earliest deadline first* – *EDF*).

7.1.4. Механізми синхронізації в ОСРЧ

Хоча кожна задача в системі, як правило, виконує яку-небудь окрему функцію, часто виникає необхідність в узгодженні або **синхронізації** дій, виконуваних різними задачами. Така синхронізація необхідна в основному в таких випадках:

- функції, виконувані різними задачами, пов'язані одна з одною (якщо одна задача підготовляє вихідні дані для іншої, то остання не виконується доти, доки не одержить від першої задачі відповідного повідомлення);
- необхідно упорядкувати доступ декількох задач до поділюваного ресурсу;
- необхідна синхронізація задачі із зовнішніми подіями (як правило, з використанням механізму переривань);
- необхідна синхронізація задачі за часом.

Взаємне узгодження задач за допомогою повідомлень є одним із найважливіших принципів ОСРЧ. При цьому використовують такі поняття, як *повідомлення (message)*, *поштова скринька (mail box)*, *сигнал (signal)*, *подія (event)*, *проксі (proxy)* і т.д. Той самий термін для різних ОСРЧ може позначати різні поняття.

Повідомлення – будь-який механізм явної передачі інформації від однієї задачі до іншої. Обсяг інформації, переданої в повідомленні, може змінюватися від одного біта до всієї вільної ємності пам'яті системи. У багатьох ОСРЧ компоненти операційної системи також, як і

користувальницькі задачі, здатні приймати і передавати повідомлення. Повідомлення можуть бути *асинхронними* (доставка повідомлень за задачі виробляється після того, як вона в плановому порядку одержить управління) і *синхронними* (циркуляція повідомлень безпосередньо впливає на планування задач). Наприклад, задача, що послала яке-небудь повідомлення, негайно блокується, якщо для продовження роботи їй необхідно дочекатися відповіді, або якщо низькопріоритетна задача посилає високопріоритетній задачі повідомлення, якого остання чекає, то високопріоритетна задача, якщо звичайно використовується пріоритетна багатозадачність з витисненням, негайно одержить управління.

Іноді повідомлення передаються через буфер певного розміру – *поштова скринька*. При цьому, як правило, нове повідомлення затирає старе, навіть якщо останнє не було оброблено.

Однак найчастіше використовують принцип, коли кожна задача має свою чергу повідомлень, у кінець якої ставиться будь-яке знову отримане повідомлення. Стандартний принцип обробки черги повідомлень за принципом FIFO не завжди оптимально відповідає поставленій задачі. У деяких ОСРЧ передбачається така можливість, коли повідомлення від високопріоритетної задачі обробляється в першу чергу (у цьому випадку говорять, що повідомлення успадковує пріоритет задачі, що його послала).

Повідомлення може містити як самі дані, призначені для передачі, так і покажчик на такі дані. В останньому випадку обмін може вироблятися за допомогою поділюваних областей пам'яті, поділюваних файлів і т.д.

Ресурс – це загальний термін, що описує фізичний пристрій або область пам'яті, що можуть одночасно використовуватися тільки однією задачею. Іноді може виникнути ситуація, коли одна задача невчасно перериває іншу, від якої залежить правильність виконання вихідної задачі (наприклад задача, що витісняється, збирає інформацію, що використовує задача, яка витісняє). У результаті може виникнути серйозна помилка. Згадані проблеми обумовлені *часозалежними помилками* (*time dependent error*), або *гонками* і характерні для багатозадачних ОС, що застосовує алгоритми планування з витисненням.

Помилки, обумовлені гонками, характерні для роботи з будь-якими ресурсами, доступ до яких мають кілька задач, і відбуваються тільки в результаті збігу визначених умов, а тому з трудом виявляються на етапі налагодження.

Можливі шляхи вирішення цієї проблеми:

1. Не використовувати алгоритм планування задач з витисненням. Однак це рішення не завжди прийнятне.
2. Застосовувати спеціальний сервер ресурсу, тобто задачу, відповідальну за упорядкування доступу до ресурсу. У цьому випадку запит

на зміну значення глобальних даних посилається цьому серверу у вигляді повідомлення. Аналогічний підхід використовують і для фізичних пристроїв. Так, наприклад, задача може послати дані на друк у вигляді повідомлення, спрямованого до сервера принтера.

3. Заборонити переривання на час доступу до поділюваних даних. Це кардинальне, але не найкраще рішення в ОСРЧ.

4. Використовувати для упорядкування доступу до глобальних даних *семафори*. Найбільш часто застосовуване рішення, що, однак, може призвести в деяких випадках до *інверсії пріоритетів*. У найпростішому випадку семафор являє собою байтову змінну, яка набуває значення 0 або 1. Задача перед тим, як використовувати ресурс, захоплює семафор, після чого інші задачі, що потребують той же ресурс, мають чекати доти, доки семафор (ресурс) звільниться. Існують так звані рахункові семафори, де семафор являє собою лічильник. Припустимо, що в нас є N однакових ресурсів (наприклад, принтерів). Використовуючи семафор з ініціалізованим значенням N , можна зробити синхронізацію доступу набору задач до групи з N ресурсів.

Критичними секціями називаються фрагменти коду програм, де відбувається звертання до поділюваних ресурсів. Оскільки процеси зазвичай не мають доступу до даних один одного, а ресурси фізичних пристроїв, як правило, керуються спеціальними задачами-серверами (драйверами), найбільш типова ситуація, коли гонки за доступ до глобальних змінних влаштовують різні потоки, що виконуються в рамках одного програмного модуля. Для того, щоб гарантувати, що критична секція коду виконується в кожен момент часу тільки одним потоком, використовують механізм взаємовиключного доступу, або ***мутексів (Mutual Exclusion Locks – Mutex)***. Практично мутекс являє собою різновид семафора, який сигналізує іншим потокам, що критична секція коду кимось уже виконується.

Якщо мутекс захоплений, то потік, що намагається ввійти в критичну секцію, блокується. Після того, як мутекс звільняється, один із потоків, що стоять у черзі (якщо такі накопичилися), розблоковується і одержує можливість доступу до глобального ресурсу.

У боротьбі за ресурси можуть виникнути конфлікти – смертельне захоплення та інверсія пріоритетів.

Смертельне захоплення (deadlock). Зазвичай побічні ефекти цієї ситуації називаються «зациклення», або «зависання». А причина цього може бути досить проста – «задачі не поділили ресурси». Нехай, наприклад, *Задача А* захопила ресурс клавіатури і чекає, коли звільниться ресурс дисплея, а в цей час *Задача В*, встигнувши захопити ресурс дисплея, чекає тепер, коли звільниться клавіатура. У таких випадках рекомендується дотримуватися тактики «або все, або нічого». Іншими словами, якщо задача не змогла одержати всі необхідні для подальшої роботи ресурси, вона має звільнити все, що вже захопле-

но, і повторити спробу тільки через певний час. Іншим рішенням, що вже згадувалося, є використання серверів ресурсів.

Інверсія пріоритетів (priority inversion). Як уже відзначалося, алгоритми планування задач (управління доступом до процесорного часу) мають відповідати методам управління доступом до інших ресурсів, а всі разом – відповідати критеріям оптимального функціонування системи. Ефект інверсії пріоритетів є наслідком порушення гармонії в цій області. Ситуація тут схожа на *смертельне захоплення*. Уявімо, що в нас є високопріоритетна *Задача А*, середньпріоритетна *Задача В* і низькопріоритетна *Задача С*. Нехай у початковий момент часу *Задачі А* і *В* блокувані в чеканні якої-небудь зовнішньої події. Припустимо, що в результаті цього одержала управління *Задача З* і захопила *Семафор А*, але не встигла його віддати, як була перервана *Задачею А*. У свою чергу, *Задача А* при спробі захопити *Семафор А* буде блокувана, тому що цей семафор вже захоплений *Задачею С*. Якщо до цього часу *Задача В* знаходиться в стані готовності, то управління після цього одержить саме вона, оскільки має більш високий, ніж у *Задачі З*, пріоритет. Тепер *Задача В* може забирати процесорний час, а ми одержуємо ситуацію, коли високопріоритетна *Задача А* не може функціонувати через те, що необхідний їй ресурс зайнятий низькопріоритетною *Задачею С*.

Синхронізація задач із зовнішніми подіями зазвичай реалізується з використанням апарата переривань, як найбільш ефективним методом взаємодії із зовнішнім світом (у порівнянні з методом опитування). При цьому основними тенденціями є такі:

- спроба забезпечити максимально швидко і детерміновану реакцію системи на зовнішню подію;
- прагнення досягти мінімально можливих періодів часу, коли в системі заборонені переривання;
- підпрограми обробки переривань виконують мінімальний обсяг функцій за максимально короткий час. Це зумовлено декількома причинами. По-перше, не всі ОСРЧ забезпечують можливість «витиснення» під час обробки підпрограм переривання. По-друге, пріоритети апаратних переривань не завжди відповідають пріоритетам задач, з якими вони пов'язані. По-третє, затримки з обробкою переривань можуть призвести до втрати даних.

Як правило, закінчивши необхідні дії, підпрограма обробки переривань генерує в тій чи іншій формі повідомлення для задачі, з якою це переривання пов'язане, і негайно повертає управління. Якщо це повідомлення привело задачу в розряд готових до виконання, планувальник залежно від використовуваного алгоритму і пріоритету задачі приймає рішення про те, чи необхідно негайно передати управління задачі, що одержала повідомлення. Це усього лише один із можливих сценаріїв, тому що кожна ОСРЧ має свої особливості при обробці пе-

перивань. Крім того, свою специфіку може накладати використовувана апаратна платформа.

Синхронізація задач за часом виконується з використанням спеціального апаратного засобу, називаного *таймером*. Як правило, в ОСРЧ задається еталонний інтервал (квант) часу, що іноді називають *тиком (tick)* і який використовується як базова одиниця виміру часу. Розмірність цієї одиниці для різних ОСРЧ може бути різною, як, утім, різними можуть бути набір функцій і механізми взаємодії з таймером. Функції щодо роботи з таймером використовують для припинення виконання задачі на якийсь час, для запуску задачі у визначений час, для відносної синхронізації декількох задач за часом і т.д. Безліч задач одночасно можуть запросити сервіс таймера, тому якщо для кожного такого запиту використовується елемент у таблиці часових інтервалів, то накладні витрати системи з обробки переривань від апаратного таймера ростуть пропорційно розмірності цієї таблиці і можуть стати неприпустимими. Для вирішення цієї проблеми можна замість таблиці використовувати зв'язний список і алгоритм так званого диференціального таймера, коли під час кожного тика зменшується тільки один лічильник інтервалу часу.

7.1.5. Загальна характеристика сучасних ОСРЧ

Зараз існує більше 100 комерційних ОСРЧ. Усю різноманітність ОСРЧ можна розділити на три основних класи: виконавчі системи реального часу, ядра реального часу і різного роду модифікації ОС загального призначення.

Виконавчі системи реального часу мають високу швидкість, малий час реакції, є досить компактними, однак мають значну вартість. Системи розробки і виконання чітко розмежовані по платформах. Найбільш характерний приклад виконавчої ОСРЧ – VxWorks (*Wind River Systems, Inc.*).

ОСРЧ другого класу містить монолітне ядро, в якому реалізовані всі механізми реального часу. Характерна риса таких ОСРЧ – висока масштабованість: на їхній основі можна будувати як прості і компактні, так і великі системи реального часу. Представниками ОС цього класу є OS-9 і QNX (*QNX Software System Ltd.*, Канада).

ОСРЧ третього класу представлені двома типами систем. Перший – це перероблені (на рівні ядра) системи загального призначення (Lynx OS), для яких характерний більший обсяг і більший час реакції на зовнішні події. Другий тип утворюють розширення реального часу для ОС загального призначення, що дозволяють використовувати останні як повнофункціональні ОСРЧ.

ОС загального призначення самі по собі практично не придатні для цілей управління в реальному режимі часу. Однак при розробці деяких таких систем (Windows NT/2000) спочатку закладалися елеме-

нти реального часу, що дозволяють при відповідній доробці використовувати ці ОС як ОСРЧ. Відомі дві групи розширень. Перша фактично припускає співіснування на одному обчислювальному пристрої двох операційних систем, причому додатково встановлене ядро реального часу займає ведуче положення, а базова ОС розглядається як найнижкопріоритетніша задача (Falcon, RadiSys). Друга група розширень основана на переробці компонента HAL (*Hardware Abstraction Level*) Windows NT, що визначає характеристики ОС щодо обробки переривань (RTX, VenturCom Inc.).

Проте, якщо реальний час для системи не настільки критичний, Windows NT можна використовувати і без зазначених розширень внаслідок її правильного настроювання і грамотного використання механізмів міжзадачної взаємодії.

Дамо короткий опис деяких операційних систем реального часу.

QNX Neutrino RTOS v6.2 має клієнт-серверну архітектуру, що складається з мікроядра і згрупованих навколо нього взаємодіючих процесів. Розширення функцій на відміну від ОС QNX призвело до збільшення розміру мікроядра з 10 до 28 Кбайт. У QNX Neutrino ядром обробляються тільки базові примітиви ОС (нитки, сигнали, передача повідомлень, синхронізація, планування, таймер). Всі інші компоненти – драйвери, файлові системи, стеки протоколів, прикладні програми – виконуються поза межами ядра як окремі процеси, кожний у своєму захищеному адресному просторі, що автоматично забезпечує відмовостійкість системи.

Як основний засіб взаємодії всі компоненти QNX Neutrino використовують єдиний і чітко детермінований механізм передачі повідомлень, що можуть вільно передаватися між вузлами обчислювальної мережі, надаючи прозорий доступ до будь-якого ресурсу, де б він не знаходився.

При передачі повідомлень між клієнтом і сервером QNX Neutrino використовує механізм пріоритету, керованого клієнтом (*client-driven priority*). Це означає, що серверний процес успадковує рівень пріоритету клієнтського процесу, що вимагає обслуговування. Коли обслуговування запиту клієнта завершено, серверний процес може відновити свій первісний рівень пріоритету. Якщо обслуговування вимагають декілька клієнтів одночасно, серверний процес приймає рівень пріоритету клієнтського процесу з найбільш високим пріоритетом. Це допомагає уникнути інверсії пріоритетів.

Процес (їх може бути 4095) визначає адресний простір, у якому будуть запущені нитки (до 32767 в одному процесі) і завжди містить, принаймні, одну нитку. Існує 63 унікальних рівні пріоритетів ниток, доступних програмам. Планувальник завдань керує нитками, використовуючи чергу з пріоритетами (FIFO), алгоритм round-robin або sporadic scheduling. Спорадичний (випадковий) розподіл є адаптивним: пріори-

тет нитки знижується, якщо вона вимагає занадто багато квантів часу центрального процесора. Після деякого часу існування з низьким пріоритетом (період поповнення) нитка знову набуває свого колишнього рівня пріоритету. Усі ці параметри (включаючи границі пріоритетів) можуть змінюватися для кожної нитки.

QNX Neutrino надає швидкий, передбачуваний час реакції, здійснюваний за рахунок планування, що витісняє, надмалих затримок обробки переривань, розподіленого спадкування пріоритетів і багатьох інших реалізованих у ній сучасних механізмів.

Існує графічна оболонка QNX Photon microGUI, що являє собою повнофункціональне і у той же час віконне середовище, що вбудовується, з розширюваною підсистемою мультимедіа і підтримкою апаратно-незалежних багат шарових дисплеїв. До її складу також входять шрифти, що масштабуються, і вбудована підтримка Unicode.

У QNX Neutrino є два середовища виконання Java, оптимізованих для QNX Neutrino: WebSphere Embedded Environment (стандарт Java Powered) і WebSphere Custom Environment.

Файлові системи вибирають із широкого спектра файлових систем, включаючи образну файловою систему, файловою систему в ОЗП або ППЗП Flash, файлові системи QNX, Linux, DOS (доступ до всіх носіїв інформації у форматі DOS), CD-ROM, DVD, NFS (доступ до різних типів видалених файлових систем), CIFS, пакетну файловою систему і файловою систему зі стиском.

Операційна система QNX Neutrino поєднує всю мережу персональних комп'ютерів у єдиний набір ресурсів з абсолютною прозорістю доступу до них. Вузли можуть додаватися до мережі й виключатися з неї, не впливаючи на цілісність системи. Програми можуть прозора взаємодіяти по резервованих мережних з'єднаннях: якщо одне з'єднання порушується, ОС автоматично перенаправляє мережний трафік по одному або декількох альтернативних маршрутах. Підтримується також балансування навантаження між усіма доступними з'єднаннями для збільшення пропускну здатності.

На відміну від ОС QNX, QNX Neutrino має ядро з підтримкою SMP – стандартне мікроядро можна замінити на SMP-сумісне, що надає справжню підтримку тісно зв'язаного SMP для багато процесорних плат.

QNX Neutrino надає як POSIX-сумісність (POSIX 1003.1-2003), так і власні API. API пристосовані для роботи із системами, основанийми на повідомленнях, як і архітектура самої операційної системи, і дозволяють повною мірою використовувати багатопотоковість, розширення реального часу і безліч інших опцій.

Розробниками пропонується професійний пакет QNX Momentics (*QNX Momentics Professional Edition*), що підтримує набір мов програмування (C, C++, C++, що вбудовується, або Java), інструментальних

ОС (Windows, Solaris або QNX Neutrino) і цільових процесорів (ARM, MIPS, PowerPC, SH-4, StrongARM, XScale або x86) і здатний істотно скоротити час розробки проекту поза залежністю від його масштабу і складності.

Операційна система реального часу **VxWorks** та інструментальне середовище **Tornado** призначені для розробки програмного забезпечення промислових систем і систем, що вбудовуються, працюючих у жорсткому реальному часі. Операційна система VxWorks є системою з крос-засобами розробки прикладного програмного забезпечення, тобто розробка ведеться на інструментальному комп'ютері (*host*) у середовищі Tornado для наступного виконання на цільовій машині (*target*) під управлінням VxWorks.

Базовими runtime-компонентами є: ОСРЧ VxWorks, що вбудовується; файлова система для флеш-пам'яті TrueFFS; графічна мультимедійна бібліотека WindML; бібліотека управління пристроями віртуальної пам'яті VxVMI. Операційна система VxWorks побудована, як і належить ОС жорсткого реального часу, за технологією мікроядра, тобто на нижньому рівні ядра, що не переривається, виконуються тільки базові функції планування задач і управління комунікацією/синхронізацією між задачами. Всі інші функції операційної системи більш високого рівня – управління пам'яттю, введенням/виведенням, мережні засоби, і т.д. - базуються на простих функціях нижнього рівня. Така ієрархічна організація дозволяє забезпечити швидкодію і детермінованість ядра, а також легко будувати необхідну конфігурацію операційної системи (*scalable*).

Основні параметри ядра VxWorks: кількість задач – необмежена; кількість рівнів пріоритетів задач – 256; планування задач – витиснення по пріоритетах і кругове; засоби міжзадачних комунікацій – семафори, сигнали, черги повідомлень, канали, сокети, видалений виклик процедур і поділювана пам'ять.

Компактна (75...200 Кбайт) бібліотека WindML призначена для побудови графічного і мультимедійного інтерфейсу комп'ютерів, що вбудовуються, які мають обмежений об'єм пам'яті.

VxWorks підтримує два види мультипроцесингу: слабкозв'язаний – через розподілені черги повідомлень і сильнозв'язаний – через об'єкти в поділюваній пам'яті.

Слабкозв'язаний мультипроцесинг через розподілені черги повідомлень реалізований у бібліотеці VxFusion, що поставляється як додатковий продукт. VxFusion застосовується для обміну між процесорами, що не мають загальної пам'яті (наприклад, між вузлами мережі). Сильнозв'язаний мультипроцесинг через об'єкти в поділюваній пам'яті реалізований у бібліотеці VxMP, що також поставляється як додатковий продукт. VxMP застосовують для обміну між процесорами, що мають загальну область пам'яті (наприклад, що знаходяться на

одній шині).

Файлова система TrueFFS призначена для емуляції жорсткого диска, що працює під управлінням файлових систем VxWorks: DOS-FS і NFS (*Network File System*).

Базові мережні засоби комплекту постачання VxWorks подані як стандартний стек TCP/IPv4. Як додаткові продукти поставляються: WindNet Router Stack – стек TCP/IP, оптимізований для маршрутизаторів рівня 3; WindNet IPv6 - двохранжимний стек IPv4/IPv6.

VxWorks підтримує протоколи маршрутизації RIP (*Routing Information Protocol*) і OSPF (*Open Shortest Path First*). Протокол RIP входить у базовий комплект постачання VxWorks, WindNet OSPF поставляється як додатковий продукт. Є HTTP-сервер, що вбудовується, і SNMP-агент для VxWorks, що підтримує протокол SNMP (*Simple Network Management Protocol*).

Крім того, VxWorks має мережні засоби для підключення до промислових мереж WindNet CAN (стек протоколу мережі CAN), WindNet DeviceNet (стек протоколу мережі DeviceNet), WindNet Ethernet/IP (стек протоколу мережі Industrial Ethernet), а також до корпоративних мереж WindNet DCOM (сполучне програмне забезпечення стандарту DCOM), WindNet OPC (OPC-сервер). Апаратнозалежні частини VxWorks (засоби портирування) BSP (*Board Support Package*) винесені в окремі модулі, для яких є пакет розробки.

Інструментальне середовище Tornado має відкриту архітектуру, що дозволяє іншим фірмам-виробникам інструментальних засобів розробки ПЗ реального часу інтегрувати свої програмні продукти з Tornado. Користувач також може підключати до Tornado свої власні спеціалізовані засоби розробки, а також розширювати можливості інструментальних засобів.

У стандартну конфігурацію інтегрованого середовища розробки програмного забезпечення реального часу Tornado входять: C/C++ компілятори та утиліти; дистанційний налагоджувальник рівня вихідної мови CrossWind; інкрементний завантажник; командний інтерпретатор; засоби конфігурації цільової системи; браузер об'єктів цільової системи; засоби управління проектом; симулятор операційної системи VxSim (моделює на інструментальній машині цільове мультитаздачне середовище VxWorks і host-target інтерфейс); динамічний аналізатор системних подій.

Трасування системних подій (переключення задач, запис у чергу повідомлень, встановлення семафора і т.д.) дозволяє вести динамічний аналізатор WindView, що відображає накопичені в буфері події на часовій діаграмі аналогічно екрану логічного аналізатора. Монітор даних StethoScore дозволяє накопичувати в буфері динамічні зміни користувальницьких і системних змінних і відображати їх аналогічно екрану осцилографа.

Верифікаційний пакет CodeTEST призначений для тестування вбудованого ПЗ і виявлення динамічних помилок (run-time errors). CodeTEST складається з чотирьох компонентів: CodeTEST/Coverage - аналізатор тестового покриття, CodeTEST/Memory Allocation - аналізатор витоків пам'яті, CodeTEST/Performance - аналізатор продуктивності цільової мультизадачної системи і CodeTEST/Trace - трасувальник програмних модулів. Перші два являють собою програмні модулі, а останні – програмно-апаратні і використовують зонд, що підключається в сокет мікропроцесора цільової системи.

VxWorks AE 1.1 (є похідною від VxWorks 5.x) – це остання розробка компанії Wind River Systems в області ОСПЧ. У ній введена концепція захисту областей. Области захисту надають схему захисту пам'яті і тим самим є великим кроком вперед у порівнянні з попередніми версіями VxWorks, що використовували єдиний плоский простір пам'яті. Продуктивність у реальному часі VxWorks AE менше продуктивності QNX Neutrino.

Windows CE .NET є добре масштабованою. Система побудована з набору окремих модулів, кожний з яких надає специфічну функціональність. Деякі з цих модулів поділяються на компоненти, що можуть вибиратися роздільно (індивідуально). У своїй найбільш компактній конфігурації CE .NET вимагає приблизно 200 Кбайт оперативної пам'яті. Первинні модулі – це ядро, сховище об'єктів, графічна підсистема і компоненти комунікації. На додаток до первинних модулів також доступні інші, що надають підтримку мультимедіа, COM, консоль Windows CE і менеджер пристроїв.

Система має 256 рівнів пріоритетів, максимальне число потоків у процесі обмежено тільки кількістю доступної пам'яті. Windows CE може виконувати до 32 процесів одночасно. Політика планувальника – карусель з регульованими квантами часу, а при установці величини кванта в нуль потік виконується до завершення. Оскільки Windows CE .NET є продуктом Microsoft, вона поставляється з великим набором інструментів і продуктів для Internet: HTTP-сервер; Web-браузер (являє собою мініатюрну версію Internet Explorer); Telnet-сервер для віддаленого адміністрування пристроїв або для адміністрування пристроїв, що не мають дисплеїв; підтримку мережних протоколів для комунікації через Internet/intranet.

Microsoft надає інструменти розробки для двох категорій розробників: розробників платформ і розробників програм.

Розробники платформ використовують інтегроване середовище розробки Platform Builder для хоста на базі Windows NT, тоді як на цільовій машині виконується Windows CE з програмою (у реальному часі). Окремо від інструментів для розробки платформ також надає Embedded Visual Tools для розробки програм.

Platform Builder може бути використаний для створення користу-

вальницьких SDK (*Software Development Kit*) на базі ОС Windows CE, що дозволяє розробникам писати програми, виконувані на цільовій платформі. SDK – це набір бібліотек, заголовних файлів і файлів підтримки, що застосовуються розробниками для написання програм для конкретних платформ. SDK використовують разом з Embedded Visual Tools для створення, налагодження і запуску користувальницьких програм.

Windows XP Embedded являє собою спеціально дороблену версію ОС Windows XP, яка подана в компонентній формі та об'єднує новітні можливості для вбудовування, такі, як підтримка енергонезалежної пам'яті, можливість видаленого завантаження і завантаження в бездисковому режимі, різноманітні засоби видаленого управління. Windows XP Embedded реалізує можливості 32-розрядної обчислювальної архітектури, цілком захищену модель пам'яті і таких функцій, як відкрит драйверів пристроїв і підписування драйверів.

Основа на тому ж вихідному коді, що і Windows XP Professional, Windows XP Embedded дає можливість розробникам вибирати конфігурацію більш ніж з 10 000 унікальних компонентів, досягаючи оптимальної продуктивності в пристроях обмеженого розміру при швидкому створенні надійних пристроїв, що вбудовуються.

Windows XP Embedded містить набір засобів Windows Embedded Studio, використовуваний для створення конкретного образу операційної системи, оснований на апаратно-програмних вимогах користувача. Для того, щоб досягти високого ступеня модульності, Windows XP Embedded розділена на чітко визначені одиниці функціональності, називані компонентами. Кожен компонент включає в себе дані, що дозволяють користувачеві поєднувати його з іншими компонентами з метою побудови конкретного виконавчого образу ОС відповідно до вимог сценарію роботи системи, що вбудовується.

Windows Embedded Studio містить: Target Designer (створення, налаштування і збирання завантажувального образу операційної системи); Component Designer (створення або зміна компонентів); Target Analyzer (аналіз складу цільового устаткування і створення файла для імпортування в програми Target Designer і Component Designer); Component Database (база даних компонентів); Component Database Manager (засіб для управління базою даних компонентів). Windows Embedded Studio дозволяє визначати додаткові компоненти, що описують прикладне ПЗ користувача і розширювальні можливості конкретного образу ОС. Основна особливість Windows XP Embedded полягає в тому, що дана технологія дозволяє створювати системи із заздалегідь визначеною функціональністю. Інтеграція набору необхідних для цього модулів надає можливість розробки компактних вбудованих рішень.

Операційна система Windows XP Embedded перевершує варіан-

ти, що вбудовуються, ОС Linux (Embedded Linux) у першу чергу за такими показниками:

- інтегрованість: наявність всеосяжного набору інструментальних засобів, що забезпечує прискорене конфігурування операційної системи і швидке створення нових програм;
- повнота: наявність випробуваної та надійної базової операційної системи;
- унікальність: пакет технологій, орієнтований на розробку пристроїв наступного покоління;
- сумісність: сумісність із широким спектром підтримуваних технологій Microsoft .NET програм і сервісів, у число яких входять усілякі пристрої, персональні комп'ютери, сервери і Web-програми.

Також варто згадати розробки фірми VenturCom Inc. – розширення реального часу **RTX** (*Real-Time Extensions*) для ОС Windows (Windows NT, NT Embedded, 2000, XP, XP Embedded).

RTX дозволяє створювати програми з детермінованим і дуже малим часом реакції на зовнішні події. Крім того, RTX забезпечує користувача засобами і утилітами для побудови і виконання програм реального часу разом із засобами для виміру і "тонкого" настроювання продуктивності як апаратних, так і програмних засобів. Розширення RTX глибоко інтегровано в ядро Windows і для забезпечення необхідних функцій використовує сервіс Windows і WIN32 API.

Остання версія RTX 6.0 містить такі компоненти:

- рівень апаратних абстракцій HAL реального часу (Real-Time HAL), що в основному визначає характеристики ОС щодо обробки переривань і «ізолює» апаратні переривання від ядра Windows;
- підсистему реального часу RTSS (Real-Time Subsystem);
- програмний інтерфейс розширень реального часу RTAPI (Real-Time Application Programming Interface);
- TCP/IP реального часу RT-TCP/IP, що забезпечує продуктивність реального часу для мережних підсистем;
- RTX USB, що забезпечує підтримку USB 1.1 і USB 2.0 у середовищі реального часу.

Розширені можливості управління дозволяють розробникам створювати і впроваджувати високопродуктивні відповідальні програми для операційних систем Windows.

7.2. Основні інформаційні технології інтеграції в АСУ ТП

Сучасні SCADA-системи підтримують різні технології, механізми доступу та інтеграції. Серед них DDE/NetDDE, COM/DCOM, OLE, ActiveX, OPC, ODBC, Web. Розробники сучасних SCADA-систем передбачають можливості:

- підключення до них програмних модулів OLE і ActiveX;
- обміну даними з різним устаткуванням через OPC і DDE;
- обміну з базами даних через ODBC (ODBC – *Open DataBase Connectivity* – введений Microsoft стандарт взаємодії з базами даних. Практично для будь-якої СКБД, що існує на дійсний момент, є відповідний драйвер ODBC. До числа таких СУБД входить MS SQL Server, Oracle, InterBase і ін.);
- взаємодії програмних компонентів SCADA-систем через OPC, COM/DCOM;
- надання реальних й історичних даних, а також візуалізація технологічного процесу через Internet.

7.2.1. Компонентні об'єктні моделі COM/DCOM

Основою багатьох нових компонентних технологій є модель **COM** (*Component Object Model*), запропонована Microsoft. Модель COM оперує об'єктами і регламентує їхню поведінку (об'єкт може бути створений, після чого він надає свою функціональність процесу, що його викликав, а після використання знищується).

Об'єкти COM надають свою функціональність через інтерфейси (*Interface*). Інтерфейси використовують після того, як вони опубліковані, і після цього їх не можна змінювати. Якщо необхідна нова версія інтерфейсу, видається новий інтерфейс при збереженні старого. Цим забезпечується сумісність при відновленні та модернізації об'єктів.

Саме інтерфейс, вірніше покажчик на нього, є тим, з чим працює викликаючий процес. Об'єкт може надавати кілька інтерфейсів. Щоб одержати покажчик на будь-який інтерфейс, потрібно скористатися функцією *QueryInterface* обов'язкового для всіх COM-об'єктів інтерфейсу *IUnknown*. Покажчик на цей інтерфейс передається ініціюючому процесу при створенні об'єкта.

Об'єкт COM є пасивною стороною. Він лише надає через інтерфейси свої функції. У цьому сенсі вживається термін **COM-сервер**. Запитуюча програма, відповідно, називається **COM-клієнт**. Але це не виключає того, що обидві програми одночасно можуть бути і COM-серверами, і COM-клієнтами.

Щоб створити об'єкт, потрібно знати, де він знаходиться. У Windows для цього використовують реєстрацію об'єктів у системному реєстрі. У реєстрі реєструються також інтерфейси й ін. При реєстрації об'єкт одержує унікальний ідентифікатор, названий GUID (*Globally Unique Identifier* – глобально унікальний ідентифікатор). Реєстрація робить доступною інформацію про розташування об'єктів усім програмам.

Об'єкти COM досить незалежні. Вони знаходяться поза програмою COM-клієнта і можуть бути запущені навіть на іншому комп'ютері. Однак різні програми Windows функціонують у своїх власних адресних

просторах. У COM обслуговування об'єктів здійснюється за допомогою спеціальних бібліотек, таких, як OLE32.DLL. З одного боку, ці бібліотеки надають функції для роботи з об'єктами. Наприклад, виклик *CoCreateInstance* створює об'єкт. З іншого боку, спеціальні компоненти, що активізуються, виконують диспетчерські функції, наприклад, упакування і передачу параметрів викликуваним методам об'єктів (*marshalling*). У зв'язку з цим згадаємо два важливих модулі: заступник (*proxy*) і заглушка (*stub*). Вони функціонують в адресному просторі COM-клієнта і COM-сервера відповідно і забезпечують прозорість викликів. COM-клієнт безпосередньо викликає функцію COM-інтерфейсу, що йому надає заступник. Заступник передає виклик заглушці через **RPC** (*Remote Procedure Call* – виклик видалених процедур). А заглушка безпосередньо викликає функцію COM-сервера. Таким чином, підтримуючі компоненти автоматизують роботу з COM-об'єктами і роблять її прозорою для COM-клієнта (з його погляду об'єкт знаходиться в його власному адресному просторі).

У моделі COM для організації міжпроцесної взаємодії на одній машині використовується механізм локального виклику процедури **LPC** (*Local Procedure Call*), побудований за аналогією з RPC.

Однак без мережних рішень не можна говорити про інтеграцію. У компонентних технологіях існує **DCOM** (*Distributed COM*) – розширення COM, що дозволяє одержувати доступ до об'єктів на інших комп'ютерах. Істотно те, що з погляду програмування нічого не змінюється. DCOM – це системний сервіс, що робить COM прозорим у локальних мережах. Коли клієнт і компонент знаходяться на різних машинах, DCOM замінює локальну міжпроцесну взаємодію мережним протоколом. У даному випадку виклик будь-якої функції об'єкта перехоплюється проху/stub DLL, що відіграє роль представника об'єкта в клієнта, що звернувся до нього. Проху/stub DLL упаковує параметри функції (*marshaling*) і передає виклик операційній системі, що (можливо, по мережі) доставляє виклик за призначенням, тобто змушує реальний об'єкт виконати задану функцію. Результат потім повертається (приблизно по тому ж ланцюжку) програмі-клієнту. Зручність використання DCOM полягає в тому, що програма-клієнт зовсім не зобов'язана знати, де реально знаходиться об'єкт, – про ступінь далекості об'єкта воно може судити тільки за збільшенням часу на виклик функції.

7.2.2. Динамічний обмін даними DDE

Технологія динамічного обміну даними **DDE** (*Dynamic Data Exchange*) побудована на основі архітектури передачі повідомлень Windows, що не дуже гнучка і не відрізняється гарними характеристиками продуктивності.

Використовуючи DDE, одні програми можуть посилати і приймати дані від інших програм. DDE забезпечує метод створення гарячих зв'язків «hot links», що дозволяють одній програмі інформувати інші програми про зміну даних. Обмін даними відбувається не безупинно, а лише за необхідністю. Це робиться для того, щоб зменшити потрібні ресурси. Ще одна важлива концепція, яка введена в DDE, – здатність одної програми виконати команду в іншій програмі. Завдяки цьому одна програма одержала можливість керувати іншою програмою. Пізніше ця концепція знайшла свій розвиток у ActiveX.

У DDE сервер керує обміном і переводом даних, а клієнт запитує або посилає дані. Структура адресації в DDE складається з трьох частин: сервісу (*Service*), теми (*Topic*) і елемента (*Item*), до яких здійснюється доступ. Сервіс – назва програми. Тема – визначає логічне (значеннєве) з'єднання між сервісом і програмою, що надає доступ до даних, описаних елементом. Елементом може бути будь-який тип даних.

Практично всі розробники SCADA-систем використовують DDE для обміну даними (механізм застосовується для одержання даних від технологічних процесів і для передачі керуючих впливів, а також для взаємодії з іншими підсистемами, наприклад з Microsoft Excel). SCADA-системи можуть бути як клієнтами, так і серверами.

У DDE підтримується три режими обміну: **ADVISE**, **POKE**, **REQUEST**. У режимі **ADVISE** сервер посилає значення елементів програми зі своєї ініціативи, а клієнт їх приймає в міру зміни. У режимі **POKE** клієнт керує змінними в DDE-сервері. У режимі **REQUEST** клієнт запитує дані в DDE-сервера (за одним запитом передається тільки одне значення).

7.2.3. Технологія ActiveX

Технологія OLE 1.0 (*Object Linking and Embedding*) стала першим кроком у напрямку створення документа або *контейнера*, що містить різні типи об'єктів. Перша версія OLE для зв'язку між клієнтом і компонентом використовувала апарат DDE (без технології COM).

OLE 1.0 дозволяла вбудовувати об'єкти в документ або зв'язувати їх з документом. OLE зіставляє з кожним об'єктом два основних типи даних: візуальні (*presentation data*) і внутрішні (*native data*). Об'єкт може бути зв'язаний з деяким документом або впроваджений у нього. *Зв'язування (linking)* – процес, при якому в документ включаються тільки візуальні дані і посилання на внутрішні дані, що залишаються зв'язаними з об'єктом-джерелом, розташованим в іншому місці. Як тільки програма обновляє об'єкт, він обновляється і у документі. Зв'язаний об'єкт діє так, що користувачеві здається, начебто він цілком включений у документ. *Впровадження (embedding)*, навпроти, приводить до фізичного включення в документ як візуальних, так і внутрішніх даних об'єкта. У результаті вся інформація, необхідна для реда-

гування цього об'єкта, виявляється в документі.

Об'єкти **ActiveX** базуються на технології COM, що швидше, гнучкіше і надійніше DDE. Первісною метою розробки COM було бажання зробити програмні модулі більш гнучкими і такими, що набудовуються, підтримавши концепцію зв'язування і впровадження об'єктів OLE. Об'єкти OLE 2.0 стали об'єктами COM. У OLE 2.0 введені важливі концепції: ідентифікатори GUID, Object Presentation і OLE Automation.

OLE Automation (також називаний ActiveX Automation) дозволяє програмам вставляти об'єкти в інші програми. OLE Automation уможливорює для об'єктів не тільки обмін даними і виконання команд в іншому об'єкті, але і визначення елементів даних і команд в іншому об'єкті.

OLE забезпечує стандартний метод ідентифікації, відображення і використання об'єктів, що дозволяє розробникам без знання інших програм створювати об'єкти, що можуть бути використані в тих же програмах.

Апарат OLE був розширений можливістю сповіщати програму-контейнер про події, що трапилися. Відповідний механізм, що розширив можливості взаємодії об'єкта і контейнера, був названий **OLE control** (OCX), або **ActiveX control**.

Існують три основних поняття, що визначають інтерфейс і можливості взаємодії об'єктів ActiveX з контейнерами: це **Properties** (властивості або дані), **Methods** (функції) і **Events** (події). Кожний з цих інтерфейсів доступний з ActiveX Automation.

Об'єкти ActiveX надають контейнеру (рис. 7.4) можливість доступу до даних через **Properties**. Ці дані можуть бути використані програмою. Прикладом типових властивостей багатьох об'єктів є використання шрифти для відображення, параметри кольору, розміри об'єкта. Модифікація таких даних приведе до зміни відображення об'єкта.

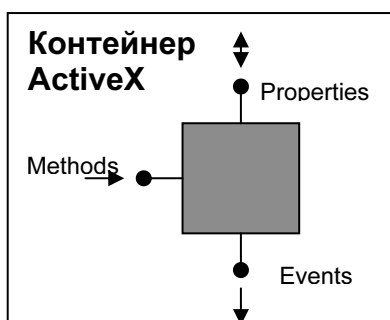


Рис. 7.4. Взаємодія об'єктів з контейнерами ActiveX

Methods – це функції, що надає об'єкт ActiveX (оперують в основному з даними цього об'єкта). Функції є іншим типом інтерфейсу об'єкта ActiveX і використовуються контейнером для управління об'єктом.

Events – це методи, що об'єкт ActiveX використовує, щоб повідомити контейнеру про те, що відбулася деяка подія. Контейнер може

потім інформувати про це користувача або автоматично реагувати на виниклу подію.

ActiveX об'єкт відіграє роль сервера стосовно контейнера, що є клієнтом. Об'єкти ActiveX можуть бути реалізовані в двох основних формах: як вбудований у процес (*in-process*) сервер і як сервер, що виконується в окремому процесі (*out-of-process*). Цим двом формам відповідають дві реалізації об'єктів ActiveX у вигляді динамічних бібліотек і у вигляді модулів, що виконуються.

Практично всі SCADA-системи підтримують OLE технологію для вбудовування власних ActiveX і OLE-об'єктів, розроблених третіми фірмами, що розширюють функціональні можливості SCADA-систем, а також служать для інтеграції компонентів пакета.

7.2.4. Технологія OPC

OPC (*OLE for Process Control*) – це стандарт взаємодії програмних компонентів SCADA/HMI, оснований на технологіях OLE, COM/DCOM. Стандарт OPC поданий набором стандартних об'єктів, методів і властивостей, що відповідають вимогам промислових додатків реального часу. Ці вимоги містять у собі стандартний механізм доступу до інформації, що утримується в пристроях і системах управління, ефективну передачу даних від устаткування до програм, здатність клієнта працювати з декількома серверами одночасно і підтримку унікальних конфігурацій серверів. Через інтерфейси OPC одні програми можуть читати або записувати дані в інші програми, обмінюватися подіями, оповіщати один одного про позаштатні ситуації (тривоги), здійснювати доступ до даних, зареєстрованих в архівах («історичних» даних). Ці програми можуть як розташовуватися на одному комп'ютері, так і бути розподіленими по мережі. Особливий клас OPC-програм являють собою OPC-сервери конкретних апаратних пристроїв, що поставляються виробниками або третіми фірмами. OPC-сервер створює свого роду абстракцію апаратури, дозволяючи будь-якому OPC-клієнту записувати і зчитувати дані з пристрою. Клієнт і сервер взаємодіють на основі стандарту OPC. Таким чином, будь-який OPC клієнт може обмінюватися з будь-яким OPC-сервером поза залежністю від специфіки пристрою, для якого розроблявся конкретний OPC-сервер. Пристрій, для якого є OPC-сервер, може використовуватися з будь-якою сучасною SCADA-системою.

Таким чином, OPC-взаємодія основана на клієнт-серверній схемі. OPC-клієнт (наприклад, SCADA), викликаючи певні функції об'єкта OPC-сервера, підписується на одержання певних даних з визначеною частотою. У свою чергу, OPC-сервер, опитавши фізичний пристрій, викликає відомі функції клієнта, повідомляючи його про одержання даних і передаючи самі дані. Таким чином, при OPC-взаємодії використову-

ються як прямі СОМ-виклики (від клієнта до сервера), так і зворотні (callback, від сервера до клієнта).

Стандарт OPC розроблявся спеціально для використання в промисловій автоматизації, тому він має цілком змістовну концептуальну сторону, тобто свою проблемно-орієнтовану модель взаємодії, що і реалізована через сукупність СОМ-інтерфейсів.

Стандарт складається з трьох основних специфікацій:

- доступ до даних реального часу (*Data Access*);
- обробка тривог і подій (*Alarms&Events*);
- доступ до історичних даних (*Historical Data Access*).

Насправді стандартів 10, однак тих, що відрізняються за функціональною ознакою 5, а до зазначених трьох на сьогоднішній момент додаються ще такі:

- обмін інформацією про можливості і стан устаткування (*Batch*);
- авторизація доступу до даних (*Security*).

OPC-серверів, відповідно, теж може бути кілька видів, хоча вони можуть і сполучатися.

OPC-сервери фізичних пристроїв зазвичай є тільки *серверами даних*. *Сервер тривоги* формує певні логічні змінні, названі станами (*conditions*), маючи як вихідну інформацію якусь змінну (тег), отриману від сервера даних. Стани змінюють своє значення, якщо змінна, наприклад, вийшла за припустимі границі. Про зміну стану сервер тривоги оповіщає клієнтів, посилаючи їм подію (тривогу), а клієнт повертає серверу підтвердження, що він тривогу сприйняв. Утім, можуть існувати стани, не пов'язані з яким-небудь параметром і керовані сервером тривоги за власним розсудом (наприклад, якщо сервер тривоги прямо взаємодіє з апаратурою, він може встановлювати або знімати стан несправності). *Сервери історичних даних* одержують від серверів дані параметри в реальному часі і архівують їх, а потім надають ці дані іншим програмам (наприклад, для побудови графіків трендів).

Центральне місце серед специфікацій OPC посідає доступ до даних реального часу **Data Access**.

Базовим поняттям цієї специфікації є *елемент даних (Item)*. Кожен елемент даних (тобто фактично - параметр технологічного процесу) має значення (*value*), час останнього відновлення або мітку часу (*timestamp*) і ознаку якості (*quality*), що визначає ступінь вірогідності значення. Значення може бути практично будь-якого скалярного типу (булеве, ціле, із плаваючою точкою і т.д.) або рядком (так званий OLE VARIANT). Якість – це код, що містить у собі грубу оцінку вірогідності параметра - не визначене (*uncertain*), гарне (*good*) і погане (*bad*), а на випадок поганої оцінки – ще і розшифровку, наприклад, несправність датчика (*qualsensorfailure*).

У версії OPC Data Access 3.0 у форматі даних крім існуючих форматів OLE був запропонований до використання механізм опису комплексних даних, що використовує XML. Для тегів, що мають складну комплексну структуру даних, можна задати шаблон XML, що визначає складові частини даних, а також їхні властивості (наприклад, можна визначити, для яких складових частин даних заборонена операція запису). Запропонований механізм, по суті, дозволяє створювати в OPC-сервері комплексні теги, що описують окремих об'єкт автоматизації (наприклад, заслінку) як єдине ціле, а також включати будь-які допоміжні параметри каналу безпосередньо в структуру даних.

Існує три основних способи одержання OPC-клієнтом даних від OPC-сервера:

- синхронне читання;
- асинхронне читання;
- підписка.

При *синхронному читанні* клієнт посилає серверу запит зі списком потрібних йому змінних і чекає, коли сервер його виконає. При *асинхронному читанні* клієнт посилає серверу запит, а сам продовжує працювати. Коли сервер виконав запит, клієнт одержує повідомлення (через інтерфейс відповідного СОМ-об'єкта, реалізованого в клієнті). У випадку *підписки* клієнт передає серверу список потрібних йому змінних, а сервер потім регулярно надсилає клієнту інформацію про змінні, що змінилися, з цього списку (через інтерфейс відповідного СОМ-об'єкта клієнта). Ці списки в термінології OPC називаються групами елементів (*OPC Group*) – наступне за ієрархією поняття. Група створюється OPC-сервером за вимогою клієнта, що потім може додати в групу елементи. Для групи клієнтом задається частота відновлення даних, і сервер намагається обновляти і передавати клієнту всі дані в групі із заданою частотою. Елементів, які окремо стоять поза групою, бути не може. Клієнт може створити для себе на сервері кілька груп, що розрізняються необхідною частотою відновлення. Група (крім так званих публічних груп) завжди створюється для кожного клієнта власна, навіть якщо склад елементів і частоти відновлення збігаються. Від'єднання клієнта призводить до знищення створених для нього груп.

Запис даних нічим не відрізняється від читання, за винятком того, що немає запису по підписці.

Елементи в групі – це свого роду клієнтські посилання на якісь реальні змінні (теги), що знаходяться на сервері або у фізичному пристрої. Поняття тега специфікацією OPC не визначається, але мається на увазі неявно. Елементи в групу клієнт додає по імені, і ці імена, зрозуміло, насправді є іменами відповідних тегів. Клієнт може або знати потрібні імена заздалегідь, або запросити список імен тегів у сервера.

Змінні в OPC-сервері можуть бути упорядковані або в простий список, або в дерево. Є відповідні інтерфейси для навігації по цьому дереву. Можна в будь-який момент запросити дерево змінних, підтримуваних OPC-сервером. Якщо устаткування допускає, дерево може змінюватися динамічно. Є механізм оповіщення завершення роботи OPC-сервера. Є можливість запросити інформацію про самий сервер, а також можливість запросити список зареєстрованих груп.

Стандарт OPC знаходить своє застосування на всіх рівнях АСУ підприємства. Кожний з рівнів може обслуговуватися OPC-сервером, поставляючи дані OPC-клієнту на більш високому або тому ж рівні.

Розглянемо можливі варіанти використання OPC:

1. Для устаткування польового рівня, керованого через драйвер на комп'ютері з Windows або іншою операційною системою, що підтримує COM/DCOM, поверх драйвера реалізується OPC-сервер. Заміна пристрою не потребує зміни інших програм: драйвер змінився, але OPC-інтерфейс поверх нього залишився колишній.

2. Є пристрій, керований через який-небудь мережний протокол. У цьому випадку відбувається реалізація OPC-сервера, що одержує дані за цим протоколом. Єдина особливість полягає в тому, що необхідно передбачити механізми відновлення зв'язку у випадку збоїв.

3. Більш складна схема, коли деякі керуючі програми працюють на комп'ютері, де не підтримується COM/DCOM. У цьому випадку можлива реалізація двокомпонентного OPC-сервера. На стороні ОС, яка не підтримує COM, встановлюється мережний модуль, що з однієї сторони пов'язаний з програмами, а з іншої сторони пов'язаний через мережу з OPC-сервером.

4. OPC-сервер як шлюз до мережі польової шини, наприклад, Profibus або Lonworks. На комп'ютері з ОС Windows буде встановлено адаптер fieldbus-мережі, а OPC-сервер буде працювати з цією мережею через драйвер адаптера. Мережа польової шини працює у жорсткому реальному часі, а OPC надає менш вимогливий шлюз до цієї мережі з програм більш високого рівня.

5. OPC для роботи з базами даних.

6. Технологія DCOM не працює в глобальних мережах. Тому для залучення до OPC-технології Internet-технологій можна використовувати таку схему – розширення Web-сервера є OPC-клієнтом, що збирає дані від OPC-серверів. А на стороні клієнтів запускається динамічна html- або xml-сторінка, що одержує дані від цього Web-сервера. Її можна зробити навіть OPC-сервером для інших програм.

7. OPC-сервери як шлюзи до CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*). CORBA дає можливість обмінюватися даними через Інтернет за протоколом IIOP (*Internet Inter-ORB Protocol*) і створює платформено-незалежну технологію взаємодії програм.

Корисність застосування OPC з погляду інтеграції досить прозо-

ра і впливає із самої сутності OPC. У першу чергу – це стандарт на інтерфейс обміну даними з промисловим устаткуванням, що надає такі переваги: якщо відбувається заміна якого-небудь компонента, то немає необхідності коректувати інше програмне забезпечення, тому що навіть при заміні драйвера поверх нього працює OPC; якщо додаються в систему нові програми, немає необхідності передбачати в них драйвери пристроїв, крім OPC-клієнта.

На сьогоднішній момент усі постачальники устаткування, включаючи польові шини, постачають свої продукти OPC-серверами. Усі постачальники програм для систем управління роблять свої продукти OPC-клієнтами, а в багатьох випадках і OPC-серверами. При цьому і ті, і інші реалізують усі специфікації і підтримують інтерфейси OPC. Виробники операційних систем підтримують у своїх продуктах технології COM/DCOM, а також надають сервісний інструментарій як для нього, так і для OPC. У даний час технологію COM/DCOM підтримує такі операційні системи: сім'я ОС Windows; більшість Unix-подібних ОС, включаючи Linux; ОС реального часу VxWorks.

Технологія OPC пропонує стандарти для інтеграції програм і обміну виробничими даними, в які закладені самі широкі можливості.

7.2.5. Web-технології

Глобальне настання Internet-технологій торкнулося і галузі промислової автоматизації. Протокол Ethernet TCP/IP практично затвердився як базовий для мережі на рівні підприємства (АСУП). На рівні АСУТП існує більше десятка мереж і польових шин, що конкурують за право вважатися основною. Однак загальною тенденцією в даний час є те, що наступним поколінням мереж промислової автоматики, інтегрованим з офісними мережами, стане Ethernet.

На шляху перетворення Ethernet у промислову шину стає кілька проблем, основними з яких є такі:

1. Необхідне створення єдиного "прикладного рівня", тобто при прийомі даних пристрої мають визначати їхній формат. Основні розробники промислових шин пропонують протоколи прикладних рівнів Ethernet TCP/IP: Modbus/TCP (протокол Modbus на основі TCP/IP), EtherNet/IP (об'єкти ControlNet/DeviceNet на базі TCP/IP), Foundation Fieldbus High Speed Ethernet і ProfiNet (Profibus на Ethernet). Для багатьох пристроїв вже розроблені профілі, що можуть бути перенесені в середовище Ethernet без особливих витрат. Обмін даними між верхніми і нижніми мережними рівнями може здійснюватися порівняно просто.

2. Необхідна розробка конекторів у промисловому виконанні.

3. Одним з основних вимог промислових систем є детермінізм. Звичайна мережа Ethernet не має таких властивостей, іншими слова-

ми, гарантія своєчасної доставки в традиційній Ethernet відсутня. Разом із тим вже існує ряд способів побудови цілком детермінованих Ethernet-систем.

4. У Ethernet не виробляється подача живильної напруги по кабелю, хоча з практичної точки зору це вигідно: менше кабелів, менше джерел живлення. Однак подача живильної напруги по мережному кабелю призведе до додаткових витрат, підвищення рівня перешкод і викликає деякі інші технічні проблеми.

З вирішенням основних проблем Ethernet ця мережа може перевершувати інші промислові ЛВС (LAN) і промислові шини (fieldbus) за рядом параметрів.

Сьогодні все частіше доступ до інформації в межах одного підприємства (мережі підприємств однієї компанії) здійснюється через корпоративну мережу Intranet. Якщо раніше ця мережа використовувалася в основному для доступу до даних АСУП, то сьогодні мова йде про використання Intranet для доступу до технологічних даних і процесів. Кожен працівник, будь то управляючий або фахівець з обслуговування, зможе запросити дані з виробництва, маючи у своєму розпорядженні комп'ютер зі стандартним браузером Internet. Як мережне середовище для промислових мереж Intranet диктує застосування Ethernet, а як інформаційне середовище все частіше використовуються Web-технології.

Розглянемо основні напрямки використання Web-технологій в промисловій автоматизації.

1. Моніторинг промислових процесів через Internet/Intranet

Практично у всіх SCADA-системах є набір компонентів для перегляду даних реального часу через Internet. Сервер бази даних реального часу SCADA-системи зазвичай є одночасно і Web-сервером, через який користувачі одержують доступ до технологічної інформації. Для динамічного формування Web-сторінок і організації інтерфейсу побудови запитів до даних є спеціалізований сервер програм. Усе, що потрібно для організації робочих місць даного типу, – машина з Web-браузером.

Будь-яка інформація або звіт, запитані користувачем у сервера БД, повертаються у вигляді готових документів. Для користувачів, яким потрібно спостерігати за ходом технологічного процесу в масштабі реального часу у вигляді мнемосхем і динамічних трендів, є спеціальний ActiveX-компонент. Компонент вбудовується в будь-які HTML-сторінки і активується всередині браузера.

У деяких SCADA-системах передбачені спеціалізовані Web-клієнти. Такі клієнтські модулі містять набір OLE-об'єктів, що настраюються користувачем, таких, як браузер, графіки, діаграми і елементи трендів. На відміну від стандартних Web-браузерів вони наділяються можливостями зв'язку відразу з декількома Web-серверами одно-

часно, а також проведення пошуку необхідної інформації на кожному з них. Клієнтський модуль може забезпечувати додатковий рівень безпеки, крім системи безпеки, наданої самим Web-сервером. У цьому випадку обмін даними буде вироблятися тільки після підтвердження пароля, введеного користувачем. Відповідно до встановлених для нього прав доступу він може або тільки контролювати процес, або також керувати ним.

2. Одержання даних з виробництва в реальному часі

Основним розв'язком для вирішення цієї задачі в Internet/Intranet є одержання даних з вбудованих Web-серверів. Будь-який пристрій, що має вбудований Web-сервер, не тільки може поставляти дані за запитом, але і сам може ініціювати передачу повідомлень (наприклад, по e-mail).

Саме таке рішення було вперше запропоновано компанією Schneider Electric – Web-сервер, вбудований у промисловий програмувальний контролер, може забезпечити даними реального часу будь-якого клієнта в межах мережі Intranet (у 1997 р. компанія випустила вбудовані Web-сервери для серії контролерів Quantum (*Embedded Web-servers*)). У цьому випадку частково або цілком відповідає необхідність у SCADA-системі, і безпосередні дані можуть бути отримані на різних рівнях АСУП без додаткових витрат усе через той же браузер. При цьому не має значення, на який комп'ютер, з якою операційною системою передаються дані. Web-технологія пропонує справжню універсальність і прозорість.

Безумовно, система SCADA/HMI на рівні АСУ ТП виконує ряд інших функцій і там, де це потрібно, без неї не обійтися. Але використання вбудованих Web-серверів являє собою набагато більш простий спосіб одержання даних реального часу, прозорий і легко доступний для будь-якої клієнтської програми.

3. Створення інформаційних порталів підприємства

Багато розробників систем промислової автоматизації пропонують комплексні рішення на базі сучасних Web-технологій. Це рішення полягає в тому, що створюється Web-портал для технологічних даних підприємства. Він дозволяє звертатися до поточних і архівних, детальних і агрегованих даних з будь-якого місця і у будь-який час, де може бути встановлено з'єднання з Інтернетом.

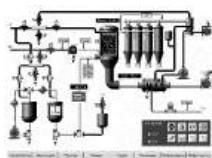
Цей програмний компонент дозволяє поміщати необхідну інформацію в готові звітні форми. Інформація може виводитися також у вигляді трендів, діаграм, графіків і таблиць. Кожна звітна форма в системі створюється автоматично, коли користувач вибирає дані для перегляду, що публікуються. У ту саму звітну форму можуть бути внесені дані самих різних типів, включаючи аларми, події, графіки та "миттєві знімки" стану системи. Визначивши для вибраної звітної форми відповідні права доступу, користувач може дозволити або заборонити звер-

татися до неї іншим користувачам системи. Перед початком роботи з порталом користувач у ньому реєструється. Після реєстрації допускається робота тільки з інформацією, що публікується, та вибраними наборами, для доступу до яких у користувача є відповідні права.

Web-портал зазвичай наділяється вбудованими модулями контролю і статистичного аналізу виробничої інформації, аналізаторами тривоги (алармів) для спостереження за подіями на виробництві. Таким чином, надається широкий спектр функцій для аналізу і відображення інформації, що дозволяє оперативно проводити діагностику і усунення причин виникнення проблемних ситуацій.

Контрольні запитання і вправи

1. Яку систему можна класифікувати як СРЧ?
2. На які типи можна поділити ОСРЧ за внутрішньою архітектурою?
3. Які основні особливості планування задач в ОСРЧ?
4. Які механізми синхронізації застосовують в ОСРЧ?
5. Які основні інформаційні технології інтеграції в АСУ ТП існують? Чим вони відрізняються?
6. З яких специфікацій складається стандарт OPC?
7. З чим пов'язано використання та поширення Web-технологій у промисловій автоматизації?



РОЗДІЛ 8

РОЗРОБКА АСУ ТП ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SCADA-СИСТЕМ

8.1. Сучасні SCADA-системи та їхні характеристики

Програмні продукти класу SCADA-систем широко представлені на світовому ринку. Найбільш розповсюджені з них:

- InTouch (*Wonderware*, США);
- iFIX (*Intellution*, США);
- Citect (*Ci technologies*, Австралія);
- Trace Mode (*AdAstrA Research Group*, Росія);
- Genesis (*Iconics*, США);
- SIMATIC WinCC (*Siemens*, Німеччина);
- Factory Link (*US Data Corp.*, США);
- Sitex (*Jade SoftWare*, Великобританія);
- Real Flex (*BJ Software Systems*, США).

Вибір SCADA-системи являє собою досить важку задачу, аналогічну пошуку оптимального рішення в умовах багатокритеріальності, при цьому до розгляду беруться три великі групи показників:

- технічні характеристики;
- вартісні характеристики;
- експлуатаційні характеристики.

Розглянемо основні *технічні* характеристики.

1. Програмно-апаратні платформи для SCADA-систем. Аналіз переліку таких платформ (апаратні – IBM PC, VAX й ін., програмні – DOS, MS Windows 98/NT/ME/2000/XP/2003, OS/2, UNIX, VMS, Linux, QNX й ін.) необхідний, оскільки показує, чи можлива реалізація тієї або іншої SCADA-системи на наявних обчислювальних засобах, а також дає оцінку вартості експлуатації системи. У SCADA-системах RealFlex і Sitex основу програмної платформи принципово складає операційна система реального часу QNX. Переважна ж більшість SCADA-систем реалізована на MS Windows платформах. Саме такі системи пропонують найбільш повні й легко нарощувані засоби HMI. Застосування ОСРЧ виявляється в основному у системах, що вбудовуються, де вони є дійсно потрібними.

2. Існуючі засоби мережної підтримки. Для ефективного функціонування в різномірному середовищі, але з високим ступенем інтеграції SCADA-система має забезпечувати і високий рівень мережної підтримки (робота в стандартних мережних середовищах (Ethernet, Arcnet та ін.) з використанням стандартних протоколів

(NetBIOS, TCP/IP і т.д.), а також підтримка найбільш популярних мережних стандартів із класу промислових інтерфейсів (PROFIBUS, CANBUS, LON, MODBUS і т.д.)). Ці вимоги у тому чи іншому ступені задовольняють практично всі розглянуті SCADA-системи, з тим лише розходженням, що набір підтримуваних мережних інтерфейсів є різним.

3. Вбудовані командні мови. Більшість SCADA-систем мають власні вбудовані мови високого рівня, VBasic-подібні мови, що дозволяють генерувати адекватну реакцію на події, що пов'язані зі зміною значення змінної, з виконанням деякої логічної умови, натисканням комбінації клавіш, а також з виконанням деякого фрагмента із заданою частотою відносно всієї програми або окремого вікна.

4. Підтримувані бази даних. Однією з основних задач систем диспетчерського контролю і управління є обробка інформації: збір, оперативний аналіз, збереження, обробка, пересилання і т.д. Багато SCADA-систем мають власні бази даних реального часу, надаючи можливості по взаємодії з іншими СКБД (Oracle, MS SQL Server та ін.), використовуючи механізми ODBC, OLE DB і т.д. Використання SQL-синтаксису – незалежність від типу бази даних. Таким чином, проекти SCADA-системи віртуально ізольовані, що дозволяє змінювати базу даних без серйозної зміни самої прикладної задачі, створювати незалежні програми для аналізу інформації, використовувати вже напрацьоване програмне забезпечення, що орієнтовано на обробку даних.

5. Графічні можливості. Функціонально графічні інтерфейси SCADA-систем схожі. У кожній з них існує графічний об'єктно-орієнтований редактор з певним набором анімаційних функцій, а також бібліотекою готових графічних елементів. Використовувана векторна графіка дає можливість здійснювати широкий набір операцій над вибраним об'єктом, а також швидко відновлювати зображення на екрані, застосовуючи засоби анімації.

6. Відкритість систем. Система є відкритою, якщо для неї визначені й описані використовувані формати даних і процедурний інтерфейс, що дозволяє підключити до неї зовнішні, незалежно розроблені компоненти.

7. Інтеграція з АСУП. Головний напрямок розвитку сучасних програмних технологій управління промисловим виробництвом – органічне сполучення на новому технічному рівні, у рамках єдиного інструментарію, ефективного управління промисловим процесом як таким і нерозривно пов'язаним із ним загальним бізнес-менеджментом підприємства.

SCADA-системи в переважній більшості відповідальні лише за той рівень промислової автоматизації, що пов'язаний з управлінням і

обробкою даних від різних датчиків і пристроїв введення-виведення, візуалізацією зібраної інформації та її архівуванням. Для аналізу виробництва в цілому, моделювання його окремих етапів, виявлення критичних ділянок і слабких ланок важливим є доступ до виробничої інформації на всіх рівнях у реальному часі. Для вирішення подібних задач автоматизації промислових підприємств у цілому на ринку з'явився ряд новітніх програмних комплексів, які виконують задачі інтеграції АСУ ТП з АСУП (модулі MES/EAM у складі SCADA-систем).

8. Розробка власних програмних модулів. Перед розробниками систем автоматизації часто встає питання про створення власних (не передбачених у рамках SCADA-систем) програмних модулів і включення їх у створювану систему автоматизації. Тому питання про відкритість системи є важливою характеристикою SCADA-систем. Фактично відкритість системи означає доступність специфікацій системних викликів, що реалізують той чи інший системний сервіс. Це може бути і доступ до графічних функцій, функцій роботи з базами даних і т.д.

9. Драйвери введення-виведення. Сучасні SCADA-системи не обмежують вибору апаратури нижнього рівня, тому що надають великий набір драйверів або серверів введення-виведення і мають добре розвинуті засоби створення власних програмних модулів або драйверів нових пристроїв нижнього рівня. Самі драйвери розробляються з використанням стандартних мов програмування. Питання, однак, полягає у тому, чи досить тільки специфікацій доступу до ядра системи, що поставляються фірмою-розробником у штатному комплекті, чи для створення драйверів необхідні спеціальні пакети, або ж, узагалі, розробку драйвера потрібно замовляти у фірми-розробника SCADA-системи.

10. Вбудовувані об'єкти ActiveX. Більшість SCADA-систем є контейнерами, що повідомляються ActiveX про події, що трапилися. Будь-які ActiveX-об'єкти можуть завантажуватися в систему розробки більшості SCADA-систем і використовуватися при створенні прикладних програм. Управління ActiveX-об'єктами здійснюється за допомогою даних, методів і подійних функцій, властивих вибраному об'єкту.

11. Розробки третіх фірм. Багато компаній займаються розробкою драйверів, ActiveX елементів та іншого програмного забезпечення для SCADA-систем. Цей факт дуже важливо оцінювати при виборі SCADA, оскільки це розширює галузь застосування системи непрофесійними програмістами (немає необхідності розробляти власні програми).

У табл. 8.1 наведені основні особливості, структура, а також можливості по інтеграції із системами АСУП класу ERP/MRP для найбільш популярних із сучасних SCADA-систем, поданих на ринку.

Таблиця 8.1

ОСНОВНІ МОЖЛИВОСТІ СУЧАСНИХ SCADA-СИСТЕМ

Особливості	Базова структура	Розширення MES/EAM
<p>Trace Mode 6 (SOFTWARE-SCADA/HMI-MES-EAM-HRM)/ AdAstra Reasearch Group Ltd., Росія</p> <ul style="list-style-type: none"> - інтегроване інструментальне середовище багатокористувальницької розробки (більше 10 редакторів); - єдиний проєкт для розподіленої АСУ (контроль цілісності, масштабованість, налагодження та діагностика в реальному часі); - автотобудова проєкту (каналів для ПЛК/ПЗО, зв'язків із серверами/OPC-серверами, імпорт/експорт бази каналів за ODBC); - бібліотеки драйверів до ПЛК/ПЗО (2087), алгоритмів обробки даних та управління (більше 150), графічних об'єктів (1116 зображень і 596 анімованих об'єктів), комплексні технологічні об'єкти; - повна підтримка всіх мов стандарту IEC-61131-3; - адаптивне регулювання (періодичне або безупинне підстроювання ПІД-регуляторів в автоматичному або напіваавтоматичному режимі); - потужні засоби налагодження (налагоджувальники компонентів проєкту, засоби налагодження і діагностики в режимі реального часу); - вбудована система горячого резервування (автоматичне резервування більшої кількості компонентів, контролери з подвійним і з потрібним резервуванням, діагностика вірогідності сигналів з датчиків, підтримка апаратного сторожового таймера й ін); - власний генератор звітів (формування документів в автоматичному безупинному режимі); - автодокументування проєкту (автоматична генерація повної звітної документації з проєкту АСУ ТП); - система безпеки (система паролів і прав різних груп користувачів, протоколювання доступу); - промислова база даних реального часу (СКБД реального часу SIAD/SQL 6 з функціями автоматичного відновлення uszkodжених архівів, динамічної оптимізації обсягу записуваної інформації в реальному часі, статистична обробка архівних даних); - відкритість і зв'язки з СКБД (DDE, OPC, SQL/ODBC, DLL, ActiveX) 	<p>TRACE MODE 6 інтегроване середовище для розробки і налагодження проєктів АСУ ТП і АСУП, що включає в себе редактори графічних екранних форм, програм на мовах FBD, SFC, LD, ST, IL, шаблонів документів, SQL-запитів, паспортів устаткування (EAM), персоналу (HRM), матеріальних ресурсів (MES).</p> <p>Серверні виконавчі модулі SCADA/HMI:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. RTM – монітор реального часу – основний сервер реального часу, що здійснює приймання даних з контролерів, плат введення/виведення і систем телемеханіки через вбудовані протоколи, драйвери, OPC- або DDE-клієнти (версії МРЧ: з автоматичним горячим резервуванням, адаптивним регулюванням, з вбудованим OPC-сервером, GSM-сервером, документуванням та ін.). 2. Глобальний сервер документування – призначений для підготовки документів довільної форми і будь-якої складності в реальному часі. 3. Виділений сервер промислової СКБД РЧ SIAD/SQL 6. 4. Глобальний ресстратор – виділений сервер історичного архіву. 5. Мікро TRACE MODE – виконавчі модулі реального часу для встановлення в контролери (версії МікроМРЧ: підтримуючі обмін через GSM-інтерфейс, комутуючу телефонну мережу, з адаптивним регулюванням, з автоматичним горячим резервуванням та ін.). <p>Клієнтський виконавчий модуль SCADA/HMI NetLink Light – графічна HMI-консоль для створення додаткових автоматизованих робочих місць операторів у розподіленій АСУ ТП для візуалізації технологічного процесу і супервізорного управління</p>	<p>Серверний виконавчий модуль MES/EAM/HRM Сервер T-FACTORY забезпечує:</p> <ul style="list-style-type: none"> - одержання в реальному часі інформації про стан матеріальних ресурсів, устаткування і персоналу підприємства (ручне введення, АСУТП, СКБД і т.д.); - формування і сіткове планування виробничих завдань; - забезпечення документообігу проходження завдань із затвердженням стадій відповідальним персоналом; - автоматичне генерування та відправлення виконанням замовлень на матеріали та наряд на роботи; - генерування на підставі регламентів EAM замовлень на матеріали та наряд на роботи з технічного обслуговування; - фіксація інформації про виконання виробничих завдань і робіт MES і EAM; - контроль відповідності часу і вартості плановим показникам MES і EAM; - автоматичний розрахунок матеріальних і енергетичних балансів між елементами технологічних ланцюжків MES; - розрахунок у реальному часі собівартості продукції на кожному технологічному етапі; - розрахунок у реальному часі статистичних параметрів MES і EAM; - ведення автоматичного обліку виконаних робіт; накопичування статистики виконання робіт, завантаження і простой персоналу та устаткування. <p>Клієнтський виконавчий модуль MES/EAM/HRM Консоль T-FACTORY – графічний клієнтський модуль MES/EAM/HRM, що робить візуалізацію даних, які надходять із серверів T-FACTORY і SCADA, і служить для створення додаткових автоматизованих робочих місць для керуючого персоналу і виконавців</p>

Продовження табл. 8.1

Особливості	Базова структура	Розширення MES/EAM
<p>Особливості</p> <ul style="list-style-type: none"> - комплексна архітектура автоматизації та інформаційної підтримки виробництва Arghest, що використовує загальну модульну модель проекту; - сервер промислових проектів Industrial Application Server, що реалізує масштабовану модель розподіленої обробки даних і економічну систему резервування; - підтримка розширених можливостей з нарощування ресурсів від 250 до 1 млн. точок введення/виведення; - самонастроювальний протокол зв'язку для передачі даних за низькошвидкісними каналами зв'язку; - групова робота над проектом прикладної системи (різні засоби подання системи – у вигляді взаємодії об'єктів, виробничої моделі і/або з погляду розгортання системи); - об'єктний підхід до розробки проектів з можливістю створення бібліотек шаблонів компонентів; - скриптова мова, що підтримує всі типи даних і скриптові функції мов VisualBasic.NET і Visual C.NET; - великий вибір серверів введення-виведення практично для всіх відомих контролерних пристроїв, а також використання стандартних засобів OPC, DDE, fastDDE і NetDDE; - спеціальні засоби захисту на рівні окремих об'єктів з поглядом як редагування програмного коду, так і зміни даних при виконанні програми; - набір засобів адміністрування (єдиний журнал подій, консоль управління системою, налагоджувальник) 	<p>Базова структура</p> <p>FactorySuite A² Wonderware, США</p> <p>InTouch 9.5 – HMI для візуалізації й управління виробничими процесами;</p> <p>IndustrialSQL Server – розширення MS SQL Server, що являє собою реляційну базу даних для збереження поточних та історичних даних для SCADA і даних виробничого процесу в реальному часі;</p> <p>Industrial Application Server – платформа розробки промислових проектів та організації диспетчерського управління (забезпечує збір даних у реальному часі, контроль подій і аварійних ситуацій, надає кошти обробки даних та інші можливості для розробки додатків на всіх рівнях підприємства);</p> <p>InBatch – система гнучкого управління процесами дозування і змішування, що дозволяє моделювати процеси в хімічній, харчовій та інших галузях, створювати рецепти, імітувати виконання рецептів, зіставляючи їх з моделлю, керувати реальним процесом, користуючись моделлю;</p> <p>InControl – інструментальна система програмування контролерів;</p> <p>Terminal Services For InTouch – забезпечує повний взаємозв'язок для клієнтських станцій з InTouch HMI на центральному сервері без локальної інсталяції;</p> <p>SuiteVoyager – інформаційний портал підприємства з Internet/Intranet візуалізацією та інструментами аналізу даних виробництва</p>	<p>ActiveFactory – аналіз даних і звітність у реальному часі;</p> <p>DT Analyst – відстеження простоїв і моніторинг виробництва;</p> <p>InTrack – система управління виробництвом, що дозволяє спостерігати і відслідковувати в реальному часі матеріально-технічні запаси, використання устаткування, визначати і моделювати виробничі процеси, контролювати виконання замовлень на продукцію;</p> <p>Avantis – система для управління основними фондами підприємства, що адаптується до умов і вимог підприємства (контроль виробничих фондів і ремонтних робіт – Maintenance; управління складськими запасами – Inventory; управління постачанням – Procurement)</p>

Продовження табл. 8.1
Розширення MES/EAM

Особливості	Базава структура CitectSCADA Control Instrumentation Technologies, Австралія	Розширення MES/EAM
<p>- відкрита клієнт-серверна архітектура; - режим розподіленої розробки проектів; - різноманітність підходів до розробки проектів; - просте нарощування додаткових вузлів проекту і можливість перерозподілу їхніх функцій; - власна мова програмування Cicode (40 операторів для управління алармами, 19 операторів для роботи з файлами, 18 SQL-функцій, 50 операторів для організації роботи з трендами, оператори для управління комунікаційними портами й ін.); - вбудовані механізми резервування (дублювання серверів введення/виведення, трендів, звітів і алармів); - вбудований ActiveX модуль аналізу даних технологічного процесу Process Analyst, що дозволяє подавати оперативну трендову, алармову "on-line" або історичну інформацію в єдиному вікні, тим самим звільняючи від розробки своїх власних аналітичних екранів</p>	<p>Citect Plant2Business Server – серверна платформа для управління даними на підприємстві (уніфікує збереження даних, публікацію й аналіз між HMI, SCADA і базами даних, може взаємодіяти з базами даних Oracle, SQL Server). Для збереження всіх конфігураційних, технологічних даних і як буфер даних використовується MS SQL Server, що виступає в ролі сервера бази даних реального часу; Citect Plant2Net – розширює можливості Plant2Business Server на базі сучасних Web-технологій (Web-портал для технологічних даних підприємства); CitectSCADA Batch – система для управління технологічними процесами серійного випуску партій рецептурної продукції (batch-процеси), що характерні для харчової, хімічної і фармацевтичної промисловості; Серверні й клієнтські модулі CitectSCADA I/O – сервер введення-виведення, що забезпечує передачу даних між фізичними пристроями введення-виведення та іншими модулями Citect; Display – клієнт візуалізації, що забезпечує операторській інтерфейс: відображення даних, що надходять від інших модулів Citect, і управління виконанням команд оператора; Alarms – сервер алармів, що відслідковує дані, порівнює їх із припустимими межами, перевіряє виконання заданих умов, і відображає аларми на відповідному вузлі візуалізації; Reports – сервер звітів, що генерує звіти після закінчення певного часу, при виникненні певної події або за запитом оператора; Trends – сервер трендів, що збирає і реєструє трендову інформацію, дозволяючи фіксувати розвиток процесу в реальному часі або ретроспективно у вікні трендів або у файлі</p>	<p>CitectIIM (Industrial Information Management) – виробнича виконавча система управління інформаційними потоками (відстеження виробництва, вимір ключових показників продуктивності, відстеження простой устаткування, управління якістю продукції, що випускається). Модулі CitectIIM Production – публікує дані в реальному масштабі часу і призначається для відстеження всіх параметрів продукції, що випускається підприємством (тип сировини, види добавок до нього, кількість споживаної енергії та води, витрати, відходи по даній продукції і т.д.); Quality – контроль якості (визначення контрольних пунктів для перевірки параметрів якості, визначення параметрів якості продукції, коректування параметрів виробництва при відхиленні від норми в режимі реального часу, автоматична генерація алармів або зупинка виробництва у випадку відхилення параметрів якості продукції від виробничих норм); Downtime – відстеження завантаження і простой устаткування; Tracking – маршрутизація продукції за технологічними етапами (автоматична ідентифікація і відстеження кожного виробу або партій на всіх етапах виробничого процесу, автоматичне угрупування товару й ін.); Metrics – узагальнення і групування інформації з перерахованих вище модулів. Усі модулі підключаються до різних HMI/SCADA-систем і збирають у реальному часі кваліфіковану інформацію відповідно до їхнього призначення</p>

Продовження табл. 8.1

Особливості	Базова структура	Розширення MES/EAM
<p>iFIX GE Fanuc International (раніше <i>Intellution</i>, США)</p> <p>iFIX Standard HMI Pack – пакет для створення локальної HMI-станції. Сполучає функції сервера і клієнта. Включено такі основні функції, як збір історії, середовище розробки і виконання <i>Intellution Workspace</i>, планувальник дій по подіях, редактор VBA, всі теги бази даних, крім SQL-тегів, автоматичне переключення драйверів на резервний пристрій або канал і т.д. Не підтримує роботу iFIX у мережі (клієнт-сервер) і не включає в себе ODBC-драйвери iFIX для даних реального часу та історії;</p> <p>iFIX Plus SCADA Pack – повнофункціональний HMI/SCADA-пакет, що сполучає функції сервера і клієнта. Включено функції iFIX Standard, а також: Database Pack – пакет для роботи з реляційними базами даних, що містить Visicon, теги SQL і ODBC-драйвери, і мережні можливості клієнт-сервер з автоматичним переключенням клієнтів на резервний сервер;</p> <p>iFIX Professional SCADA Pack включає в себе практично всі можливості iFIX. У додаток до iFIX Plus SCADA Pack включені: регламенти, Auto Alarm (сервіс віддаленого управління тривогами за телефонними лініями), Acknowledge Failover (гарячий резерв із синхронізацією тривог для резервної пари серверів), OPC Pack (містить iFIX PDB OPC-Server і iFIX Workspace OPC-Client); всі опціональні модулі поставляються окремо, і їх можна додавати до будь-якої комплектації.</p> <p>iClient – стандартний клієнтський пакет iFIX, призначений для організації робочого місця оператора з доступом до віддаленої або локальної бази даних iFIX;</p> <p>iClientTS – підтримки багатосансової та багато-користувальницької термінальної роботи з iFIX на платформі Windows 2000/XP. Робота клієнта в термінальному режимі здійснюється через Web-браузер і практично нічим не відрізняється від роботи звичайного клієнта, при цьому не потрібно устанавлення додаткового програмного забезпечення на клієнтський комп'ютер</p>	<p>Proficy – система, призначена для управління виробництвом, збору статистичних даних про виконання виробничих замовлень, контролю витрати всіх виробничих і робочих ресурсів, необхідної сировини і матеріалів, а також для аналізу ефективності й завантаження виробничого устаткування;</p> <p>Proficy Historian – загальнозаводське сховище виробничих даних, що забезпечує збір, збереження, обробку та надання великих обсягів виробничої інформації з різних систем автоматизації;</p> <p>Proficy Plant Applications – сервер програм, де виконуються основні модулі, що реалізують розрахунки згідно із закладеними у них моделями одержання продукції і виробничого процесу (Proficy Batch Execution – контроль і управління періодичними процесами; Proficy Batch Analysis – аналіз продукції, що випускається, по партіях; Proficy Efficiency – моніторинг продуктивності; відстеження втрат продукції і простою устаткування; Proficy Production – оперативне управління виробничими розкладами і регламентами, відстеження історії продукту; Proficy Quality – управління якістю продукції);</p> <p>Proficy RTP – інформаційний портал реального часу, що забезпечує можливість з аналізу, підготовки звітів і візуалізації через Web-технології;</p> <p>Proficy EAM – система управління матеріальними активами підприємства (паспортизація устаткування, організація технічного обслуговування і ремонту, управління обслуговуючим персоналом, фінансами, а також відносинами з фірмами-виготовлювачами устаткування і фірмами, що виконують ремонтні роботи)</p>	<p>Proficy – система, призначена для управління виробництвом, збору статистичних даних про виконання виробничих замовлень, контролю витрати всіх виробничих і робочих ресурсів, необхідної сировини і матеріалів, а також для аналізу ефективності й завантаження виробничого устаткування;</p> <p>Proficy Historian – загальнозаводське сховище виробничих даних, що забезпечує збір, збереження, обробку та надання великих обсягів виробничої інформації з різних систем автоматизації;</p> <p>Proficy Plant Applications – сервер програм, де виконуються основні модулі, що реалізують розрахунки згідно із закладеними у них моделями одержання продукції і виробничого процесу (Proficy Batch Execution – контроль і управління періодичними процесами; Proficy Batch Analysis – аналіз продукції, що випускається, по партіях; Proficy Efficiency – моніторинг продуктивності; відстеження втрат продукції і простою устаткування; Proficy Production – оперативне управління виробничими розкладами і регламентами, відстеження історії продукту; Proficy Quality – управління якістю продукції);</p> <p>Proficy RTP – інформаційний портал реального часу, що забезпечує можливість з аналізу, підготовки звітів і візуалізації через Web-технології;</p> <p>Proficy EAM – система управління матеріальними активами підприємства (паспортизація устаткування, організація технічного обслуговування і ремонту, управління обслуговуючим персоналом, фінансами, а також відносинами з фірмами-виготовлювачами устаткування і фірмами, що виконують ремонтні роботи)</p>

Закінчення табл. 8.1

Особливості	Базова структура Genesis32 v9 Icons, США	Розширення MES/EAM
<ul style="list-style-type: none"> - усі програмні компоненти реалізовані на базі багатопотокової моделі, є 32-розрядними програмами і підтримують технологію ActiveX; - підтримка програмної технології .NET; - середовище розробки і виконання сценарних процедур VBA; - широкий набір графіків (часова залежність, логарифмічна залежність, гістограма, самопис, кругова діаграма, залежність одного параметра від іншого); - російський інтерфейс; - оповіщення відповідальних осіб при виникненні аварійних подій різними програмними і апаратними засобами (e-mail, телефон, пейджер, SMS, звукове повідомлення, відеозображення, спливаючі вікна); - майстер (у складі OPC ToolWor) для автоматичної генерації коду клієнтів і серверів OPC у середовищі MS Visual C++; - вбудована підтримка стандартів SNMP і OPC UA; - розширені можливості резервування даних OPC, включаючи тривоги; - відповідність стандартам OPC Data Access (DA) 3.0 і OPC XML 1.0; - універсальний менеджер даних для створення єдиної структури розкладів, виразів, груп, рецептів і т. ін.; - убудовані можливості підключення до SAP (Business API); - технологія доступу і аналізу даних, що дозволяє встановлювати з'єднання з SAP, Microsoft SQL Server, Oracle, Microsoft Access, а також з будь-якими ODBC і OLEDB сумісними базами даних 	<p>GraphWor 32 – засіб розробки і перегляду графічних мнемосхем для автоматизованих робочих місць оператора АСУ ТП (сувора відповідність стандарту OPC Data Access);</p> <p>TrendWor 32 – засіб побудови трендів контрольованих параметрів (сувора відповідність стандарту OPC Historical Data Access);</p> <p>AlarmWor 32 – засіб розробки підсистем ідентифікації, фільтрації і сортування аварійних і інших подій (сувора відповідність стандарту OPC Alarm&Events);</p> <p>ScriptWor 32 – засіб розробки і використання сценаріїв VBA;</p> <p>ProjectWor 32 – інструмент для створення великих проектів і управління ними;</p> <p>TraceWor 32 – засіб для моніторингу і налагодження системи;</p> <p>Додаткові компоненти WebHMI – засіб перегляду мнемосхем у мережі Intranet/Internet;</p> <p>DataWor 32 – OPC-сервер, призначений для створення моста між набором клієнтських і серверних компонентів системи, аналізу і обробки даних, забезпечення резервування;</p> <p>OPC ToolWor – інструментальний засіб швидкої розробки серверів і клієнтів для OPC;</p> <p>Active ToolWor – інструментальний засіб швидкої розробки управляючих елементів ActiveX, що є клієнтами OPC</p>	<p>BizViz – комплекс компонентів на платформі .NET для інтеграції задач АСУ ТП із задачами АСУП класу ERP/MES</p> <p>BizViz.NET V9:</p> <p>ReportWor – універсальна система документування для створення звітів будь-якої складності на основі даних їхнього широкого набору джерел;</p> <p>BridgeWor – сервер даних, що забезпечує інтеграцію інформації з різних джерел даних на базі технології .NET (не вимагає програмування, а використовує конфігуратор транзакцій, супровідних задач і планувальник);</p> <p>PortalWor – управління інформаційними порталами;</p> <p>MobileHMI – організація і управління технологічним процесом через безпроводне з'єднання;</p> <p>Alarm Analytics – дозволяє створювати інструментальні панелі для перегляду тривоги і історичних даних</p>

При оцінці *вартісних* характеристик SCADA-систем потрібно враховувати такі фактори:

- вартість програмно-апаратної платформи;
- вартість системи;
- вартість освоєння системи;
- вартість супроводу.

Показники групи критеріїв, що відповідають за *експлуатаційні* характеристики, найбільш суб'єктивні. До цієї групи можна віднести:

- зручність інтерфейсу середовища розробки;
- повноту інструментарію і функцій системи;
- якість документації;
- технічну підтримку з боку розробника (кількість інсталяцій, дилерська мережа, навчання, умови відновлення версій і т. ін.).

8.2. Етапи розробки проекту АСУ ТП із використанням SCADA-систем

Розробка системи контролю і управління включає в себе такі етапи:

- Розробка архітектури системи автоматизації в цілому. На цьому етапі визначається функціональне призначення кожного вузла системи автоматизації.
- Вирішення питань, пов'язаних з можливою підтримкою розподіленої архітектури, необхідністю введення вузлів із "гарячим резервуванням" і т.д.
- Створення прикладної системи управління для кожного вузла. На цьому етапі фахівець у галузі процесів, що автоматизуються, наповняє вузли архітектури алгоритмами, сукупність яких дозволяє вирішувати задачі автоматизації.
- Приведення параметрів прикладної системи у відповідність до інформації, якою обмінюються пристрої нижнього рівня (наприклад, програмувальні логічні контролери – ПЛК) із зовнішнім світом (датчики технологічних параметрів, виконавчі пристрої й ін.).
- Налагодження створеної прикладної програми в режимі емуляції.

Склад і зміст етапів розробки проекту АСУ варіюється залежно від конкретних програмних пакетів SCADA і наданих ними функціональних можливостей і технологій проектування і управління.

Технологія створення проекту АСУ ТП близька до інтуїтивного сприйняття процесу або об'єкта, що автоматизується. Будь-який технологічний об'єкт автоматизації можна розбити топологічним або технологічним методом на складові частини. Наприклад, об'єктами технологічного об'єкта водозабірною вузла може бути резервуар, насос, система клапанів. Компонентами системи автоматизації цього об'єкта є операторська станція, до якої за каналами зв'язку підключено

контролер, що складається з модулів введення/виведення, приєднаних до датчиків (наприклад, рівня в резервуарі, перепаду тиску на насосі) і регуляторів (засувки для клапанів).

Будь-який пристрій (контролер або операторська станція), в якому запущено програмне забезпечення SCADA-системи, що реалізує серверні функції, називається *вузлом*. Для кожного вузла проекту створюється база даних реального часу.

Для системи АСУ ТП кожен датчик і виконавчий механізм являє собою сигнал контролю і управління, що у SCADA-системі представлені каналами, або *тегами*. Тому для створення системи АСУ ТП необхідно створити канали типу INPUT для прийому значень із датчиків і канали типу OUTPUT для управління виконавчими механізмами. Канал і тег – це базове поняття SCADA-системи. Дані із зовнішніх пристроїв записуються в канали. Дані з каналів посилаються на зовнішні пристрої і відображаються на екрані монітора. Значення з каналів записуються в архіви і звіти. У каналах здійснюється перетворення даних. Сукупність усіх каналів – *база каналів* – складає математичну основу програмного забезпечення кожного вузла проекту.

Таким чином, у рамках створення проекту автоматизації необхідно описати інформаційні потоки: для контролерів треба створити і настроїти канали обміну даними з платами ПЗО, а для АРМ – канали обміну даними з контролерами й іншими вузлами проекту. При цьому зв'язок може організовуватися з використанням власних (поставляються зі SCADA) або зовнішніх драйверів пристроїв, що можуть бути реалізовані за DDE або OPC технологією.

У великих проектах задача заповнення баз, що описують адреси джерел і приймачів даних, є дуже трудомісткою. Це може призвести до помилок, обумовлених об'ємністю і рутинністю даної роботи. Для полегшення цієї роботи в деяких SCADA-системах реалізовані механізми автопобудови баз каналів.

Для виконання складних алгоритмів обробки даних, регулювання і управління розробляють алгоритми, оформлені у вигляді окремих програм, що можуть викликатися процедурами обробки каналів. Для розробки таких програм у SCADA-системах використовують мови стандарту IEC-61131 (переважно мова FBD), а також універсальні мови програмування.

Засоби візуалізації – одне з базових властивостей SCADA-систем. У кожній з них існує графічний об'єктно-орієнтований редактор з певним набором анімаційних функцій. Використовувана векторна графіка дає можливість здійснювати широке коло операцій над вибраним об'єктом.

Таким чином, у цьому редакторі розробляється графічна частина проекту системи управління, причому для кожної операторської

станції вона може бути своя.

Графічний редактор SCADA-системи надає функції створення, розміщення на мнемосхемі і редагування властивостей різних графічних елементів, а також запуск проекту в режимі емуляції. Зазвичай виділяють три типи графічних елементів: статичні елементи (не залежать від значень контрольованих параметрів, не керують виведеною на екран інформацією і, як правило, включають в себе базові примітиви малювання – лінія, прямокутник, еліпс, елементи об'ємної графіки й ін.); динамічні елементи (рис. 8.1) (зв'язуються з атрибутами каналів для виведення їхніх значень на екран - текстові форми, індикатори, кнопки, гістограми); графічні об'єкти (готові групи статичних і динамічних елементів). При розміщенні та редагуванні графічних елементів можна робити налаштування їхніх атрибутів: колір, стиль і товщина лінії, шрифт, налаштування на канал і т. ін.



Рис. 8.1. Приклад графічного динамічного елемента типу «стрілковий прилад»

Крім того, частина динамічних елементів має функції управління: посилка значень у канали, переходи по екранах, квітирування тривоги, запуск іншої підпрограми й ін.

Можливості агрегування складних об'єктів у різних SCADA-системах різні. Усі SCADA-системи включають у себе бібліотеки стандартних графічних символів, бібліотеки готових графічних об'єктів, мають цілий набір інших стандартних можливостей. Можливість перетягнути на мнемосхему готовий об'єкт, що не потребує налаштування і вже має динамізоване зображення, повідомлення, логіку роботи, вікно управління і т.д., і є одним з головних резервів росту продуктивності праці розробників АСУ ТП. Наприклад, бібліотека початково містить елемент «резервуар» з індикацією рівня, температури продукту, мішалкою, що обертається, повідомленнями про перевищення рівня і т.д.

Графічне подання значень технологічних параметрів у часі сприяє кращому розумінню динаміки технологічного процесу. Тому підсистема створення трендів і архівування інформації про параметри з метою її подальшого аналізу і використання для управління є невід'ємною частиною будь-якої SCADA-системи (рис. 8.2).

Тренди реального часу відображають динамічні зміни параметра в поточному часі. З появою нового значення параметра у вікні тренда відбувається прокручування графіка справа наліво. У такий спосіб поточне значення параметра виводиться завжди в правій частині вікна. Тренди стають історичними після того, як дані будуть записані на диск і можна буде використовувати режим прокручування попередніх значень назад з метою подивитися попередні значення. Відображувані дані тренда в такому режимі будуть нерухомими і відображатимуться тільки за визначений період.

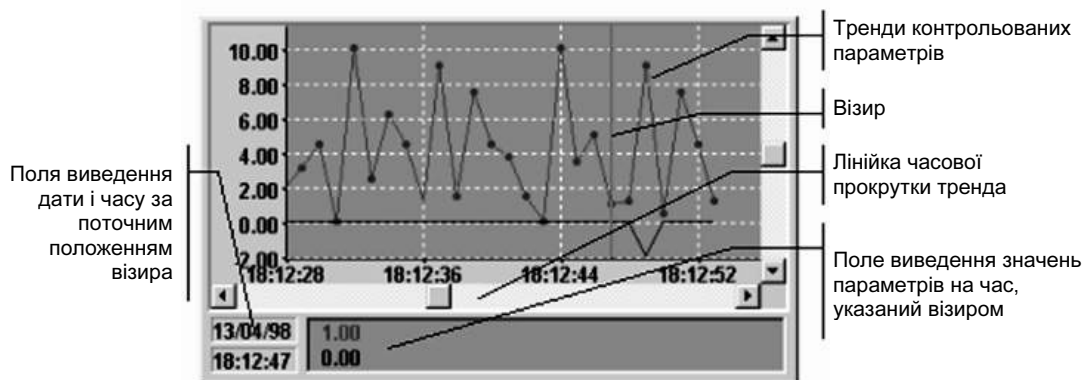


Рис. 8.2. Відображення даних моніторингу на трендах

Крім архіву значень важливе значення у SCADA-системі має ведення звіту тривог, що призначений для фіксації подій (рис. 8.3).

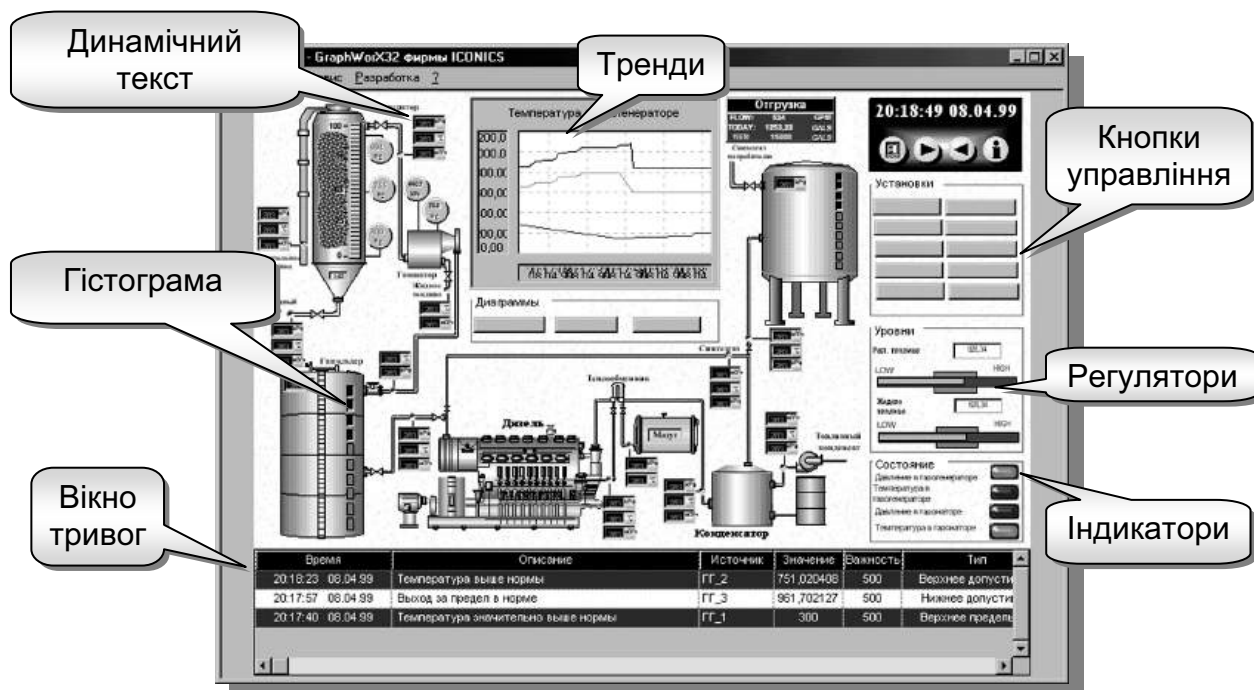


Рис. 8.3. Пример мнемосхемы с различными графическими элементами

Кожен рядок звіту тривог містить час і дату формування події, джерело, семантичний зміст повідомлення, а також ряд додаткових

полів. Ці поля можуть містити різну інформацію залежно від типу події, що фіксується (повідомлення, попередження, помилка й ін.).

Крім стандартних форм відображення є можливість вставляти в проекти графічні форми подання даних або управління, розроблені користувачами. Для цього можна використовувати стандартний механізм ActiveX.

Таким чином, проект АСУ ТП у SCADA-системі являє собою сукупність усіх математичних і графічних компонентів програмного забезпечення для операторських станцій і контролерів, об'єднаних інформаційними зв'язками і єдиною системою архівування.

8.3. Приклад розробки структури АСУ ТП

На основі матеріалу попередніх глав розглянемо варіант побудови структури АСУ ТП для деякого виробництва.

Нехай перелік об'єктів, що автоматизуються, на одну виробничу лінію (усього ліній дві) включає в себе:

- бункер – 2 од.;
- стрічковий живильник (для дозування матеріалу з бункера на конвеєр) – 2 од.;
- стрічковий конвеєр – 1 од.;
- ємність для змішування – 1 од.

Сировина з бункерів надходить на стрічкові конвеєри-живильники, що транспортують її на збірний горизонтальний стрічковий конвеєр, з якого вона подається в ємність для змішування з реагентом і водою. Маса сировини, що надходить на підготовку пульпи, контролюється конвеєрними вагами, встановленими на збірному конвеєрі. При подачі реагенту необхідно підтримувати його в заданій температурі.

Для управління процесом використовують локальні системи автоматичного регулювання таких параметрів:

1. Навантаження сировини на конвеєрі повинно допускати:

- автоматичне управління стрічковими живильниками: включення і виключення живильників; переключення між живильниками за спустошенням бункера; переключення між живильниками з витримкою необхідних інтервалів часу; управління продуктивністю живильників;
- автоматичне управління вібраторами обвалення зводів сировини в бункерах: автоматичне обвалення; через задані інтервали часу; за заданою витратою сировини на конвеєрі; за командою оператора.

Залежно від завдання необхідної витрати сировини система управління автоматично розраховує і керує лінією завантажувального конвеєра, виходячи з фактичної швидкості обертання конвеєра і маси сировини, що надходить. За допомогою встановлених вагів система управління визначає фактичну витрату сировини. Для підвищення

точності дозування в системі застосовані живильники з регульованою швидкістю привідних двигунів, що забезпечують подачу матеріалу на знижених швидкостях. Вбудовані в систему регулятори витрати оптимально підбирають завдання на швидкість привідних двигунів стрічкових живильників, тим самим створюючи контур регулювання витрати. Це дозволить економічніше експлуатувати устаткування й у той же час забезпечити достатню його кількість для роботи виробництва в заданому режимі.

2. Автоматичне регулювання подачі води в ємність для змішування передбачає установлення положення засувки «Подача води» для забезпечення витрати води 70% відносно витрати сировини на конвеєрі.

3. Автоматичне регулювання рівня пульпи в ємності передбачає підтримку необхідного рівня на границі переливу для забезпечення максимальної продуктивності лінії при одночасному регулюванні подачі сировини з бункерного складу, води і реагенту.

Будемо розглядати АСУ ТП у вигляді трьохрівневої ієрархічної організації управління (рис. 8.4):

1) верхній – підсистема оперативно-диспетчерського управління – автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів, що дають можливість на графічних мнемосхемах на моніторі контролювати і керувати параметрами технологічного процесу;

2) середній – підсистема збирання, контролю і управління – контролерне устаткування, яке приймає й обробляє інформацію з датчиків і керує виконавчими механізмами;

3) нижній – підсистема управління технологічними об'єктами – датчики і виконавчі механізми.

На нижньому рівні знаходяться:

- перетворювачі для частотно-регульованих приводів;
- пристрій плавного пуску для конвеєра;
- конвеєрні ваги (витрата сировини);
- датчики технологічних параметрів (тиск у пульпопроводі, рівень сировини в бункері, рівень пульпи в ємності, температура реагенту);
- запірно-регулююча арматура (подача води і реагенту в ємність);
- комплект кабелів для підключення датчиків;
- комплект кабелів для підключення виконавчих пристроїв;
- комплект кабелів для живлення датчиків.

Для підключення однієї засувки до АСУ необхідно забезпечити такі канали управління і контролю:

- вихідна команда – «Відкрити», тип сигналу «сухий контакт»;
- вихідна команда – «Закрити», «сухий контакт»;
- вихідна команда – «Положення», аналоговий, струмовий 4...20 мА;
- вхідний сигнал – «Закритий», «сухий контакт»;
- вхідний сигнал – «Відкритий», «сухий контакт»;

- вхідний сигнал – «Живлення», «сухий контакт»;
- вхідний сигнал – «Аварія», «сухий контакт»;
- вхідний сигнал – «Положення», аналоговий, струмовий 4...20 мА.

Для електродвигунів, де не потрібне регулювання швидкості обертання, але необхідне установлення пристроїв плавного пуску (у нашій системі – конвеєр), для підключення їх до АСУ необхідно забезпечити такі канали управління і контролю:

- вхідний сигнал - електроживлення включене, тип сигналу «сухий контакт»;
- вихідна команда – «Включити», «сухий контакт»;
- вихідна команда – «Виключити», «сухий контакт».

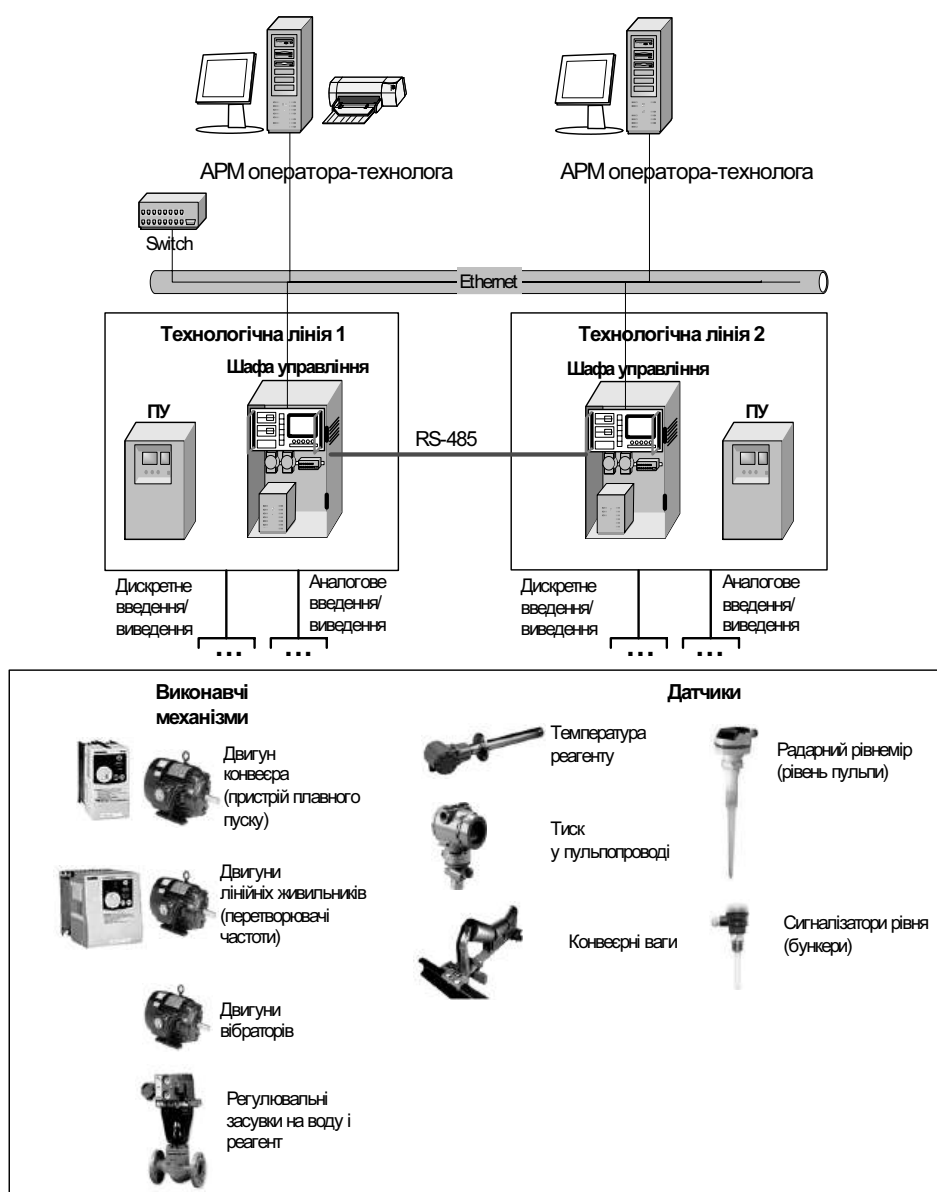


Рис. 8.4. Варіант структури АСУ ТП

Для електродвигунів, де не потрібен плавний пуск і регулювання швидкості обертання (вібратори для обвалення зводів у бункері), для

підключення до АСУ необхідні ті ж канали введення/виведення.

Для електродвигунів, де потрібне регулювання швидкості обертання (стрічкові живильники), необхідно передбачити установлення перетворювача частоти відповідної потужності. Для підключення перетворювача до АСУ зазвичай використовують інтерфейс RS-485 (якщо він підтримується перетворювачем). При цьому для локального пульта управління необхідно забезпечити такі канали управління і контролю:

- вихідна команда – «*Старт*», тип сигналу «сухий контакт»;
- вихідна команда – «*Стоп*», «сухий контакт»;
- вихідний сигнал – «*Швидкість обертання*», уніфікований вихід 4...20мА;
- вхідний сигнал – «*Готовий до роботи*», «сухий контакт».

Як приклад будемо вважати, що в розглянутому проекті АСУ ТП використовують датчики тиску, витрати й рівня, які мають уніфікований струмовий вихід (4...20 мА). Для виміру температури застосовано термоперетворювач опору. Крім того, у системі задіяні датчики рівня для бункерів із дискретними виходами (сигналізатори). Як виконавчі механізми застосовують регульовані засувки або клапани з електроприводом.

У табл. 8.2 наведена загальна кількість сигналів введення-виведення нижнього рівня системи.

Таблица 8.2

Сигнали нижнього рівня системи

Тип сигналу	Кількість сигналів	Призначення
Вхідні сигнали контролерів		
Аналоговий (4...20 мА)	4	Витрата, тиск, рівень
Аналоговий (RTD)	1	Температура
Дискретний (+24 В)	17	Стан устаткування, сигналізація
Вихідні сигнали контролерів		
Аналоговий (4...20 мА)	4	Управління устаткуванням
Дискретний (+24 В)	14	Управління устаткуванням

Можлива велика кількість варіантів побудови структури засобів збору і обробки інформації, вироблення й видачі керуючих впливів.

Розглянемо варіант побудови АСУ ТП із модулями введення-виведення серії ADAM 4000 компанії Advantech. Відповідно до типу і кількості сигналів нижнього рівня для однієї технологічної лінії в системі передбачено установлення такого устаткування:

- шістнадцятиканальний модуль дискретного введення ADAM-4053 – 1од.;
- восьмиканальний модуль дискретного введення/виведення ADAM-4055 – 1од.;
- восьмиканальний модуль дискретного виведення ADAM-4068 – 1 од.;

- восьмиканальний модуль аналогового виведення ADAM-4017 – 1 од.;
- чотирьохканальний модуль аналогового виведення ADAM-4024 – 1 од.;
- одноканальний модуль аналогового введення ADAM-4013 (для підключення термоперетворювача опору);
- перетворювач RS-485 у RS-232 ADAM-4521 - 1 од.

Всі аналогові сигнали, за винятком сигналів від датчиків, підключених за двохпровідною схемою, додатково розв'язуються за допомогою блоків гальванічної ізоляції.

У нашому прикладі середній рівень реалізований на базі промислових комп'ютерів і забезпечує виконання всіх алгоритмів контролю і управління технологічним процесом, функцій захисту й аварійних сигналізацій при відхиленні стану устаткування від норми, а також функцій зв'язку з верхнім рівнем АСУ ТП.

На цьому рівні реалізується логіка управління технологічним об'єктом, відповідно до якої виконується обробка і аналіз інформації, що надходить із пристроїв введення/виведення, а також генерація керуючих впливів за заданими алгоритмами регулювання. Керуючі РС-контролери є центральним «мозком» системи, тут виконуються розрахунки за алгоритмами витрат сировини, води і реагенту, обчислюються керуючі впливи за ПІД-алгоритмами, здійснюється автоматичний переклад технологічного устаткування з одного режиму в інший, реалізується логіка протиаварійного захисту і т. ін.

У проекті реалізовано резервування керуючих РС-контролерів. Оскільки технологічні установки першої та другої ліній цілком ідентичні, керуючі контролери ідентичних ліній взаємно резервують один одного. При відмові контролера першої лінії управління першою лінією візьме на себе контролер другої лінії.

Рівень керуючих станцій АСУ ТП реалізований на базі процесорних плат PCA-6005VE (Advantech) із процесором Intel Celeron 1.7 ГГц. У комплекті з необхідним периферійним устаткуванням кожна така плата являє собою потужну і сучасну промислову станцію управління. Вибір настільки потужної процесорної плати обумовлений широким набором перерахованих задач, реалізованих на керуючих станціях; крім того, було враховано, що в режимі резервування одна станція веде управління відразу двома технологічними лініями. Плата PCA-6005VE має інтегрований мережний адаптер стандарту Ethernet. Промисловий комп'ютер і АРМ диспетчерського пункту об'єднані між собою мережею Ethernet, швидкість обміну даними в якій складає 10/100 Мбіт/с. Процесорна плата встановлюється в промислове шасі IPC-610 фірми Advantech.

Пристрої рівня контролерів – пристрої введення/виведення і керуючі станції кожної лінії – розміщуються в 19" шафах, що відповідає ступеню захисту і виконання (наприклад, із пристроєм

кліматконтролю).

Для розведення сигнальних провідників використовують клемні колодки, наприклад фірми WAGO.

Для забезпечення стійкості системи до перешкод у ланцюгах живлення до складу комплексу технічних засобів включені джерела безперебійного живлення Smart-UPS (наприклад, фірми APC), які крім фільтрації мережних перешкод здатні забезпечити автономну роботу системи протягом 20 хвилин після відключення електроживлення.

Комплекс технічних засобів АСУ ТП об'єднаний високошвидкісною локальною обчислювальною мережею стандарту Ethernet з використанням мережних концентраторів, що забезпечує необхідну швидкість передачі даних і можливість нарощування системи. Топологія мережі зіркоподібна. Структура мережі в даному прикладі проектується таким чином, щоб забезпечити необхідні надійність і швидкість передачі інформації. Операторські станції підключені до різних галузей мережі, а зв'язок з керуючими станціями технологічних ліній можливий за двома маршрутами, що додає системі стійкість до порушень каналів зв'язку. Крім того, подібна структура дає можливість логічного діагностування стану засобів і фізичних каналів передачі даних за мережею. Для передачі інформації застосовують екранований кабель типу крученої пари.

Таким чином, у систему на середньому рівні входить:

- локальна шафа управління з промисловим комп'ютером (PC-контролером) і комплектом пристроїв введення/виведення (рис. 8.5);
- пульти місцевого управління;
- комплект кабелів для зв'язку локальних шаф управління і пристроїв введення/виведення;
- комплект кабелів для живлення локальних шаф і пультів управління.

До складу локальних пультів, що дають можливість (за необхідності) керувати устаткуванням автономно, входять кнопки, реле, перемикачі, сигнальні лампи.

Верхній рівень системи забезпечує виконання функцій оперативного-диспетчерського управління і дистанційного контролю технологічного устаткування об'єктів автоматизації.

З метою забезпечення безперервності управління технологічним процесом у випадку відмови комп'ютера для кожного з потоків у диспетчерському пункті встановлено по дві однакові робочі станції операторів, що функціонують незалежно одна від одної.

Як робочі станції операторів-технологів використовують IBM PC сумісні персональні комп'ютери стандартного виконання з мережним інтерфейсом Ethernet. Робочі станції операторів для захисту від зовнішніх несприятливих умов експлуатації (пил, вологість) можуть бути розміщені в спеціальних шафах або пультах і укомплектовані захищеними промисловими клавіатурами з маніпуляторами,

наприклад фірми Texas Industrial Peripherals. Принтер служить для одержання звітних форм про роботу технологічної лінії. Блок безперебійного живлення дозволяє функціонувати в нормальному режимі при короткочасних збоях у системі електроживлення.

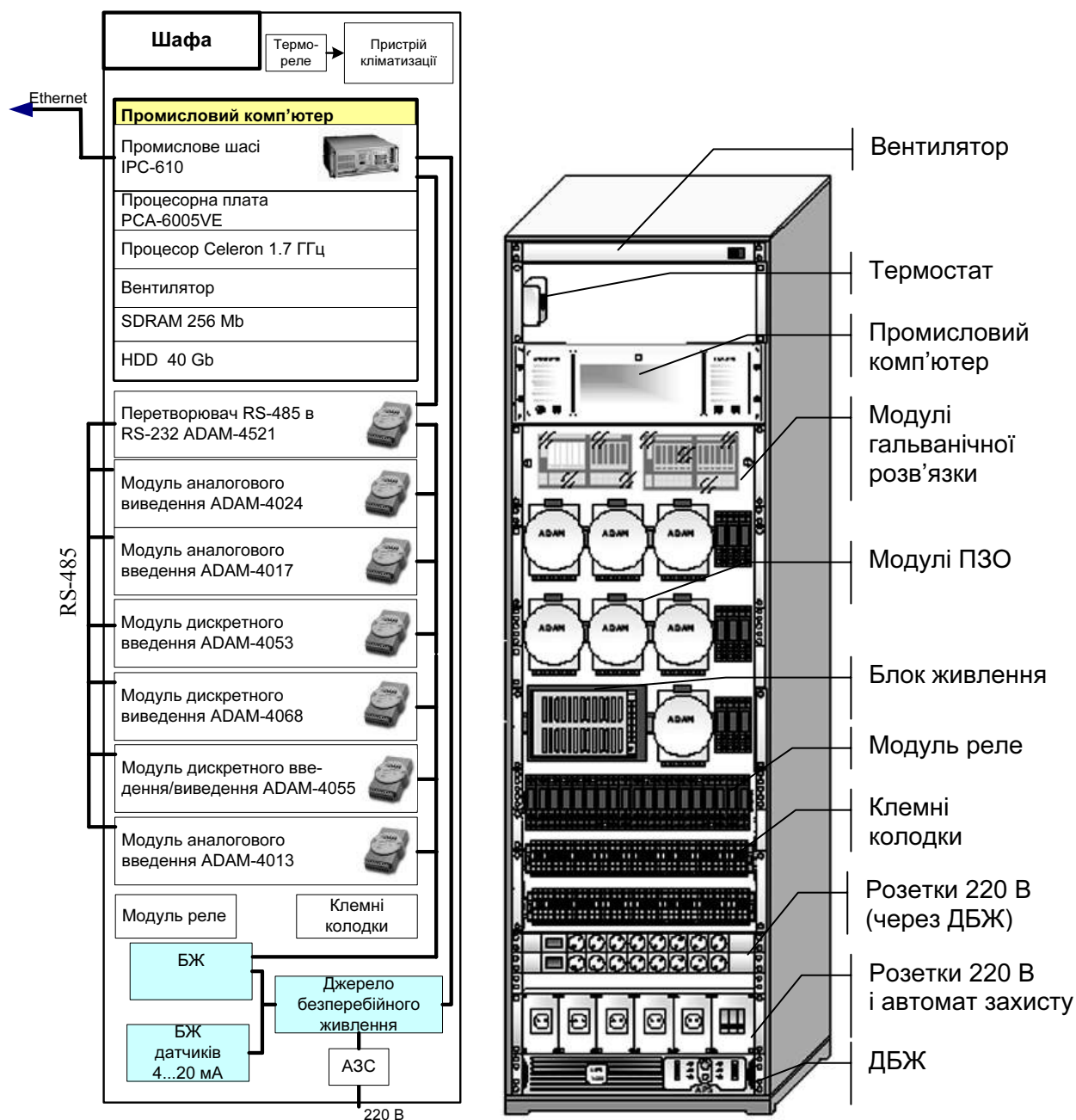


Рис. 8.5. Структурна схема і проект компонування 19" стояка шафи управління

Станції операторів-технологів функціонують під управлінням операційної системи Microsoft Windows 2000 Professional.

Як підпрограми, що виконуються на управляючих станціях, а також АРМах і реалізують основні алгоритми управління технологічними установками, використовуються виконавчі модулі SCADA-системи, наприклад Trace Mode.

8.4. Основи і ергономіка створення людино-машинного інтерфейсу НМІ

Автоматизоване робоче місце (АРМ) оперативного або диспетчерського персоналу в кожній системі контролю і управління призначено забезпечити інтерфейс «людина-машина» (НМІ) для виконання персоналом його основних функцій з управління, контролю, аналізу (у тому числі у ретроспективі) і управління режимами роботи і станом технологічних об'єктів.

Загальними вимогами до НМІ є такі:

1. **Природність** (інтуїтивність). Робота із системою не повинна викликати у користувача складностей у пошуку необхідних елементів інтерфейсу для управління процесом вирішення поставленої задачі.

2. **Несуперечність**. Якщо в процесі роботи із системою користувачем були використані деякі прийоми роботи з певною частиною системи, то в іншій частині системи прийоми роботи мають бути ідентичними. Необхідно також, щоб робота із системою через інтерфейс відповідала встановленим, звичним нормам.

3. **Ненадмірність**. Це означає, що користувач має вводити тільки мінімальну інформацію для роботи або управління системою. Не можна вимагати від користувача введення інформації, що була попередньо введена, або котра може бути автоматично отримана із системи. Бажано використовувати значення за замовчуванням, де тільки можливо, щоб мінімізувати процес введення інформації.

4. **Безпосередній доступ до системи допомоги**. У процесі роботи необхідно, щоб система забезпечувала користувача необхідними інструкціями. Система допомоги відповідає трьом основним аспектам – якість і кількість забезпечуваних команд, характер повідомлень про помилки і підтвердження того, що система робить. Повідомлення про помилки мають бути корисними та зрозумілими користувачу.

5. **Гнучкість**. Це означає, наскільки добре інтерфейс системи може обслуговувати користувача з різними рівнями підготовки і доступу.

Тією чи іншою мірою НМІ оперативних АРМ діючих систем контролю і управління дозволяє реалізувати основні функції. Однак індикація параметрів і станів елементів устаткування (у частині символіки та колірної гами) різні і найчастіше протилежні в різних системах контролю і управління. Різні також процедури формування команд управління, форма і принципи функціонування електронних журналів, форма доступу і перегляду архівів.

Таке положення обумовлює необхідність вироблення принципів уніфікації основних елементів візуалізації. Розробка таких принципів забезпечить погоджене відображення інформації про режими роботи технологічних об'єктів, підвищить ефективність інтерфейсу «людина-машина» і приведе до більш ефективної взаємодії користувачів різних

рівнів управління та різних підприємств.

1. Вимоги до складу і змісту мнемосхем

Реалізація функцій оперативних АРМ забезпечується таким складом мнемосхем:

- ◆ основна мнемосхема (технологічна підсистема в цілому);
- ◆ мнемосхеми окремих технологічних вузлів, що підлягають автоматизації;
- ◆ мнемосхеми, що відбивають структуру і стан системи автоматизації;
- ◆ мнемосхеми перегляду ретроспективи;
- ◆ мнемосхеми перегляду і коректування нормативно-довідкової інформації (НДІ), ручне введення інформації, яке захищене паролем;
- ◆ набір допоміжних мнемосхем (вікон) для реалізації команд управління;
- ◆ мнемосхеми, що забезпечують дії з параметризації системи;
- ◆ мнемосхеми розрахункових задач;
- ◆ мнемосхеми реєстрації оперативного персоналу.

На всіх мнемосхемах повинно показуватися вікно аварійних повідомлень, що містить не менше трьох останніх аварійних повідомлень, з можливістю квітирування аварійних повідомлень у цьому вікні.

Для АРМ змінного (чергового) інженера цеху типовий набір мнемосхем має включати в себе мнемосхеми всього устаткування, що підлягає автоматичному управлінню та контролю. З підвищенням рівня управління схеми мають бути більш агрегованими.

На мнемосхемах технологічних вузлів відображаються:

- ◆ аналогові параметри, що відносяться до технологічного вузла;
- ◆ дискретні параметри, що відносяться до технологічного вузла, у вигляді текстових написів або елементів анімації;
- ◆ виконавчі механізми технологічного вузла з індикацією їхніх станів;
- ◆ некеровані технологічні елементи, до яких відносяться дискретні або аналогові сигнали;
- ◆ комунікації, що забезпечують цілісність технологічного вузла;
- ◆ індикація невірності даних за її наявності.

На мнемосхемі технологічного вузла має бути передбачена можливість завдання команд управління усіма виконавчими механізмами вузла за умови вирішення функцій управління.

Якщо схема технологічного вузла є складною ієрархічною, то її окремі блоки можуть бути відображені на окремих мнемосхемах, викликуваних з головного вікна технологічного вузла.

Кожна мнемосхема має специфічні користувальницькі кнопки з чіткою назвою їхнього призначення. Для реалізації різних функцій дії користувача мають бути мінімізовані. Не допускається без необхідно-

сті використання одночасного натискання кнопок на клавіатурі і маніпуляторі типу «миша». Необхідно, щоб функції, які передбачають послідовність дій, були постачені підказками на кожному кроці.

Мають бути передбачені різноманітні засоби навігації по мнемосхемах технологічного устаткування (натискання символічних зображень, меню і т. ін.).

При розробці принципів уніфікації необхідно враховувати обмеження, що накладаються використанням різних графічних стандартів у різних SCADA-системах.

Структура і стан системи автоматизації мають відобразитися на окремій мнемосхемі. На ній відображаються всі засоби автоматизації з деталізацією, характерною для даного рівня.

2. Відображення аналогових даних та їхніх характеристик

Аналогові дані відображаються на мнемосхемах технологічних вузлів безпосередньо поруч з устаткуванням, до якого вони відносяться. Аналогові дані відображаються в цифровому вигляді з вказівкою розмірності (у системі СІ) або/і умовної позначки, зрозумілої користувачу. Якщо виходячи з розташування і розмірності технологічна сутність параметра не ясна, додається словесна розшифровка.

За необхідності і з урахуванням можливостей екрана найважливіші аналогові параметри можуть бути додатково подані у вигляді графіків (трендів) реального часу з метою контролю їхньої динаміки. Графіки реального часу можуть викликатися в окремих вікнах за запитом користувача.

При великій кількості аналогових параметрів щодо даного устаткування на мнемосхемі виводяться тільки основні параметри. Для перегляду всіх параметрів необхідно передбачити послідовне виведення за запитом користувача.

З підвищенням рівня управління повинна зменшуватися ступінь деталізації відображуваних параметрів. Склад параметрів на кожному рівні має строго відповідати функціям цього рівня.

Стан аналогового параметра ідентифікується колірною гамою, наведеною в табл. 8.3. При завданні колірної гами бажано не використовувати більше чотирьох-п'яти кольорів.

Якщо аналоговий параметр не достовірний, його значення, щоб уникнути дезінформації користувача, не виводиться на екран і замінюється символом невірогідності (наприклад, знаком питання). Аналоговий параметр може бути не достовірний у випадку виходу з ладу контролера (САУ), лінії зв'язку або датчика, заборони користувачем його надходження з нижнього рівня.

Якщо система допускає ручне введення даних реального часу, дані, введені вручну, мають ідентифікуватися символом ручного введення.

Детальну інформацію про аналоговий параметр, включаючи

аварійні та попереджувальні уставки, слід навести в його паспорті, що має бути легко доступним для перегляду.

3. Відображення дискретних даних

Дискретні параметри залежно від призначення відображаються у вигляді:

- ◆ повідомлення, що заноситься в *журнал аварійних повідомлень і подій* і відображається у вікні SCADA при зміні дискретного параметра;
- ◆ текстового повідомлення на мнемосхемі;
- ◆ елементів анімації (переважно для сигналів, пов'язаних зі змінами на устаткуванні).

Дискретні параметри в журналі аварійних повідомлень і подій і у вікні аварійних повідомлень індикуються кольором (відповідно до табл. 8.3) і текстом.

4. Відображення станів об'єктів та елементів

Об'єкти і елементи, стан яких індикуюється, мають бути відображені на мнемосхемі відповідного технологічного вузла.

В основу індикації станів покладено такі принципи:

- ◆ мінімізація колірної гами (не більше чотирьох-п'яти кольорів);
- ◆ простота ідентифікації стану устаткування;
- ◆ ідентифікація перехідних процесів;
- ◆ диференціація ознак аварії і символів стану.

Колірна гама стану об'єктів та елементів устаткування наведена в табл. 8.3.

Проходження перехідних процесів, що займають певний час (відкриття, закриття, пуск, останов), має ідентифікуватися миготінням.

Додаткова ідентифікація перехідних процесів обов'язкова, і у випадку подачі команди ідентифікація перехідного процесу дає можливість переконатися, що команда дійшла до виконавчого механізму і почала виконуватися.

Колірна гама ідентифікує тільки основні стани об'єкта і елемента. Зміна стану об'єкта або елемента має звуковий супровід. Якщо стан об'єкта не визначено, на його зображенні з'являється символ невизначеності.

Для фону відеокадрів із зображенням керованого і контрольованого устаткування необхідно вибирати колір з найбільш віддаленими координатами кольоровості (сірий, блідо-блакитний). Некеровані та неідентифіковані елементи технологічного вузла мають бути наближені до кольору фону.

5. Індикація проблемних ситуацій

Проблемними ситуаціями є такі:

- ◆ порушення аварійного (надвисокого або наднизького) порога аналогового параметра;
- ◆ порушення попереджувального (високого або низького) порога

- аналогового параметра;
- ◆ аварійна ситуація на об'єкті або його елементі, розпізнавана за рядом ознак, індивідуальних для кожного типу об'єкта;
- ◆ процес аварійного останову об'єкта;
- ◆ відхилення аналогових параметрів від планових значень, від оптимальних значень, від значень, заданих користувачем у порядку індивідуального контролю (за наявності цих значень у системі).

Таблиця 8.3

Колірна гама в системі візуалізації на АРМ

Колір	Ідентифікація
Зелений	Нормальне значення аналогового параметра Запис про повернення параметра в нормальний стан у журналі аварійних повідомлень і подій Відкритий стан виконавчих механізмів Робочий стан будь-якого агрегату Включений стан будь-якого елемента устаткування Включений стан контролера, системи збору
Коричневий	Закритий стан виконавчих механізмів Зупинений стан агрегатів Неробочий стан будь-якого агрегату Виключений стан будь-якого елемента устаткування Запис про подію неаварійного характеру в журналі аварійних повідомлень і подій
Червоний	Перевищення аналоговим параметром надвисокого порога Запис про порушення аналоговим параметром надвисокого (наднизького) порога або про прихід аварійного повідомлення в журнал подій Символ аварії на будь-якому елементі технологічного устаткування Процес аварійного останову Виключений стан контролера, системи збору
Синій	Проміжний стан виконавчих механізмів Запис про порушення аналоговим параметром високого (низького) порога або про прихід попереджувального порога в журнал аварійних повідомлень подій
Жовтий	Проміжний стан виконавчих механізмів
Чорний	Квітируване аварійне або попереджувальне повідомлення в журналі аварійних повідомлень і подій
Сірий, блідо-блакитний	Фон, елементи, що не індикуються

При порушенні аварійної або попереджувальної уставки, верхньої або нижньої (високого або низького порога), значення аналогового параметра зафарбовується у відповідний колір.

Додатково порушення аварійної або попереджувальної уставки має автоматично фіксуватися в журналі аварійних повідомлень і подій і у вікні аварійних повідомлень (відповідно рядком того ж кольору, що і відображення параметра на мнемосхемі) із указівкою поточного значення параметра. Необхідно, щоб порушення аварійної чи попереджувальної уставки мало звуковий супровід.

Будь-яка аварійна ситуація на об'єкті або елементі індикується узагальненим текстом, елементами анімації зі збереженням кольору, що індикує стан елемента. Необхідність збереження кольору стану продиктована тим, що аварійна ситуація на запірній арматурі або виконавчому механізмі може бути в будь-якому стані (відкритому, закритому, включеному, виключеному). Колір символів, що індикують аварійний стан, має бути червоним відповідно до документа.

Необхідно, щоб сигнал аварійної ситуації мав звуковий супровід.

Протягом процесу аварійного останову об'єкта його символічне зображення на всіх схемах, де воно присутнє, має червоний (аварія) миготливий (перехідний процес) колір. Процес аварійного останову обов'язково має звуковий супровід.

6. Символіка відображення устаткування

Реалізація символіки при дотриманні форми, що рекомендується, має враховувати можливості графіки і готових бібліотек використовуваної SCADA-системи.

7. Принципи подачі команд управління

Усі команди управління можуть бути подані тільки при введенні пароля користувача (диспетчера, змінного інженера). Має бути передбачена можливість блокування управління користувачем на випадок його тимчасової відсутності на робочому місці та повернення прав управління. Необхідна наявність апарата, що забезпечує заборону управління з різних рівнів. Обов'язковою є індикація інформації про наявність або відсутність прав управління у даного рівня.

Якщо елемент доступний для управління, при наведенні на його відображення маніпулятора миші має з'являтися рамка.

Кожну віддану команду управління слід фіксувати в списку управлінь з часом її формування і прізвищем користувача, зареєстрованого на зміні. Список керувань повинний бути доступний для перегляду і друку.

Необхідно, щоб користувач мав можливість спостерігати реалізацію виконання команди, якщо вона займає якийсь час, і можливість скасування команди. У разі відсутності можливості реалізації команди з технічних або технологічних причин на екран повинна виводитися докладна діагностика цих причин.

8.5. Комп'ютерна когнітивна графіка в НМІ

На екран оператора або диспетчера, що керує складною системою в реальному часі, може виводитися інформація від декількох сотень датчиків, для відображення якої використовується безліч мнемосхем, таблиць і т.д. Оператору слід осмислити всю цю інформацію й у випадку виникнення аномальної ситуації прийняти рішення про корекцію поведінки відповідних підсистем. Для зниження великих навантажень на оператора на допомогу може прийти система подання інформації, основана на ідеях комп'ютерної когнітивної графіки.

Для зменшення часу, необхідного для сприйняття тієї чи іншої інформації, використовується інтуїтивне асоціативне мислення людини.

Це означає, що, наприклад, інформація, наведена у вигляді зміни форми, кольору фігури, перевертання її пропорцій, сприймається набагато швидше, ніж та ж інформація в текстовому вигляді.

Добре розвинуті у людини двовимірний і тривимірний механізми розпізнавання образів, а також почуття симетрії дозволяють дуже швидко і ефективно сприймати й обробляти різні види даних, якщо вони наведені як **зорові когнітивні** (cognition – пізнання) **образи**.

Когнітивні образи – це об'єктно-орієнтовані абстракції, що мають для оператора однозначну інтерпретацію в конкретній предметній галузі. Кожна така абстракція описує кореляційні взаємозв'язки сутностей області проекту. Взаємозв'язки являють собою знання, що подаються у вигляді набору правил – описів взаємозалежності сутностей у конкретній предметній галузі, використовуваних системою когнітивної графіки для стиску і наведення інформації (рис. 8.6).

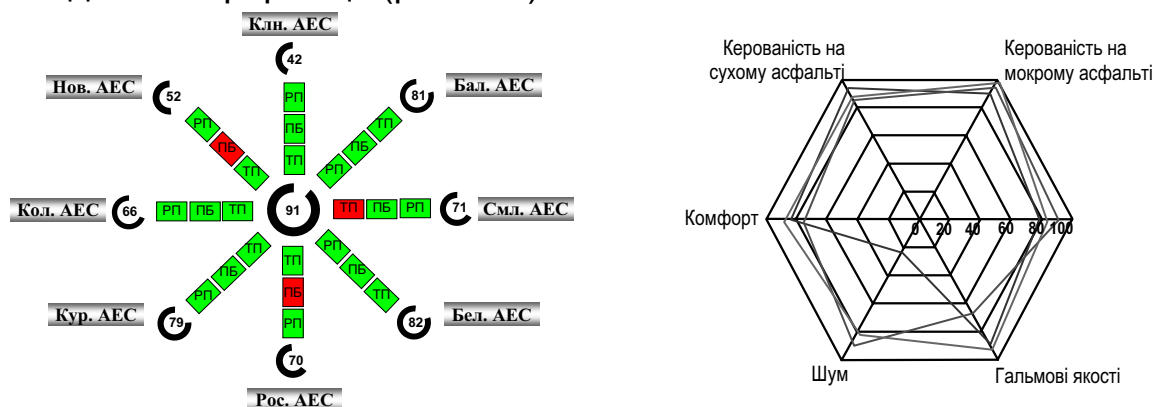


Рис. 8.6. Приклади графічних когнітивних образів

Статична складова когнітивних образів мінімальна, основну інформацію несе *динаміка* (колір, форма, розташування на екрані) та її *еволюція*.

Найбільш ефективною є когнітивна графіка для швидкої оцінки ситуації в цілому, тому що дозволяє, не аналізуючи великої кількості різнорідних сигналів та їхніх значень, зробити висновок про ситуацію та її розвиток. При побудові образів бажано згрупувати сигнали, що беруть участь у його створенні, на однотипні й взаємозалежні.

Кожна з цих груп параметрів на екрані подається деяким графічним когнітивним образом: сектором, гістограмою, хрестом, колом, петлею гістерезису і т.д., що несе певний технологічний зміст і має однозначну технологічну інтерпретацію оператором.

Приклад

Розглянемо приклад для образного уявлення стану енергоблока АЕС. Реакторна установка як об'єкт управління характеризується великою кількістю контрольованих параметрів. До них відносяться більше 100 термодатчиків, близько 500 датчиків нейтронного потоку, теплові потужності, розраховані різними способами, і ряд інших параметрів, важливих для безпечного управління реакторною установкою.

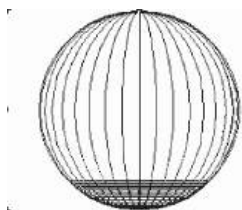
Образне уявлення забезпечує згортку інформації й подання її в звичних для людини формах.

Для реакторної установки виділимо сім найбільш важливих одиниць контролю: ОФСЕТ; період реактора; контроль нерівномірностей нейтронного поля; контроль потужності; термоконтроль; контроль системи виміру; контроль активної зони.

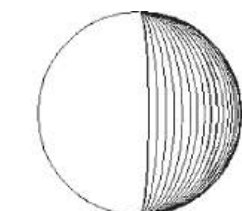
Стан зазначених підсистем контролю добре описується у вигляді глобуса з атрибутами, що змінюються (паралелі, меридіани, форма кулі, колір, швидкість обертання навколо осі).

ОФСЕТ є зручною характеристикою аксіального розподілу енерговиділення в зоні реактора. Його значення знаходять за такою формулою:

$$O = (P_v - P_n) / (P_v + P_n),$$



де P_v – потужність у верхній половині реактора, P_n – потужність у нижній половині реактора. Знак і значення O можуть бути описані за допомогою зміни положення паралелей за таким алгоритмом: якщо $O > 0$ – паралелі групуються вище лінії екватора; $O = 0$ – паралелі рівномірно розподілені на глобусі; $O < 0$ – паралелі групуються нижче лінії екватора.



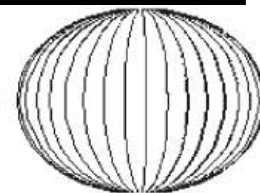
Період реактора – час, протягом якого потужність змінюється в e разів.

Період реактора може бути описаний у вигляді швидкості обертання глобуса навколо власної осі. При цьому

$$W \sim 1/T,$$

де W – кутова швидкість обертання глобуса; T – період реактора.

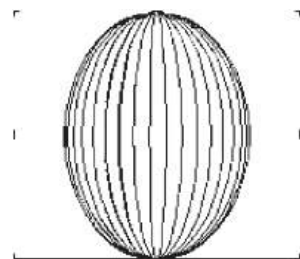
Контроль нерівномірностей нейтронного поля. Існує кілька видів нерівномірностей: за шарами; за касетами; об'ємна нерівномірність. Вихід нерівномірностей за уставки можна описати у вигляді зміни положення меридіанів. При цьому близькість меридіанів один до одного пропорційна кількості порушень уставок.



Контроль потужності. До параметрів, що використовують при розрахунках на потужність, відносяться, зокрема, тиски й витрати. Порушення уставок по цих параметрах можуть бути наведені у вигляді стиску глобуса по полюсах і перетворення його в горизонтальний еліпс.

При цьому коефіцієнт стиску пропорційний кількості порушень уставок.

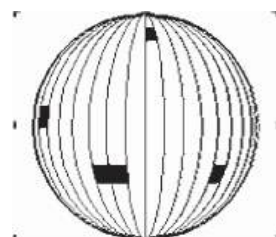
Термоконтроль. До термоконтролю відноситься сукупність порушень, пов'язаних з температурним режимом і теплообміном. Виходи за уставки цих параметрів можуть бути подані у вигляді розтягання глобуса по полюсах і перетворення його у вертикальний еліпс. При цьому коефіцієнт розтягання пропорційний кількості порушень.



У випадку одночасної появи порушень, пов'язаних з потужністю і термоконтролем, куля перетвориться в два ортогональних тори.

Контроль вимірів системи внутрішньореакторного контролю. У процесі експлуатації в роботі датчиків і самої системи можуть виникати збої. Це призводить до появи недостовірних показань ("деградація" системи виміру).

Ступінь деградації системи виміру може бути наведена за допомогою білих плям на глобусі. При цьому кількість білих плям пропорційна кількості недостовірних показань.

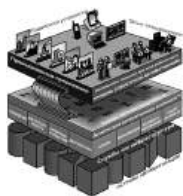


Контрольні запитання і вправи

1. Розробити у SCADA-системі базу каналів і графічну базу проекту для вимірювання температури та рівня рідини в агрегаті. Зміну параметрів імітувати за допомогою датчика випадкових чисел. Передбачити як графічне відображення параметрів, так і цифрове.
2. Побудувати у SCADA-системі графік функції $y=ax^2+bx+ab$ у діапазоні від -10 до 20 з кроком 2 (для кожної точки створити канал і відобразити її на профілі). Передбачити можливість зміни параметрів a і b .
3. Розробити у SCADA-системі проект для управління наповнення ємності рідиною за допомогою насоса. Передбачити

сигналізацію заповнення ємності (досягнення рівня 0,95) і автоматичне відключення насоса при цьому (індикується індикатором).

4. Розробити у SCADA-системі проект, в якому здійснюється наповнення ємності насосом. Передбачити сигналізацію заповнення ємності (досягнення рівня 0,95) і потім 5-секундну затримку (горить сигнальний індикатор) і далі спорожнення ємності.
5. Розробити у SCADA-системі проект, що включає в себе два цифрових регулятори і один цифровий індикатор, що дозволяє виконувати додавання та множення двох чисел.
6. Які групи показників розглядаються для прийняття оптимального рішення з вибору SCADA-системи?
7. Назвіть основні етапи розробки системи контролю і управління.
8. Які основні функції виконує графічний редактор SCADA-системи?
9. Що таке комп'ютерна когнітивна графіка? Для чого її використовують?
10. Які основні кольори використовують для ідентифікації типових ситуацій, що виникають у процесі управління?



РОЗДІЛ 9

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ІНТЕГРАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ АСУ ПІДПРИЄМСТВА

9.1. Інтеграція багаторівневих систем автоматизації

Теорія і практика функціонування виробничих об'єктів показує недоцільність створення на них груп самостійних (не пов'язаних або слабо пов'язаних між собою) автоматизованих систем, які реалізують частини задачі автоматизації управління об'єктом, і, навпаки, безумовну доцільність об'єднання таких локальних АСУ в єдину інтегровану систему – інтегровану АСУ (ІАСУ).

Центральним поняттям в ІАСУ є поняття «інтеграція». Інтеграцію можна визначити як спосіб організації окремих компонентів в одну систему, яка забезпечує узгоджену та цілеспрямовану їх спільну взаємодію, що зумовлює високу ефективність функціонування всієї системи.

Інтеграцію можна розглядати в кількох аспектах: функціональному, організаційному, інформаційному, програмному, технічному, економічному.

Функціональна інтеграція забезпечує єдність цілей та узгодженість критеріїв і процедур виконання виробничо-господарських і технологічних функцій, пов'язаних із досягненням поставлених цілей. Основою функціональної інтеграції є: оптимізація функціональної структури всієї системи, декомпозиція системи на локальні підсистеми, формалізований опис функцій кожної підсистеми і протоколів взаємодії підсистем.

Організаційна інтеграція полягає в забезпеченні раціональної взаємодії управлінського персоналу на різних рівнях ієрархії ІАСУ та в різних локальних її підсистемах, що зумовлює узгодженість управлінських рішень.

Інформаційна інтеграція являє собою єдиний комплексний підхід до створення й ведення інформаційної бази всієї системи та її компонентів на основі єдиного технологічного процесу збору, зберігання, передачі й обробки інформації, який забезпечує узгоджену інформаційну взаємодію всіх підсистем (локальних АСУ) ІАСУ.

Програмна інтеграція означає використання узгодженого і взаємозв'язаного комплексу моделей, алгоритмів і програм для забезпечення спільного функціонування всіх компонентів ІАСУ.

Технічна інтеграція – це по суті використання єдиного комплексу спільних обчислювальних засобів, автоматизованих робочих місць спеціалістів і локальних мереж, об'єднаних в одну розподільну обчис-

лювальну систему, яка забезпечує автоматизовану реалізацію всіх функцій компонентів ІАСУ.

Економічна інтеграція є узагальненим комплексним показником інтеграції системи і полягає в забезпеченні цілеспрямованого і узгодженого функціонування всіх компонентів ІАСУ для досягнення найвищого економічного ефекту функціонування всієї системи.

Автоматизовані системи управління діяльністю підприємств і комплекси управління технологічними процесами довгий час розвивалися незалежно одна від одної. У результаті створені до теперішнього часу системи АСУП і АСУТП відрізняються методами і стандартами побудови, застосовуваними рішеннями і підтримуваними їх апаратними та програмними засобами. Роз'єднаність підсилює і "людський фактор", оскільки задачі АСУП і АСУТП зважуються різними колективами розробників та експлуатаційників.

Потреба ж в ІАСУ стає дуже відчутною, оскільки вона зумовлена необхідністю значно підвищити ефективність основної виробничої діяльності. Зниження на кілька відсотків вартості сировини, енергоспоживання, робочої сили та інших виробничих витрат може привести до значного зростання прибутку. Тому дуже актуальним стає оперативне одержання і узагальнення значної кількості параметрів, що характеризують процес виробництва, і облік агрегованих даних у сучасних ІАСУ. Причому автоматизація підприємства "знизу нагору", коли інформація про виробничі процеси передається оперативно, у реальному темпі її надходження і доступна в тій чи іншій формі керівництву підприємства, є одним із найефективних методів побудови інтегрованої інформаційної інфраструктури.

Однак на переважній більшості підприємств переважають "клатеві" АСУТП, що складаються з не пов'язаних між собою підсистем, що створювалися в різний час різними людьми з використанням устаткування різних виробників. Тому перш ніж порушувати питання про "наскрізну" автоматизацію, необхідно довести до належного ладу існуючу АСУТП, об'єднавши її різнорідні компоненти, здійснивши "горизонтальну" інтеграцію. "Горизонтальна" інтеграція – забезпечення інформаційної взаємодії існуючих автономних підсистем технологічного рівня.

У загальному випадку метою "вертикальної" інтеграції є передача технологічних даних на рівень бізнес-програм.

До цього часу запропоновано достатню кількість технологічних концепцій, реалізація яких значною мірою сприяє створенню інтегрованих систем управління промисловими підприємствами. Серед них – організація міжмережного обміну в масштабах усього підприємства на основі Ethernet і протоколів TCP/IP, застосування Internet і безпроводних рішень.

Одна з проблем "наскрізної" автоматизації – передача оператив-

ної інформації (наприклад, у випадку виникнення критичної ситуації, здатної призвести до серйозних наслідків в одному з цехів або на всьому підприємстві) у системи верхнього рівня.

Системи АСУТП працюють в офісних мережах підприємств, що використовуються також і для взаємодії з Internet. Подібні системи не відповідають вимогам навіть м'якого реального часу. Можливим виходом з положення є застосування спеціальних серверів, що відслідковують подібні події і передають дані в АСУП за власною ініціативою. Організація такої взаємодії реалізується із застосуванням технологій OPC. Існують також OPC-рішення для таких систем, як SAP R/3.

У зв'язку з цим значна увага приділяється визначенню методів і засобів, необхідних для створення інтеграційного шару, що забезпечує введення в АСУП класифікованої й агрегованої інформації, одержуваної на основі попередньої обробки технологічних даних.

Як джерела такої агрегованої інформації використовують системи управління виробництвом **MES** (*Manufacturing Executive System*) і управління основними фондами **EAM** (*Enterprise Assets Management*), здатні оперативно обробляти технологічну інформацію і перетворювати її в бізнес-дані.

Однак при реалізації кожного проекту необхідно визначити, які саме технологічні зведення потрібні директору, головному інженеру, головному технологу і в якому вигляді їх найдоцільніше подавати. Оскільки найчастіше буває досить складно відразу сформулювати змістовну задачу, пропонується накопичувати надлишкову технологічну інформацію в програмно-апаратних засобах інтеграційного шару, щоб у процесі експлуатації системи виділити дані, що поставляються АСУТП, які необхідні для підвищення ефективності роботи підприємства в цілому.

Такі системи спрямовані на одержання достовірної інформації про поточні технологічні та виробничі процеси, її обробку й передачу в реальному часі керівництву цеху і головним фахівцям підприємства для прийняття оперативних рішень.

Велика частина необхідних даних може бути отримана з існуючих локальних систем автоматизації, але деякі контролери не мають засобів їхньої передачі в зовнішні пристрої.

Для реалізації задач інтеграції в автоматизації промислових підприємств у цілому спроби створення комплексних систем управління починають компанії-розробники трьох груп: SCADA-систем; ERP-систем; MES-систем.

Першим етапом у цьому напрямку була реалізація рішень, що забезпечують взаємодію різнорідних програм систем автоматизації через підтримку стандартних або фірмових протоколів обміну.

Другим етапом стало об'єднання різних програм (серверних і клієнтських модулів системи автоматизації) навколо єдиної платформи

для збору і збереження виробничої інформації. Такою платформою стали: *iHistorian* потім *Proficy Historian* (iFIX); *IndustrialSQL Server* (InTouch); *Plant2Business Server* (Citect) й ін.

Останнім часом виробники SCADA-систем рухаються в напрямку задоволення в одному «надпродукті» або комплексі продуктів усіх потреб сучасного промислового підприємства.

Так, концепція "прозоре підприємство" (*Transparent Factory*) розроблена в компанії Schneider Electric для вирішення задач міжмережного обміну в рамках усього промислового підприємства і надання технологічної можливості "безшовної" інтеграції систем АСУП і АСУТП. Вона спирається на такі принципи:

- Ethernet – основа наступного покоління мереж промислової автоматики, інтегрованих із традиційними офісними мережними інфраструктурами;
- створення єдиного інформаційного простору підприємства базується на мережі intranet, що забезпечує уніфікований і "прозорий" доступ до даних усіх рівнів, що надходять як від датчиків і виконавчих пристроїв, так і від систем ERP;
- системи автоматизації будуються на основі відкритих, стандартних і об'єктно-орієнтованих компонентів управління і доступу до інформації, до яких відносяться Web-сервери і засоби, що базуються на OPC-технології.

У рамках першого етапу реалізації концепції *Transparent Factory* ПЛК компанії Schneider Electric постачені вбудованими Web-серверами; випущений OPC-сервер *Factory Server*; створені модулі, що забезпечують взаємодію ПЛК із мережами Ethernet, і мости для взаємодії промислової шини Modbus з Ethernet.

Концепція *Plant Intelligence* (*Intellution*) увійшла як складова частина в концепцію *Intelligent Production Management* (компанії *GE Fanuc*, що придбала компанію *Intellution*) – інтелектуальне управління виробництвом (рис. 9.1), що забезпечує практично повний пакет функцій для автоматизованого управління виробництвом на різних рівнях управління.

Задачі, сформульовані в цій концепції, реалізуються за допомогою різних програмно-апаратних засобів, що можуть працювати як спільно, так і окремо, виконуючи свої локальні функції (див. табл. 8.1).

На "нижньому рівні" – це контролери і пристрої, вироблені GE Fanuc Automation із власним програмним забезпеченням для їхнього програмування. Далі система автоматизації виробничих процесів – SCADA-система iFIX, платформа для збору і збереження виробничих даних Proficy Historian, MES-система Proficy Plant Application, пакет Proficy EAM для управління основними фондами підприємства й інформаційний портал для аналізу та відображення виробничої інформації через Web.

Незалежно від застосовуваної концепції засоби інтеграції підрозділяють на апаратні, програмні та комунікаційні.

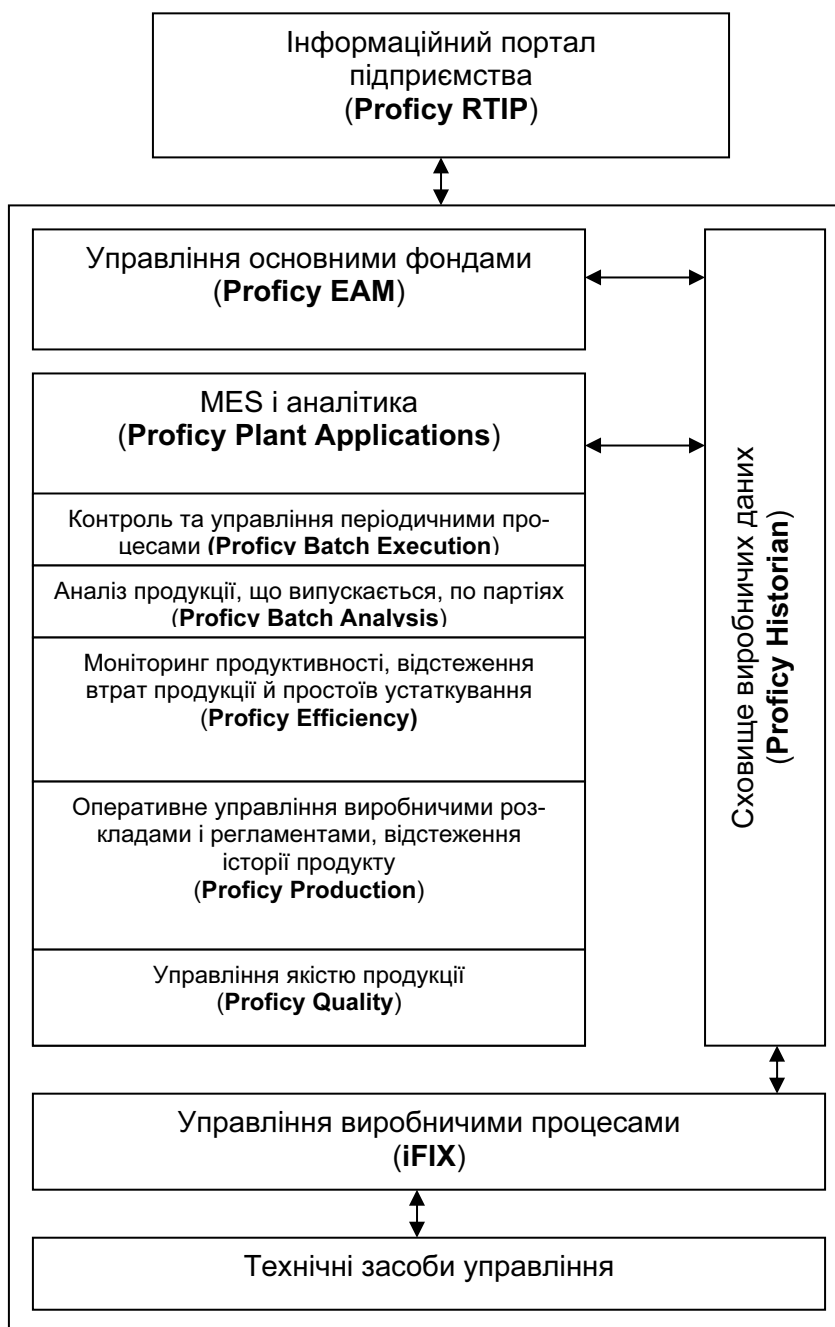


Рис. 9.1. Концепція Intelligent Production Management

Апаратні засоби інтеграції включають у себе: інтеграційні сервери (промислові комп'ютери і контролери), інтелектуальні засоби низової автоматики, що мають крім убудованих сервісів первинної обробки і Web-сервери для видаленої діагностики та налагодження.

Програмні засоби інтеграції містять: SCADA-системи, що мають підтримку стандартних протоколів обміну (OPC, SQL, DDE, OLE DB) як з технологічними системами АСУТП, так і з бізнес-системами; бази даних реального часу, що служать основою створення серверів АСУТП, які, в свою чергу, є джерелами даних для бізнес-систем рівня

підприємства; системи управління виробництвом (MES-системи), що забезпечують регулювання процесу руху матеріалів від сировини до кінцевого продукту; системи управління основними фондами (EAM-системи), що підтримують у робочому стані верстатний парк та інше виробниче устаткування.

Комунікаційні засоби інтеграції включають у себе: мережу Ethernet (Ethernet, Industrial Ethernet, Radio Ethernet) для зв'язку сервера АСУТП, АРМ операторів, центральної диспетчерської та АСУ підприємства; промислові мережі для організації зв'язку інтелектуальних датчиків і механізмів, локальних систем автоматизації, сервера АСУТП (Profibus, MODBUS, Fieldbus Foundation та ін.).

Таким чином, ключовими поняттями і технологіями для побудови інтегрованих систем є такі: відкриті стандартні апаратні компоненти, Web-технології, стандартні міжпрограмні інтерфейси і промислові мережі.

Коротка характеристика сучасних інтегрованих рішень від провідних виробників систем промислової автоматизації наведена в табл. 8.1.

9.2. MES і EAM системи для вирішення задач управління виробництвом

Як було сказано вище, EAM-системи і MES-системи утворюють сполучний, або інтеграційний шар (рівень) від SCADA-систем до ERP-систем. Програмне забезпечення цього інтеграційного шару призначено, в першу чергу, для формування даних, що відбивають динаміку і послідовність технологічного процесу виробництва продукту від сировини до товару (MES), і формування даних, що відбивають структуру і стан фондів (активів) підприємства, насамперед основних фондів, за допомогою яких реалізується технологічний процес (EAM).

Міжнародна організація *MESA International* (Асоціація постачальників MES) сформувала список функцій з управління виробництвом, що мають входити до «повнофункціональної» MES-системи:

- **розподіл ресурсів і контроль їхнього стану** – готує інформацію про ресурси, включаючи устаткування, інструментальні засоби, трудові навички, матеріали та інші об'єкти (наприклад, документація), що мають бути доступними для роботи, щоб почати виробництво;
- **оперативне планування** – забезпечує складання графіків/виробничих завдань, оснований на пріоритетах, поточному стані, характеристиках і/або рецептах, пов'язаних з певними виробничими агрегатами, ділянками, цехами;
- **диспетчеризація виробництва** – керує виробничими агрегатами, ділянками та цехами шляхом видачі планових завдань, розпоря-

джень з пускання/останову технологічного устаткування, розподілу партій сировини та напівфабрикатів, нарядів на виконання робіт;

- **управління документами** – керує документообігом, що має супроводжувати виробничі процеси, включаючи робочі інструкції, рецепти, креслення, наряди на виконання робіт, накладні на одержання матеріалів та інструменту, паспорти на партії продукції, зміни в технологічних картах і регламентах, документи з передачі залишків продукції й напівфабрикатів між робочими змінами, звіти «план-факт»;
- **збір даних** – забезпечує збір і розподіл даних про поточний стан усіх виробничих ресурсів;
- **управління трудовими ресурсами** – забезпечує управління персоналом в оперативному режимі;
- **управління якістю** – забезпечує аналіз у реальному масштабі часу інформації, що характеризує якість матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції, щоб вчасно виявляти й ідентифікувати проблеми, що потребують уваги;
- **управління виробничими процесами** – контролює хід виробництва і автоматично коректує або формує рекомендації оператору для того, щоб виправити й поліпшити виробничий процес;
- **управління технічним обслуговуванням** – контролює і організує дії, спрямовані на підтримку устаткування й інструментальних засобів у працездатному стані;
- **моніторинг матеріальних потоків** – забезпечує контроль руху матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції в часі й просторі в процесі виробництва. Інформація про матеріальні потоки може включати в себе дані про виробничий персонал, зайнятий у виробництві (номери бригад, табельні номери); інформацію про постачальників сировини, напівфабрикатів; номери партій і серійні номери виробів; поточні технологічні параметри процесу; будь-які аварійні сигнали, інформацію про брак або інші відхилення, пов'язані з матеріалом/виробом;
- **аналіз виконання** – забезпечує поточний контроль фактичних результатів виробничих процесів, порівняння з минулою «історією» процесів і прогнозування очікуваних результатів.

З точки зору виробничого циклу виконання об'ємних планів, що спускаються цехам, основних задач три:

- оперативне планування;
- оптимізація;
- управління виробничими процесами.

Вирішення цих задач розпочинають після того, як цех у якому-небудь вигляді одержує спущений йому вищестоящим керівництвом об'ємний план і пройдений етап технологічної підготовки виробництва.

Для вирішення задачі *оперативного планування* в MES-

системах будується динамічна комп'ютерна модель виробництва. Ця модель реалізує безупинне імітаційне моделювання руху матеріальних потоків усередині цеху відповідно до технологічних маршрутів. Виробничий розклад наочно описується діаграмою Ганта, де кожній операції ставиться у відповідність відрізок прямої, довжина якого пропорційна її тривалості. Вбудований механізм диспетчеризації виробництва забезпечує своєчасну доставку і введення інформації про чинені дії, події, що відбуваються, і відхилення від складеного оперативного плану. Виробничий розклад підтримується в оптимальному стані шляхом безупинної компенсації відхилень методом корекції або повного перерахунку. В результаті всі процеси, що відбуваються в цеху, стають прозорими, досягається відслідкованість, керованість та ідентифікованість матеріальних потоків виробництва відповідно до вимоги міжнародних стандартів ISO.

Крім того, динамічна модель виробництва в MES-системах забезпечує докладну калькуляцію поточних виробничих витрат як у прив'язці до конкретних робочих місць, так і в розрізі окремих виконуваних замовлень.

У загальному випадку розрахунок виробничого розкладу є складною математичною задачею. Для її вирішення розробляється система критеріїв розрахунку і оптимізації розкладів, на базі якої створюється відповідний алгоритмічний апарат. Евристичні алгоритми розрахунку виробничих розкладів є ядром MES-систем.

Застосовуваний у MES-системах апарат розрахунку і *оптимізації* виробничих розкладів дозволяє врахувати взаємозв'язок всіх елементів оперативного плану, забезпечити вибір альтернативних технологічних маршрутів і адаптивний режим управління матеріальними потоками.

У частині, що стосується *управління виробництвом*, MES-системи відрізняються від ERP/MRP тим, що в MES-системах розрахунок виробничих розкладів будується на базі набору критеріїв. Мінімально можлива кількість критеріїв, що відмежовує MES-систему від систем інших класів, – два. Різні комбінації критеріїв дозволяють розраховувати десятки варіантів виробничого розкладу, використовувати їх як засіб моделювання виробничих процесів і вибирати найбільш ефективний сценарій виконання поточного плану.

Обмеження більшості систем автоматизованого планування ERP/MRP полягає в тому, що ресурси виробництва оцінюються орієнтовно або узагалі вважаються нескінченними і невичерпними. Розбиваючи замовлення на частини і розраховуючи дату їхнього запуску у виробництво, ці системи не враховують доступність ресурсів у конкретний момент часу. Таким чином, розклад, складений без урахування інформації про фактичний стан ресурсів виробництва, не відповідає дійсності і не може бути виконаний.

Одним з основних принципів, покладених в основу MES-систем, є принцип кінцевого планування ресурсів виробництва. Сутність даного принципу полягає в тому, що ресурси (як основні, так і додаткові) завжди обмежені і виконання робіт планується тільки тоді, коли вірогідно відомо, що ресурси доступні.

Так, наприклад, крім незапланованого виходу верстатів з ладу і впливу інших несподіваних впливів ресурсів, що змінюють доступний обсяг виробництва, у цехах існує регламент проведення профілактичних ремонтів устаткування. За допомогою MES-системи можна змоделювати поточну ситуацію, програти кілька сценаріїв її розвитку і досягти такого розкладу, в якому профілактичний ремонт устаткування мінімально позначиться на виконанні виробничого плану.

До числа основних задач EAM-систем управління основними фондами підприємства відносяться:

- постійне спостереження за станом устаткування та його запасних частин;
- створення нарядів на ремонтні роботи й їхню активізацію за подією;
- поповнення складських запасів запасних частин і матеріалів до еталонного стану;
- формування рахунків на постачання запасних частин, сервісів.

Необхідність автоматизації процесу управління основними фондами викликана потребами обслуговування великої кількості складного устаткування і апаратури відповідно до нормативних документів і міжнародних стандартів.

Розглянемо можливості систем класу MES і EAM на прикладі їхньої реалізації в SCADA-системі TRACE MODE 6 (AdAstrA Research Group Ltd., Росія).

1. Управління основними фондами, технічним обслуговуванням і ремонтами в T-FACTORY 6

Система **T-FACTORY 6 EAM** є EAM-системою реального часу, цілком інтегрованою з АСУТП підприємства, що дозволяє автоматизувати урахування основних фондів підприємства протягом їх повного життєвого циклу, впровадити сучасні методи профілактичного і передбаченого технічного обслуговування, знизити простої устаткування, підвищити продуктивність і продовжити ресурс устаткування, знизити експлуатаційні витрати.

Для вирішення цих задач EAM модуль T-FACTORY надає такі функціональні можливості:

- паспортизація устаткування;
- розробка регламентів профілактичного і передбаченого технічного обслуговування;
- призначення пріоритетів обслуговування устаткування;
- зв'язок регламентів технічного обслуговування з інформацією реального часу зі SCADA/HMI TRACE MODE;

- автоматична генерація на підставі регламентів і спрямування виконавцям замовлень на матеріали та наряди на роботи з технічного обслуговування;
- організація документообігу проходження нарядів і замовлень із затвердженням стадій відповідальним персоналом;
- здійснення сіткового планування робіт з технічного обслуговування на будь-який термін;
- здійснення контролю виконання робіт;
- накопичування ЕАМ-статистики експлуатації, простоїв, відмов і технічного обслуговування устаткування;
- облік вартості матеріалів і робіт з технічного обслуговування устаткування;
- контроль відповідності часу і вартості технічного обслуговування плановим показникам;
- автоматична генерація звітів і розрахунків показників, необхідних для прийняття рішень.

Система T-FACTORY 6 ЕАМ подає всі основні фонди (устаткування) підприємства у вигляді ієрархії об'єктів, по кожному з яких автоматично накопичується статистика технічного обслуговування, нарахування витрат, генерації подій, нарядів і замовлень. При цьому ЕАМ-параметри, що обчислюються для нащадка, будуть автоматично враховуватися в об'єкті-батьку (наприклад, віднесення витрат на технічне обслуговування і простоїв вузла на весь агрегат).

На кожен ЕАМ-об'єкт будь-якого ієрархічного рівня створюється *картка-паспорт*, що враховує адміністративні, технічні й економічні параметри устаткування. Кожна картка-паспорт устаткування може бути пов'язана з корпоративним сховищем даних для передачі інформації, наприклад, у бухгалтерську систему з метою автоматичного нарахування амортизації, або для одержання довідкової інформації про номенклатуру запасних частин і т.д.

У картці також записуються правила технічного обслуговування устаткування – *сервіси*. Активізація сервісів T-FACTORY 6 ЕАМ здійснюється за фіксованою датою; часовим інтервалом; заданою періодичністю; вичерпанням ресурсу; подією.

У двох останніх випадках інформація, що необхідна для активізації сервісів, береться із серверів реального часу TRACE MODE 6. Сервер T-FACTORY 6 може працювати і з іншими SCADA-системами через стандартні інтерфейси – OPC, DDE, ODBC. Інтеграція T-FACTORY ЕАМ із системами АСУТП дозволяє впровадити сучасну технологію передбачуваного технічного обслуговування, коли можливі збої в роботі устаткування усуваються ще до їхнього виникнення.

За активізованими регламентами система генерує *наряди на роботи і замовлення на матеріали*. Замовлення та наряди надходять у підсистему планування, де використовується інформація про пріори-

тети технічного обслуговування. Там кожний наряд/замовлення проходить через систему документообігу, в ході якого уповноважені співробітники підприємства уточнюють час виконання робіт; призначають або замінюють виконавців; скасовують або затверджують роботи.

У T-FACTORY 6 EAM передбачені засоби сіткового планування на необмежений період часу. Планування можна також здійснювати в зовнішніх програмах (наприклад, у MS Project).

Затверджені наряди/замовлення автоматично направляються виконавцям. Стадії виконання робіт фіксуються системою і завжди доступні для контролю з боку вищестоящего керівництва. Після завершення робіт з кожного наряду обчислюється статистика часу і вартості виконання.

За допомогою сервера документування в T-FACTORY 6 EAM можна створювати користувальницькі звіти, що настроюються гнучко, з детальною статистикою щодо устаткування, груп устаткування. При цьому розраховуються такі параметри, як простой устаткування; вартість технічного обслуговування устаткування; коефіцієнт використання устаткування; середнє напрацювання на відмову; середній період між ремонтами; фактичний знос устаткування; прогноз повного зносу й ін.

За допомогою застосування T-FACTORY 6 EAM підприємство може продовжити термін експлуатації виробничого устаткування, скоротити простой, пов'язані з відмовами, керувати витратами на його експлуатацію (шляхом зменшення кількості відмов і планування всіх стадій технічного обслуговування), підвищити продуктивність праці.

2. Управління виробництвом у реальному часі в T-FACTORY 6

Система **T-FACTORY 6 MES** відноситься до класу MES-систем реального часу і дозволяє керувати повним виробничим циклом підприємства (рис. 9.2) і вирішувати такі актуальні для виробництва питання, як планування і управління виробничими завданнями, розрахунок собівартості продукції, що випускається, створення матеріальних та енергетичних балансів, моніторинг виконання замовлень і т.д.

Модуль T-FACTORY 6 MES надає такі функціональні можливості:

- опис матеріальних та енергетичних потоків за всіма компонентами і стадіями переділу;
- зв'язок матеріальних ресурсів з інформацією реального часу зі SCADA/HMI TRACE MODE;
- автоматичний розрахунок матеріальних та енергетичних балансів між будь-якими елементами технологічного ланцюга;
- аналіз втрат матеріалів й енергії на будь-якому технологічному етапі;
- відстеження руху товару в технології;
- створення виробничих завдань;
- автоматична генерація на підставі виробничих завдань і спряму-

- вання виконавцям замовлень на матеріали та нарядів на роботи;
- організація документообігу проходження завдань із затвердженням стадій відповідальним персоналом;
- сіткове планування робіт на будь-який термін;
- контроль виконання робіт;
- контроль якості продукції на основі процесного підходу, що відповідає міжнародному стандарту ISO 9000:2000;
- розрахунок у реальному часі собівартості продукції на кожному технологічному етапі;
- контроль відповідності часу і вартості виробничих завдань плановим показникам;
- виявлення "вузьких місць" виробництва – причини росту собівартості, браку, втрат, відхилень від термінів виконання і т.д.;
- накопичування MES-статистики;
- автоматична генерація звітів та обчислення показників, необхідних для прийняття рішень.

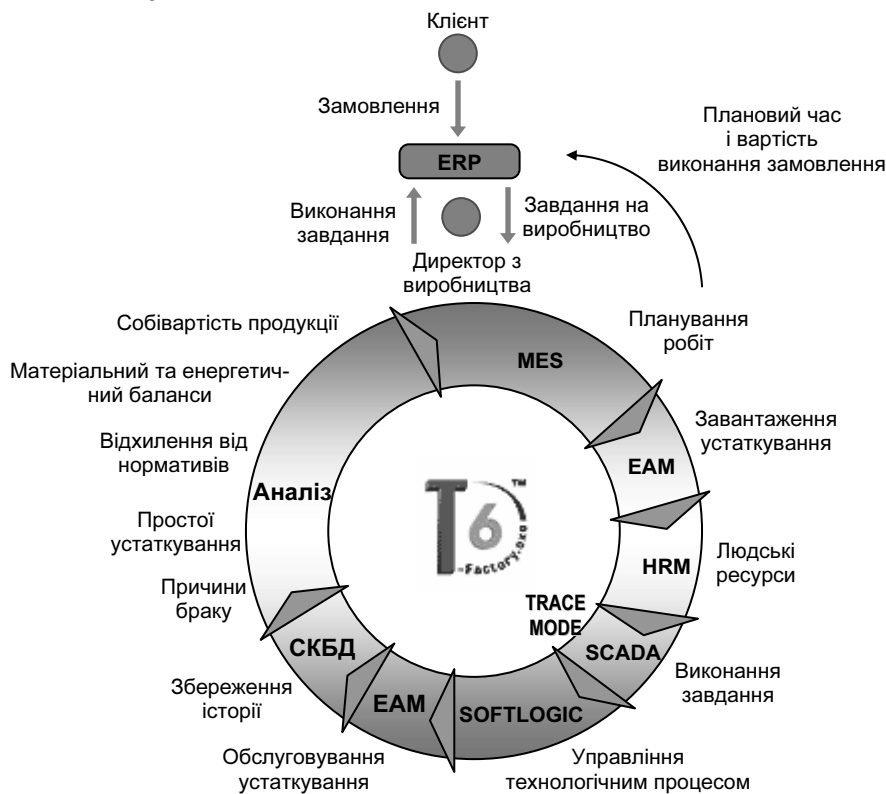


Рис. 9.2. Управління виробництвом у T-FACTORY

Проект T-FACTORY MES розробляється в інтегрованому середовищі розробки SCADA-системи TRACE MODE 6 разом з АСУТП і має з нею єдину інформаційну базу. Це дозволяє уникнути дублювання баз даних АСУП і АСУТП і здійснювати бізнес-управління виробництвом на основі об'єктивних фізичних вимірів, що надходять у реальному часі.

T-FACTORY 6 MES дає можливість у реальному часі стежити за

матеріальними потоками виробництва, фіксувати втрати, аналізувати їхні причини і вживати заходів, що спрямовані на зниження втрат і браку. Дані про матеріальні потоки можуть надходити в T-FACTORY 6 MES з АСУТП (моніторів реального часу TRACE MODE 6, інших SCADA-систем, контролерів), з реляційних СКБД, вводиться вручну.

Для кожного матеріального ресурсу можна вказати його поточну вартість, перетворити матеріальні потоки у фінансові та у реальному часі стежити за формуванням *собівартості* продукції, виявляти причини її необґрунтованого росту і вживати заходів для її зниження.

T-FACTORY 6 MES дає можливість у реальному часі формувати *матеріальні баланси* між будь-якими компонентами технологічного ланцюга. При цьому можливо виділення необмеженої кількості категорій балансу, а також розрахунок вартості кожної категорії. У системі можна установити припустимі межі розмірів кожної категорії і здійснювати автоматичну сигналізацію при перевищенні дозволеної кількості браку або втрат.

Для кожної виробничої операції можливе створення *виробничих завдань*. Виробничі завдання активізуються і виконуються як за командою людини, так і автоматично за часом; заданою періодичністю; подією і т.д.

За активізованими виробничими завданнями система генерує змінні завдання, наряди на роботи і замовлення на матеріали. Виробничі завдання надходять у підсистему планування і документообігу, у ході якого уповноважені співробітники підприємства затверджують, скасовують або відкладають їхнє виконання.

За кожним виробничим завданням ведеться автоматичний контроль виконання і виявлення таких завдань, у яких були перевищені плановий час або вартість. Керівник виробництва може в реальному часі одержувати інформацію про зриви у виконанні завдань і негайно вживати заходів щодо усунення їхніх причин.

Система веде маркірування всіх операцій з матеріальними ресурсами, фіксує використане в процесі виробництва устаткування і персонал. Це дозволяє простежити шлях будь-якої партії продукції по технологічному ланцюгу. Тому у випадку, якщо у випущеній продукції клієнт знайде брак, то скільки б часу не пройшло з моменту випуску, менеджери підприємства зможуть легко установити, на якій стадії виробництва виник брак; яке устаткування брало участь у виробництві браку; який персонал його обслуговував; звідки була отримана сировина; куди була відвантажена продукція.

Це дозволяє виявляти причини браку, вживати заходів до їхнього усунення, а також мінімізувати наслідки від відкликання неякісних партій.

3. Управління персоналом і роботами

Крім розглянутих модулів EAM і MES система T-FACTORY має у

своєму складі модуль HRM (*Human Resources Management*), що являє собою систему управління персоналом у реальному часі, інтегрований з АСУТП, MES і EAM-системами підприємства.

T-FACTORY HRM дає керівникові інформацію реального часу про наявність і доступність трудових ресурсів підприємства, необхідних для виконання виробничих завдань, а також робить облік часу, якості і вартості виконання завдань. Це дозволяє гнучко планувати роботу, контролювати поточне завантаження персоналу, оперативно перерозподіляти їх між ділянками, знижувати простої, підвищувати мотивацію персоналу і продуктивність праці.

T-FACTORY HRM надає такі функціональні можливості:

- створення облікових карток персоналу;
- автоматичний контроль, облік виконаних робіт й їхньої якості;
- передача інформації про виконання робіт у зовнішні системи для нарахування заробітної плати і премій;
- сіткове планування робіт;
- накопичування статистики виконання робіт, завантаження і простоїв персоналу;
- облік вартості робіт і трудових витрат;
- автоматична генерація звітів.

Система подає адміністративну структуру підприємства у вигляді ієрархічно організованого дерева. Для кожної штатної одиниці (HRM-об'єкт) будь-якого ієрархічного рівня створюється облікова картка, що може бути пов'язана із зовнішньою системою кадрового обліку, яка містить докладну інформацію про працівника.

Інформація про виконання нарядів, що надходять з T-FACTORY 6 MES і EAM, автоматично відноситься до виконавця і служить для оцінки якості його праці, нарахування премій і стягнень. Дані, необхідні для нарахування заробітної плати, можуть передаватися в бухгалтерські системи автоматично.

9.3. Інтегральні показники ефективності виробництва

Створення інтегрованих платформ для систем автоматизації промислових підприємств у вигляді комплексних систем управління складає основу для автоматичної генерації ключових показників ефективності (*Key Performance Indicator – KPI*), що є підходом, який добре зарекомендував себе для оцінки результативності й ефективності дій, процесів і функцій управління.

Особливістю програмного забезпечення, орієнтованого на розрахунок ключових показників, у цьому випадку буде здатність інтегруватися з різнорівневими підсистемами підприємства, у тому числі і за протоколами реального часу.

Завдяки доступності інформації, наданої комплексними системами управління, що включають у себе підпрограми SCADA, MES,

EAM, ERP/MRP систем, забезпечується:

- можливість перегляду даних про виробничі процеси, складські запаси і якість продукції в реальному часі та історичних;
- прийняття перелічених і обґрунтованих рішень з метою оптимізації виробничих процесів з одночасним досягненням більш послідовної якості одержуваних продуктів;
- можливість аналізу за схемою "що, якщо..." для оцінки і прогнозування можливих ситуацій та ін.

Вирішення цих задач забезпечується видачею KPI за допомогою таких механізмів, як електронні ситуаційні інструментальні панелі, засоби візуального аналізу, що у розглянутих системах включаються у так звані інформаційні портали підприємства, які основані на Web-технологіях. Портал, по суті, являє собою Web-сайт, що надає шлях доступу до виробничої інформації з визначених тем.

Переваги використання Web-технологій полягають у такому: не потрібна установка програмного забезпечення (використовується звичайний браузер, наприклад, Internet Explorer); керуючий персонал може одержати необхідну інформацію в будь-який момент часу в будь-якому місці. Такий підхід дозволяє значно заощаджувати тимчасові ресурси і приймати своєчасні рішення.

Ситуаційна панель або екран часто відображають такі групи показників:

1. Інтегральні дані (обсяг продукції, кількість продукції, виготовленої за одиницю часу й ін.).
2. Ефективність використання виробничих фондів (устаткування, що простоє, доступне устаткування, середній час напрацювання на відмову, загальна ефективність устаткування й ін.).
3. Відповідність регламенту виробничого процесу (відкриті й закриті наряди-замовлення, прострочені та виконані роботи).
4. Параметри якості зробленої продукції.
5. Ретроспективні параметри, що дають уявлення про зміну характеристик з часом.

Фактично KPI-показники – це набір формул, що обчислюються автоматично і відбивають у будь-який момент стан процесу.

Ситуаційні панелі набувають для різних категорій користувачів. Як типові конфігурації можна назвати такі:

- виробнича панель, орієнтована на KPI з інформацією про процес виготовлення продукції і матеріальних запасів;
- панель технічного обслуговування, що містить ті ключові показники, які мають відношення до активів і технологічного обслуговування;
- панель якості, де наведені KPI якості продукції;
- панель підрозділу або підприємства, що дає збалансований огляд ключових показників результативності, які стосуються виробництва, активів і якості.

Інформаційний портал підприємства утворює свого роду концентратор бізнес-інформації, здатний одержувати дані від усіх ключових підсистем підприємства, перетворювати ці дані за допомогою ділового регламенту і подавати результат у вигляді оперативної KPI-інформації. За допомогою розширеного графічного інтерфейсу виробничу інформацію можна відображати в самому зручному для користувача вигляді: таблиці, графіки, діаграми, гістограми і т.д. Це дозволяє швидко і адекватно сприймати і аналізувати інформацію, підвищувати ефективність прийняття управлінських рішень.

Контрольні запитання і вправи

1. З чим пов'язана інтеграція багаторівневих систем автоматизації?
2. В яких аспектах розглядається інтеграція систем автоматизації?
3. Які програмні, апаратні та комунікаційні засоби інтеграції систем автоматизації використовуються?
4. Які основні складності стандартизації в промисловій автоматизації?
5. У чому полягають основні проблеми обміну даними між АСУ ТП і АСУП?
6. З чим пов'язано виникнення MES та EAM систем? Для чого вони використовуються?
7. Які основні функції може виконувати система T-FACTORY 6 EAM?
8. Які функції мають входити до «повнофункціональної» MES-системи?



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. GPRS – технология пакетной передачи данных в сетях GSM / Кузнецов М.А., Абатуров П.С., Никодимов И.Ю., Певцов Н.В., Рыжков А.Е., Сиверс М.А. – СПб: Судостроение, 2002. – 237 с.
2. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник для вузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др. / Под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш.шк., 2004. – 223 с.
3. Автоматические приборы, регуляторы и управляющие машины: Справочник / Под ред. Б.Д. Кошарского. – 3-е изд. – Л.: Машиностроение, 1976. – 486 с.
4. Альперович И.В. Данные, знания и информация в SCADA пакете iFIX // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2003. – №10. – С. 48-51.
5. Альперович И.В. Интерпретация данных человеко-машинным интерфейсом SCADA пакета iFIX // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – №8. – С. 38-42.
6. Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Харазов В.Г. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. – СПб.: Федоров, 2004. – 366 с.
7. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.
8. Анзимиров Л.В., Медведев С.Р., Айзин В.С. Структура и основные функции Trace Mode 6 и T-Factory 6 // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2003. – №8. – С. 35-41.
9. Анзимиров Л.В. TRACE MODE управление производством. – 1997. – №12. – С. 38-44.
10. Аншина М. Предприятие как единый объект управления // Сети и системы связи. – 1998. – №1. – С. 24-28.
11. Аристова Н.И., Корнеева А.И. Промышленные программно-аппаратные средства на отечественном рынке АСУТП: Практическое пособие для специалистов, занимающихся разработкой и модернизацией СУ на промышленных предприятиях. – М.: Научтехлитиздат, 2001. – 402 с.
12. Архитектуры, модели и технологии программного обеспечения информационно-управляющих систем: Монография / Н.В. Ткачук, В.А. Шеховцов, Д.В. Кукленко, В.Е. Сокол / Под ред. М.Д. Годлевского. – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – 546 с.
13. Аязян Г.К. Расчет автоматических систем с типовыми алгоритмами регулирования: Учеб. пособие. – Уфа.: Изд-во УНИ, 1986. – 135 с.
14. Баталин Г., Васютинский В. Создание распределённых систем сбора данных на основе стандарта OPC // Современные технологии автоматизации. – 2005. – №2. – С. 84-87.

15. Белов М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: Учеб. пособие / М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др. / Под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. – М.: ИЦ "Академия", 2006. – 230 с.
16. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория автоматического регулирования. – М.: Наука, 1966. – 254 с.
17. Бородин И.Ф., Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления: Учебник для техникумов. – М.: Колос, 2005. – 352 с.
18. Брюханов В.Н., Схиртладзе А.Г. Автоматизация производства: Учебник для средних проф. учеб. заведений. – М.: Высш. шк., 2005. – 367 с.
19. Бузинов Р.А. Беспроводные технологии в промышленной автоматике // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2002. – №9. – С. 9-11.
20. Веревкин А.П., Попков В.Ф. Технические средства автоматизации. Исполнительные устройства: Учеб. пособие. – Уфа.: Изд-во УНИ, 1996. – 95 с.
21. Гибко программируемые контроллеры или решение на базе ПК (ООО "Сименс") // Современные технологии автоматизации. – 1998. – №2. – С. 78-79.
22. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: Учебник. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
23. ГОСТ 21.404-85. Обозначения условные приборов и средств автоматизации.
24. ГОСТ 21.408-93. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.
25. ГОСТ 34.003-90. Автоматизированные системы. Термины и определения.
26. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания.
27. Дадаян Л.Г. Автоматизация технологических процессов: Метод. указания к курсовому и дипломному проектированию. – Уфа.: Изд-во УНИ, 1985. – 225 с.
28. Деменков Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУТП: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 328 с.
29. Демидов В. Решение задач оперативного управления производством на различных уровнях информационной структуры предприятия // Современные технологии автоматизации. – 2006. – №1. – С. 14-21.
30. Долгова А. GENESIS32 8.0: что даст обновление системы? // Современные технологии автоматизации. – 2005. – №2. – С. 88-93.

31. Дульнева В.В., Герлецкий М.Ю. Intelligent Production Management – современная концепция интегрированной системы управления производством // Автоматизация в промышленности, – 2003. – №10. – С. 48-53.
32. Дэниел О'Лири. ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – М.: Вершина, 2004. – 208 с.
33. Зайцев Н.Г., Твердохлеб Н.Г., Зорин М.А. Машинная обработка информации в производственном объединении. – К.: Техніка, 1986. – 152 с.
34. Захриев Б.А., Алопов Р.Х. Алгоритмы моделирования и управления технологическими процессами / АН УзССР, Узб. НПО Кибернетика. – Ташкент: Фан, 1989. – 113 с.
35. Золотарев С.В. Системы SCADA в среде ОС QNX // Мир ПК. – 1996. – №4. – С. 114.
36. Иванов А.Н., Золотарёв С.В. Построение АСУ ТП на базе концепции открытых систем // Мир ПК. – 1998. – №1. – С. 40-44.
37. Ицкович Э.Л. Проблемы интеграции систем автоматизации на предприятиях // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – №5. – С. 1-5.
38. Любашин А.Н. Интегрированные системы автоматизации для отраслевых применений // Мир компьютерной автоматизации. – 2001. – №3. – С. 42-46.
39. Кабаев С. SCADA-пакет InTouch в отечественных проектах // Мир компьютерной автоматизации. – 1997. – № 2. – С. 88 – 90.
40. Камразе А.Н., Фитерман М.Я. Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Л.: Химия, 1988. – 225 с.
41. Капустин Н.М. Комплексная автоматизация в машиностроении: Учебник / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, Н.П. Дьяконова / Под ред. Н.М. Капустина. – М.: ИЦ "Академия", 2005. – 368 с.
42. Карагодова Е.А., Антонов В.М., Маслов В.Ф. Автоматизированные рабочие места. – К.: Техніка, 1989. – 128 с.
43. Карелин А.Н. Программируемые микропроцессорные средства управления распределенными объектами // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – №12. – С. 17-19.
44. Каталог "Приборы и средства автоматизации". – М.: Научтехлитиздат. – Т.1: Приборы для измерения температуры, 2004.
45. Каталог "Приборы и средства автоматизации". – М.: Научтехлитиздат. – Т.2: Приборы для измерения давления, перепада давления и разряжения, 2004.
46. Каталог "Приборы и средства автоматизации". – М.: Научтехлитиздат. – Т.3: Приборы для измерения расхода и количества жидкости, газа, пара и учета тепловой энергии, 2004.
47. Каталог "Приборы и средства автоматизации". – М.: Научтехлитиздат. – Т.4: Приборы для измерения и регулирования уровня жидкости и сыпучих материалов, 2004.

48. Каталог "Приборы и средства автоматизации". – М.: Научтехлитиздат. – Т.7: Приборы регулирующие. Сигнализаторы температуры, давления, уровня. Датчики-реле. Исполнительные механизмы, 2005.

49. Каталог "Приборы и средства автоматизации". – М.: Научтехлитиздат. – Т.8: Программно-логические контроллеры (ПЛК) и программно-технические комплексы (ПТК), 2005.

50. Киселев А., Корнеев В. Современные микропроцессоры. – 3-е изд. – СПб.: BHV – Санкт-Петербург. – 2003. – 448 с.

51. Киселёв В. Промышленные компьютеры Advantech: от комплекующих к решениям // Современные технологии автоматизации. – 2005. – №1 – С. 24-31.

52. Ключев А.С., Лебедев А.П., Миф Н.П. Метрологическое обеспечение АСУ ТП. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 159 с.

53. Компьютеризация информационных процессов на промышленных предприятиях / В.Ф. Сытник, Х. Сорока, Н.В. Ерёмкина и др. – К.: Техника, Катовице: Экономическая академия им. Карола Адамецкого, 1991. – 215 с.

54. Кондукова Е. Операционная система реального времени QNX Neutrino 6.3: Системная архитектура: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 316 с.

55. Корнеева А.И. Фирмы промышленной автоматики в России. – М.: Научтехлитиздат, 2003. – 276 с.

56. Кругляк К. Промышленные сети: цели и средства // Современные технологии автоматизации. – 2002. – №4. – С. 6-17.

57. Кузнецов А. SCADA-системы: программистом можешь ты не быть // СТА. – 1996. – № 1. – С. 32-35.

58. Кузьмин Ю.Б. Типовой проект автоматизации технологических процессов на базе технологии Industrial Ethernet // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – №1. – С. 14-21.

59. Кулаков М.В. Технические измерения и приборы для химических производств. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.

60. Лавров А., Филиппов С. Современный сервер промышленных приложений // PC Week/RE. – 2004. – № 46. – С. 25-28.

61. Ляпунов С.И., Корнеева А.И. Некоторые особенности развития SCADA-систем // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2002. – №11. – С. 37-39.

62. Матвейкин В.Г., Фролов С.В., Шехтман М.Б. Применение SCADA-систем при автоматизации технологических процессов. – М: Машиностроение, 2000. – 176 с.

63. Методы и алгоритмы оптимизации АСУ промышленного пользования: Сб. науч. тр. / Под ред. Т.А. Козлика. – К.: Ин-т автоматики, 1991. – 160 с.

64. Мишель Ж. Программируемые контроллеры: Архитектура и применение: Пер с фр. И.В. Федотова / Под ред. Б.И. Лыткина. –

М.: Машиностроение, 1992. – 342 с.

65. Никифоров В.В., Гуцалов Н.В., Червинский М.П. Модель ядра реального времени для встроенных систем // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2003. – №1-2. – С. 62-78.

66. Осадчий Е.П., Карпов В.И. Методы проведения эксперимента при проектировании измерительных элементов систем автоматики и телемеханики: Учеб. пособие. – Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1988. – 84 с.

67. Основы автоматизации машиностроительного производства: Учебник / Е.Р. Ковальчук, М.Г.Косов, В.Г.Митрофанов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М.: Высш.шк., 1999. – 312 с.

68. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И.В. Петров; Под ред. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.

69. Половинкин В. HART-протокол // Современные технологии автоматизации. – 2002. – №1. – С. 6-14.

70. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств: Учеб. пособие. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

71. Проектирование и оптимизация технологических процессов производства электронной аппаратуры: Учеб. пособие / В.Л. Ланин, В.А. Емельянов, А.А. Хмыль. – Мн.: БГУИР, 1998. – 196 с.

72. Проектирование систем автоматизации техническими процессами: Справ. пособие / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; Под ред. А.С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

73. Рачков М.Ю. Пневматические средства автоматизации: Учеб. пособие для вузов / М.Ю. Рачков. – М.: МГИУ. – 2005. – 288 с.

74. РД 50-34.119-90 Рекомендации. Архитектура локальных вычислительных сетей в системах промышленной автоматизации.

75. РД 50-680-88 Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения.

76. Рогов В.А., Чудаков А.Д. Средства автоматизации производственных систем машиностроения. – М.: Высш.шк., 2005. – 399 с.

77. Родионов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.Б. Технические средства АСУ ТП: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 262 с.

78. Рождественский Д.А. Автоматизированные комплексы распределенного управления: Учеб. пособие. – Томск: ТМЦДО, 2002. – 124 с.

79. Русеев Д.С. Технология беспроводного доступа. – СПб.: ВНУ-Санкт-Петербург, 2002. – 352 с.

80. Соболев О.С. О применении методов искусственного интеллекта в системах управления // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2003. – №12. – С. 35-36.

-
81. Справочник проектировщика АСУ ТП / Под ред. Г.Л. Смилянского. – М.: Машиностроение, 1983. – 527 с.
82. Стефани Е.П. Основы построения АСУТП: Учеб. пособие. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
83. Сюч Э.О. Интернет-технологии в информационных системах – следующий шаг к гибкости в представлении данных // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2003. – №9. – С. 36-38.
84. Таланов В.Д. Технические средства автоматизации / Под ред. А.С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Испо-Сервис, 2002. – 248 с.
85. Теория автоматического управления: Учебник / В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, С.П. Протопопов и др.; Под ред. Ю.М.Соломенцева. – 3-е изд. – М.: Высш.шк., 2000. – 268 с.
86. Теория автоматического управления: Учебник: В 2 ч. / Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высш.шк., 1986. – Ч.1. – 367 с. – Ч.2. – 504 с.
87. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: Учебник / А.П. Достанко, В.Л. Ланин, А.А. Хмыль, Л.П. Ануфриев; Под общ. ред. А.П. Достанко. – Мн.: Высш.шк., 2002. – 415 с.
88. Тирш Ф. Введение в технологию LONWORKS. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 144 с.
89. Третьяков Э.А., Игнатова Л.А. Автоматизированные системы управления производством. – М.: Машиностроение, 1991. – 94 с.
90. Хесс Д. Объектно-ориентированные расширения МЭК 61131-3 // Современные технологии автоматизации. – 2006. – №2. – С. 90-93.
91. Христенсен Д. Знакомство со стандартом на языки программирования PLC IEC 1131-3 // Мир компьютерной автоматизации. – 1997. – № 2. – С. 24-25.
92. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов. – М.: Academia, 2005. – 352 с.



ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Автоматизована система управління
- класифікація 13-14
- підприємством 9
- структура 20-22
- технологічними процесами 9
Автоматизоване робоче місце 24
Автоматичне
- регулювання 9
- управління 9
Аларм 50, 58
Архівування 57
Архітектура
- ПЛК 95-96
- промислового комп'ютера 114
- системи реального часу 154-155
- SCADA-системи 51, 55
- База даних
- SCADA-системи 57
- реального часу 57
- Взаємодія 122
Взаємозамінність 122
Взаємозв'язок 122
Виконавчі механізми 88-89
Вимірники
- абсолютні 81
- накопичуючі 81
- переміщень 80
- фотоелектричні 81
Виробничий процес
- структура 13-14
- фази 12-13
Відкритість 36
Відлік
- абсолютний 76
- відносний 76
- Генератор звітів 59
Гістерезис 76
- Датчики
- безконтактні 76
- волоконно-оптичні 80
- генераторні 78
- ємнісні 78-79
- інтелектуальні 86
- контактні 76
- локаційні 84
- магнітогерконові 77-78
- переміщення 80-81
- положення 77
- потенціометричні 80
- рівня 83
- силомоментні 81
- температури 83
- фотоелектричні 79
Джерела живлення 65
Диференціал ходу 77
Динамічний обмін даними 171
Диспетчерський пункт управління 51
Драйвер 55-56
- Ергономіка 201
- Зв'язок
- безпроводний 140
- зворотний 14
- мобільний 144
- прямий 104
- радіо- 141
- супутниковий 144
Зона чутливості 77
- Інструментальне середовище розробки 55
Інтеграція 211
Інтерфейс
- RS-232C 126
- RS-422 126
- RS-485 126
Історія 50, 58
- Канал передачі даних 125
Класи контролерів 92
Когнітивні образи 207
Комплексний підхід 37
Комунікаційна система 54
Контролери
- локальні програмувальні логічні 65, 93, 95
- маломасштабні розподілені 94
- мережні 93
- на базі персональних комп'ютерів 92, 113
- повномасштабні розподілені 94
Конструктиви 65
Корпуси 65
Крок 104
- Лінійність 75
Лінія зв'язку 125
Людино-машинний інтерфейс 53
- Менеджер рецептів 58
Мережі
- промислові 121
- офісні 121
- сенсорні 121

- Мережні топології
 - зірка 124-125
 - кільце 124-125
 - шина 124-125
 Метод
 - прямої послідовності 141
 - частотних стрибків 141
 Методи доступу до шини
 - CSMA/CD 128
 - Master/Slave 127
 - Token Passing Model 128
 Мнемосхема 192-193, 202
 Мови програмування
 - FBD 105
 - IL 112
 - LD 110
 - SFC 103
 - ST 112
 Монітор
 - промисловий 71
 - реального часу 185
 Мутекс 160

 Надійність 19-20, 37
 Надмірність 37
 Накопичувач інформації 66, 68, 70
 Нечітка логіка 26

 Об'єкт управління 16-17
 Операційна система реального часу
 - архітектура 153-155
 - класифікація 152

 Параметри
 - вимірювані 60
 - вихідні 61
 - вхідні 61
 - зосереджені 63
 - ідентифікуючі 61
 - інформативні 62
 - керовані 60, 62
 - керуючі 61-62
 - контрольовані 62
 - контролюючі 61
 - неінформативні 62
 - неконтрольовані 62
 - невимірювані 60
 - некеровані 60
 - проміжні 61
 - рахункові 61
 - розподілені 63
 Паспортизація 27, 188, 219
 Передача маркера 128
 Перетворювач
 - аналого-цифровий 42
 - цифро-аналоговий 42
 Перетворюючий елемент 75

 Перехід 104
 Петля 105
 Планувальник задач 157
 Повторюваність 76
 Позиціонер 89-90
 Польовий рівень 75
 Послідовний інтерфейс 126
 Похибка виміру 75
 Пристрій
 - введення-виведення 68-69
 - зв'язку з об'єктом 68-69
 - флеш-пам'яті 70
 Програмно-технічний комплекс 91
 Програмувальний логічний контролер
 - архітектура 95-96
 - програмування 103
 Промислова автоматизація 10-11
 Промисловий комп'ютер
 - архітектура 114
 - вбудований 115
 - класифікація 115
 - панельний 115
 Протокол передачі даних
 - HART 139
 - MODBUS 133

 Резервування 20, 40, 44, 53, 54, 66, 93, 99
 Регулювання
 - ПДД 107
 - ПІД 107-109
 Редактор
 - бази каналів 55-56
 - подання даних 56
 - шаблонів 56
 Ресурс 159
 Рівень
 - виконання 35
 - виникнення інформації 42
 - інтеграційний 9, 207
 - контролю і управління 43-44
 - корпоративної інформаційної системи 47
 - магістральної мережі 45
 - периферійного устаткування 122
 - підприємства 122
 - планування 35
 - польовий 75
 - промислових контролерів 122
 - цеху 122
 - НМІ 46
 Робочий
 - цикл ПЛК 98
 - зазор 77
 Розгалуження 104-105
 Роздільна здатність 75
 Розподілені системи управління 21-22

 Світловий бар'єр 80

- Сервер
 - головний 51, 53
 - архівування 57
 - документування 57
 - OPC 59, 174
 - Web 57, 179
- Середовище виконання 55
- Сигнал
 - аналоговий 75
 - бінарний 75
 - дискретний 75
- Синхронізація 158
- Системи
 - автоматичного регулювання 9
 - автоматичного управління 9
 - адаптивні 27
 - відкриті 121
 - диспетчерського управління 20, 50
 - закриті 121
 - інформаційні 17
 - інформаційно-довідкові (пасивні) 17
 - інформаційно-порадні (активні) 17-18
 - інформаційно-керуючі 19
 - керуючі 17, 19
 - комунікаційні 54
 - контролю і обліку електроенергії 20
 - операційні 44-45, 52, 152
 - прямого цифрового управління 20
 - реального часу 44, 151-152
 - супервізорного управління 19-20
 - технічного зору 84-85
 - EAM 35, 216
 - ERP/MRP 35
 - MES 35, 216
 - SCADA 34-35, 49
- Системний інтегратор 29
- Смуга перетворення 76
- Стандарт IEC 61131 101
- Стандартизація 36
- Стояки 65
- Структура
 - децентралізована 20-21
 - ієрархічна 21-22
 - централізована 20-21
 - централізована розподілена 21-22
- Телекомунікаційне устаткування 71-72
- Тензорезистор 82
- Техніка
 - вимірювальна 64
 - електровстановлювальна 65
- Технологічні операції 12
- Технологічний процес
 - безперервний 12
 - дискретний 12
 - керований 13
- Термінал
 - видалений 51-52
- термопара 83
- Типізація 36
- Тиражованість 37
- Тренди 58
- Управління
 - диспетчерське 9-10, 20, 50
 - об'єкт 16-17
 - основними фондами 219
 - персоналом 223
 - складність 15
 - Управляючий логічний пристрій 16
- Фази виробничого процесу 12-13
- Фізичне середовище передачі даних 123, 127
- Функції
 - допоміжні керуючі 42
 - інформаційні 41
 - контролерів 91
 - керуючі 40-41
 - мови FBD 106-107
 - розподіленої АСУ ТП 40
 - SCADA-систем 50
- Функціональний блок 58, 105
- Час
 - відгуку 76
 - спрацьовування 77
- Чутливий елемент 75
- Чутливість 75
- Шафи 65
- Шини
 - CANbus 137
 - CompactPCI 116
 - PC/104 115
 - PMC 117
 - Profibus 135
 - PXI 116
 - STD32 116
 - VME 116

Навчальне видання

Федорович Олег Євгенович

Прохоров Олександр Валерійович

Головань Костянтин Владиславович

**СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ
РОЗПОДІЛЕНИМИ ВИРОБНИЦТВАМИ**

Редактор Т.Г. Кардаш

Зв. план, 2006

Підписано до друку 11.10.2006

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 13,1. Обл.-вид. арк. 14,75.

Наклад 100 екз. Замовлення 545. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського

"Харківський авіаційний інститут"

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр "ХАІ"

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu