

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УЧЕБНИК ДЛЯ СПО

Под общей редакцией **О. С. Колосова**

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебника для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования*

Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

Москва ■ Юрайт ■ 2018

УДК 65.011.56(075.32)

ББК 32.965я723

A22

**Ответственный редактор:**

**Колосов Олег Сергеевич** — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры управления и информатики Института автоматизации и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ».

**Рецензенты:**

*Лохин В. М.* — доктор технических наук, профессор кафедры проблем управления Московского технологического университета (МИРЭА);

*Певзнер Л. Д.* — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации Института информационных технологий и автоматизированных систем управления Национального исследовательского технологического университета МИСиС.

A22 **Автоматизация производства** : учебник для СПО / под общ. ред. О. С. Колосова. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 291 с. — (Серия : Профессиональное образование).

ISBN 978-5-534-10317-5

Учебник в разной степени (не претендуя на охват «необъятного») подкрепляет и дополняет материалы, излагаемые в соответствии с рабочими программами комплекса дисциплин профессионального цикла подготовки бакалавров по направлению «Управление в технических системах», входящих в базовую и вариативную части учебного плана: метрология и измерительная техника; электроника; технические средства автоматизации и управления; микроконтроллеры и микропроцессоры в системах управления; элементы систем управления; электромеханические системы; автоматизированные информационно-управляющие системы.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

*Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по инженерно-техническим специальностям.*

УДК 65.011.56(075.32)

ББК 32.965я723



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-534-10317-5

© Коллектив авторов, 2016

© ООО «Издательство Юрайт», 2018

## Оглавление

Авторский коллектив .....	8
Список принятых сокращений .....	9
Предисловие .....	10
<b>Глава 1. Автоматизированные системы управления, системы автоматике и автоматического управления и их технические средства .....</b>	<b>13</b>
1.1. Классификации автоматизированных систем управления и систем автоматического управления. Обобщенные функциональные схемы. Понятие «SCADA-система» .....	13
1.2. Основные принципы построения автоматизированной системы управления производством .....	18
1.3. Особенности практического построения автоматизированных систем .....	20
1.3.1. Автоматизированная система управления технологическим процессом на базе программируемого логического контроллера для технических объектов .....	20
1.3.2. SCADA-система в структуре автоматизированной системы управления .....	22
1.3.3. ERP-системы в составе автоматизированной системы управления предприятием .....	26
1.3.4. Особенности построения автоматизированной системы научных исследований .....	26
1.4. Основные этапы и тенденции развития технических средств автоматизированных систем управления и систем автоматического управления .....	27
1.5. Принципы подбора технических средств проектируемой системы в соответствии с техническим заданием .....	28
1.5.1. Разработка технического задания на проектируемую систему .....	28
1.5.2. Базовые физические величины и соотношения для описания работы электромеханических средств систем автоматического управления .....	30
1.5.3. Пример задания на проектирование угловой следящей системы и основные этапы проектирования .....	32
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	34
<b>Глава 2. Электрические датчики физических величин и параметров технологических процессов .....</b>	<b>35</b>
2.1. Виды датчиков с электрическим выходом .....	35
2.2. Контактные и потенциометрические датчики .....	37
2.2.1. Контактные датчики .....	37
2.2.2. Реостатные и потенциометрические датчики .....	39
2.3. Тензометрические и пьезоэлектрические датчики .....	41
2.3.1. Пьезоэлектрические датчики .....	41
2.3.2. Тензометрические датчики .....	43

2.4. Индуктивные и трансформаторные датчики.....	44
2.4.1. Индуктивные датчики .....	44
2.4.2. Трансформаторные датчики.....	47
2.5. Емкостные датчики .....	48
2.6. Датчики температуры.....	51
2.6.1. Термометры сопротивления .....	51
2.6.2. Термопара.....	52
2.6.3. Пирометры .....	54
2.7. Ультразвуковые и струнные датчики.....	54
2.7.1. Ультразвуковые датчики .....	54
2.7.2. Струнные датчики.....	56
2.8. Фотоэлектрические датчики .....	57
2.8.1. Фотоэлектрические датчики с внешним фотоэффектом.....	57
2.8.2. Фотоэлектрические датчики с внутренним фотоэффектом .....	58
2.8.3. Фотоэлектрические датчики с вентильным фотоэффектом .....	59
2.9. Энкодеры .....	60
2.9.1. Оптические энкодеры .....	61
2.9.2. Магнитный энкодер.....	62
2.9.3. Магниторезистивный энкодер.....	62
2.10. Датчики Холла .....	63
2.11. Методика испытаний датчиков.....	64
<i>Контрольные вопросы и задания .....</i>	<i>65</i>

### **Глава 3. Электромеханические средства систем автоматического управления...67**

3.1. Электромагниты, электромагнитные реле, трансформаторы.....	67
3.2. Электромашинные устройства автоматических систем.....	72
3.2.1. Классификация электрических машин .....	72
3.2.2. Машины постоянного тока .....	73
3.2.2.1. Устройство и общие вопросы функционирования.....	73
3.2.2.2. Генераторы, тахогенераторы .....	77
3.2.2.3. Двигатели постоянного тока с независимым возбуждением при якорном управлении.....	79
3.2.2.4. Двигатели постоянного тока с независимым возбуждением при полюсном управлении.....	85
3.2.2.5. Принципы управления двигателями постоянного тока .....	86
3.2.3. Машины переменного тока .....	88
3.2.3.1. Устройство и общие вопросы функционирования.....	88
3.2.3.2. Асинхронные двигатели .....	95
3.2.3.3. Принципы управления асинхронными двигателями .....	101
3.2.3.4. Генераторы переменного тока .....	105
3.2.3.5. Асинхронные тахогенераторы.....	107
3.2.3.6. Синхронные двигатели. Шаговые и бесконтактные двигатели постоянного тока .....	108
3.3. Электромеханические устройства измерения рассогласования .....	114
3.3.1. Потенциометрические измерители рассогласования .....	115
3.3.2. Трансформаторные измерители рассогласования .....	118
3.3.2.1. Измерители рассогласования на сельсинах .....	118
3.3.2.2. Измерители рассогласования на вращающихся трансформаторах .....	122
3.3.3. Вопросы повышения точности измерителей рассогласования .....	124
3.4. Пример выполнения этапа выбора исполнительного двигателя с учетом силового редуктора при проектировании угловой следящей системы .....	125

3.5. Пример выполнения этапа расчета двухтактного усилителя мощности при проектировании угловой следящей системы.....	129
3.6. Пример выполнения этапа выбора элементов устройства измерения рассогласования при проектировании угловой следящей системы .....	133
3.7. Методика испытаний электрических микромашин.....	135
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	137
<b>Глава 4. Усилительно-преобразовательные элементы автоматических систем и систем автоматического управления и микропроцессорные регуляторы.....</b>	<b>139</b>
4.1. Преобразование сигналов в автоматических системах и системах автоматического управления .....	139
4.2. Демодуляторы и модуляторы .....	141
4.2.1. Однополупериодный демодулятор на поляризованном реле.....	141
4.2.2. Однополупериодный демодулятор на транзисторах в ключевых режимах.....	144
4.2.3. Однополупериодные транзисторные модуляторы.....	144
4.2.4. Двухполупериодные демодуляторы и модуляторы.....	146
4.3. Аналоговая и цифровая электроника.....	146
4.3.1. Операционные усилители.....	147
4.3.2. Цифровая электроника .....	150
4.4. Микропроцессорные регуляторы автоматических систем и систем автоматического управления .....	153
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	156
<b>Глава 5. Аппаратно-программные средства автоматизации.....</b>	<b>158</b>
5.1. Средства управления объектом автоматизации.....	158
5.1.1. Выбор электронно-вычислительной машины для построения автоматизированной системы управления .....	158
5.2. Архитектурные возможности электронно-вычислительных машин в автоматизированных системах.....	160
5.2.1. Центральный процессор .....	161
5.2.2. Основная память .....	163
5.2.3. Каналы ввода-вывода информации .....	165
5.2.4. Структура магистралей электронно-вычислительных машин .....	166
5.2.5. Типовые сигналы шины управления .....	167
5.3. Принципы организации обмена данными между электронно-вычислительной машиной и внешними устройствами .....	168
5.4. Основные методы программно управляемой передачи данных.....	169
5.4.1. Безусловный обмен данными между электронно-вычислительной машиной и внешними устройствами .....	170
5.4.1.1. Техническая реализация устройства связи с объектом в автоматизированных системах на основе электронно-вычислительной машины семейства <i>IBM</i> .....	173
5.4.1.2. Программные средства реализации безусловного обмена данными между ЭВМ и внешними устройствами .....	175
5.4.2. Обмен данными между электронно-вычислительной машиной и внешним устройством по готовности внешнего устройства.....	176
5.4.2.1. Функциональная схема интерфейса обмена данными по готовности внешнего устройства .....	177
5.4.2.2. Техническая реализация интерфейса обмена данными по готовности .....	179
5.4.2.3. Программные средства реализации методики обмена данными между электронно-вычислительной машиной и внешним устройством по готовности.....	183

5.4.3. Обмен данными между электронно-вычислительной машиной и внешними устройствами с прерыванием текущей программы.....	184
5.4.3.1. Механизм приоритетов, вложенные прерывания.....	189
5.4.3.2. Принципы работы интерфейса обмена данными с прерыванием программы.....	191
5.4.3.3. Техническая реализация интерфейса обмена данными с прерыванием программы.....	192
5.4.3.4. Схема подключения программируемого контроллера прерываний к системной шине и внешним устройствам .....	195
5.4.3.5. Функциональный состав и программная модель программируемого контроллера прерываний.....	196
5.4.3.6. Алгоритмы обслуживания прерываний .....	198
5.4.3.7. Схема каскадирования и алгоритмы работы ведущего и ведомых контроллеров прерываний .....	199
5.4.3.8. Методика программирования обмена данными между электронно-вычислительной машиной и внешним устройством с прерываниями программы.....	200
5.4.3.9. Реализация методики обмена данными между между электронно-вычислительной машиной и внешним устройством с прерыванием программы в автоматизированных системах на основе электронно-вычислительных машин семейства <i>IBM</i> (в среде <i>Borland Pascal</i> ) .....	202
5.4.3.10. Техническая реализация интерфейса обмена данными с прерыванием текущей программы в автоматизированных системах на основе электронно-вычислительных машин семейства <i>IBM</i> .....	203
5.4.3.11. Категории прерываний электронно-вычислительных машин семейства <i>IBM PC</i> .....	205
5.5. Программируемые интервальные таймеры-счетчики.....	208
5.5.1. Основные характеристики таймеров-счетчиков.....	209
5.5.2. Программируемый таймер-счетчик <i>Intel 8253, 8254</i> .....	210
5.5.3. Схема включения программируемого интервального таймера в автоматизированную систему.....	210
5.5.4. Форматы регистров программируемого интервального таймера.....	213
5.5.5. Режимы работы таймера.....	215
5.5.6. Методика программирования работы каналов таймера .....	216
5.5.7. Синхронизация операций реального времени в электронно-вычислительных машинах семейства <i>IBM</i> .....	219
5.5.8. Назначение каналов программируемого интервального таймера в электронно-вычислительных машинах семейства <i>IBM</i> .....	220
5.5.9. Примеры программирования программируемого интервального таймера в среде <i>Borland Pascal</i> .....	221
5.5.10. Программируемый интервальный таймер <i>Intel 8253 (К-580ВИ53)</i> на интерфейсной карте <i>L-154</i> .....	223
5.6. Многоканальный режим измерения сигналов (основные понятия) .....	225
5.7. Обмен данными между электронно-вычислительной машиной и внешними устройствами в режиме прямого доступа к памяти .....	226
5.7.1. Функциональная схема соединения компонентов системы при выполнении обмена ПДП и алгоритм их взаимодействия.....	227
5.7.2. Программная модель КППД и интерфейса внешнего устройства.....	228
5.7.3. Методика запуска обмена по каналу ПДП .....	231
5.7.4. Реализация ПДП в электронно-вычислительных машинах на основе единого магистрального канала обмена данными .....	232
5.7.5. Реализация ПДП в электронно-вычислительных машинах на основе изолированных каналов обмена данными (семейство <i>IBM</i> ) .....	233

5.7.6. Режимы работы контроллера ПДП .....	233
5.7.7. Схема связи КПДП с внешним устройством, центральным процессором, системной шиной и назначение выводов большой интегральной схемы .....	233
5.7.8. Функциональный состав и программная модель контроллера ПДП.....	236
5.7.9. Регистры каналов контроллера ПДП .....	239
5.7.10. Регистр временного хранения данных при передаче память/память.....	242
5.7.11. Каскадирование контроллеров ПДП .....	242
5.7.12. Методика программирования контроллера ПДП.....	243
5.7.13. Реализация методики программирования контроллера ПДП .....	244
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	245
<b>Глава 6. Программируемые логические контроллеры в системах автоматизации и управления</b> .....	<b>248</b>
6.1. Понятие программируемого логического контроллера и области их применения .....	248
6.2. Состав программируемого логического контроллера.....	249
6.2.1. Модуль центрального процессора и его составляющие.....	251
6.2.2. Модули ввода/вывода .....	254
6.2.3. Сенсорные панели .....	256
6.3. Интерфейсы связи, используемые в программируемых логических контроллерах.....	257
6.3.1. Интерфейсы последовательной передачи данных RS232 и RS485.....	257
6.3.2. Интерфейс USB .....	260
6.3.3. Ethernet .....	261
6.3.4. Модемное соединение по проводной линии и радиоканалу .....	261
6.4. Стандартные языки программирования логических контроллеров.....	262
6.4.1. Релейные диаграммы .....	265
6.4.2. Функциональные блочные диаграммы .....	266
6.4.3. Последовательные функциональные диаграммы.....	268
6.4.4. Структурированный текст .....	269
6.5. Примеры программируемых логических контроллеров .....	269
6.5.1. Внешние модули ввода/вывода ADAM.....	270
6.5.2. Микроконтроллеры серии DL205 фирмы <i>KOYO</i> .....	271
6.5.3. Микроконтроллеры серии CP1L фирмы <i>Omron</i> .....	272
6.5.4. Микроконтроллеры серии MOSCAD фирмы <i>Motorola</i> .....	274
6.5.5. Микроконтроллеры серии ACE3600 фирмы <i>Motorola</i> .....	276
6.6. Примеры решаемых программируемыми логическими контроллерами задач и их решение.....	277
6.6.1. Задача автоматизированного управления накопительным баком .....	277
6.6.2. Управление трехцветными светофорами .....	281
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	288
<b>Рекомендуемая литература</b> .....	<b>289</b>

## **Авторский коллектив**

**Колосов Олег Сергеевич** — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры управления и информатики Института автоматки и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ» (Московского энергетического института).

**Баларев Дмитрий Александрович** — старший преподаватель кафедры управления и информатики Института автоматки и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ» (Московского энергетического института).

**Вершинин Дмитрий Викторович** — кандидат технических наук, доцент кафедры управления и информатики Института автоматки и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ» (Московского энергетического института).

**Есюткин Алексей Алексеевич** — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и информатики Института автоматки и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ» (Московского энергетического института).

**Прокофьев Николай Александрович** — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и информатики Института автоматки и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ» (Московского энергетического института).



## Список принятых сокращений

- АРМ** — автоматизированное рабочее место  
**АСНИ** — автоматизированная система научных исследований  
**АСУ** — автоматизированная система управления  
**АСУП** — автоматизированная система управления производством  
**АСУТП** — автоматизированная система управления технологическим процессом  
**АТК** — автоматизированный технологический комплекс  
**АЦП** — аналого-цифровой преобразователь  
**БД** — база данных  
**ВТ** — вычислительная техника  
**ДВ** — двигатель  
**ЗУ** — запоминающее устройство  
**ИУ** — исполнительное устройство  
**КТС** — комплекс технических средств  
**О** или **ОУ** — объект автоматизации (управления)  
**ОЗУ** — оперативное запоминающее устройство  
**ПК** — промышленный контроллер  
**ПЛК** — программируемый логический контроллер  
**ПО** — программное обеспечение  
**СА** — автоматическая система  
**САУ** — система автоматического управления  
**СУБД** — система управления базами данных  
**ТЗ** — техническое задание  
**ТОУ** — технический объект управления  
**ТП** — технологический процесс  
**УМ** — усилитель мощности  
**УПУ** — усилительно-преобразовательное устройство  
**УС** — устройство сравнения (измеритель рассогласования)  
**УСО** — устройство сопряжения с объектом  
**ЦАП** — цифро-аналоговый преобразователь

## Предисловие

Технические средства автоматизации и управления образуют сложную и объемную часть общей профессиональной подготовки по специальности «Управление в технических системах». Достаточно сказать, что выпущенный в СССР в середине 1970-х гг. под редакцией В. В. Солодовникова уникальный трехтомник «Техническая кибернетика. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления» насчитывает свыше 2000 страниц текста. При этом устарело за прошедшие годы не более 20% изложенного в трехтомнике материала. В то же время появляются качественно новые и совершенствуются известные элементы, используемые в практике построения автоматизированных и автоматических систем управления. К ним относятся датчики технологических величин с электрическим выходом (аналоговым или цифровым), аналоговые и дискретные преобразовательные устройства, непрерывные и импульсные усилители мощности, исполнительные двигатели различных типов и мощностей, управляющие ЭВМ и контроллеры. Последние включают программируемые логические контроллеры (ПЛК), используемые в составе автоматизированных систем управления (АСУ), и промышленные контроллеры (ПК), применяемые для непосредственного управления объектом (технологическим процессом). Необходимыми элементами систем автоматизации являются устройства сопряжения объекта автоматизации (УСО) с управляющей ЭВМ. К ним относятся аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП), прерыватели, таймеры и т.п. Вся эта масса необходимой информации о технических средствах систем автоматизации и управления принципиально не может быть изложена в рамках одной дисциплины стандарта подготовки бакалавров с аналогичным названием.

Данный учебник в разной степени подкрепляет и дополняет материалы, излагаемые в соответствии с рабочими программами, следующих дисциплин профессионального цикла подготовки студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования по специальности «Управление в технических системах», входящих в базовую и вариативную часть:

- Метрология и измерительная техника;
- Электроника;
- Технические средства автоматизации и управления;
- Микроконтроллеры и микропроцессоры в системах управления;
- Элементы систем управления;
- Электромеханические системы;
- Автоматизированные информационно-управляющие системы.

В результате изучения блока названных дисциплин в частях, относящихся к техническим средствам автоматизации и управления, студент должен:

### ***трудовые действия***

- владения основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией;
- приемами выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечения для их решения соответствующего физико-математического аппарата
- навыками проведения технического оснащения рабочих мест и размещения технологического оборудования;
- навыками выполнения экспериментов на действующих объектах по заданным методикам и обработки результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;

### ***необходимые умения***

- участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания систем и средств автоматизации и управления;
- производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления и выбирать стандартные средства автоматизации, измерительной и вычислительной техники для проектирования систем автоматизации и управления в соответствии с техническим заданием;
- принимать участие в работах по изготовлению, отладке и сдаче в эксплуатацию систем и средств автоматизации и управления;
- принимать участие в разработке и изготовлении стендов для комплексной отладки и испытаний программно-аппаратных управляющих комплексов;

### ***необходимые знания***

- методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;
- методов сбора и анализа научно-технической информации, обобщения отечественного и зарубежного опыта в области средств автоматизации и управления, проведения анализа патентной литературы.

Данный учебник базируется на материалах учебно-методических комплексов дисциплин, читаемых преподавателями кафедры управления и информатики Института автоматизации и вычислительной техники Национального исследовательского университета «МЭИ».

В конце учебника приведен список рекомендованной литературы, ориентированный на соответствующие главы учебника. В него входят как новинки, так и ранняя литература (в том числе и справочная), не потерявшая свою актуальность и полезность сегодня.

В силу того что различные колледжи и вузы обладают разными возможностями для проведения лабораторных практикумов по названным выше дисциплинам, а также большого разнообразия видов аппаратных средств, которые необходимо отразить хотя бы в минимальном объеме, методическое наполнение лабораторных работ здесь не рассматривается. Это же относится к тематике проведения практических занятий в соответствии с рабочими программами тех или иных дисциплин, в которых они предусмотрены.

Работа над текстом рукописи учебника распределилась следующим образом:

- профессор О. С. Колосов — общее редактирование рукописи, предисловие, гл. 1, 3, 4;
- старший преподаватель Д. А. Баларев — гл. 1, 6;
- доцент Д. В. Вершинин — гл. 4;
- доцент А. А. Есюткин — гл. 1, 5;
- доцент Н. А. Прокофьев — гл. 2.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам рукописи данного учебника: доктору технических наук, профессору кафедры проблем управления Московского технологического университета (МИРЭА) Валерию Михайловичу Лохину и доктору технических наук, профессору кафедры автоматизации Института информационных технологий и автоматизированных систем управления Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» Леониду Давидовичу Певзнеру за их труд по рецензированию, а также за конструктивную и полезную критику.

# Глава 1

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ И АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

---

В результате изучения материала главы 1 студент должен:

**знать**

- современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;
- методы сбора и анализа научно-технической информации, обобщения отечественного и зарубежного опыта в области средств автоматизации и управления, проведения анализа патентной литературы;

**уметь**

- участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания систем и средств автоматизации и управления;

**владеть**

- основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией.
- 

### 1.1. Классификации автоматизированных систем управления и систем автоматического управления.

#### Обобщенные функциональные схемы. Понятие «SCADA-система»

Стремительное развитие управляющей вычислительной техники во второй половине XX в. позволило успешно осуществлять комплексную автоматизацию не только в сферах материального производства, но и в документообороте, военном деле и сфере научных исследований. Помимо широко распространенных к тому времени таких понятий, как автоматические системы и системы автоматического управления, появляются автоматизированные системы управления, к которым относятся автоматизированные системы управления предприятием, автоматизированные системы управления технологическими процессами, автоматизированные системы научных исследований и ряд других систем. Характерной особенностью любых АСУ является наличие в составе таких систем человека (оператора, исследователя или лица, принимающего решение (ЛПР)). Эта особенность отличает их от СА и САУ, которые полностью исключают участие человека в процессе управления. Вместе с тем в большинстве случаев АСУ, такие как АСУТП или АСНИ, могут содержать в своем составе различного рода СА и САУ.

Поясним сказанное, дав некоторые определения и рассмотрев примеры. В любом автоматизированном комплексе можно выделить следующие основные компоненты.

1. *Объект (О) автоматизации* или *объект управления (ОУ)*, который должен воспринимать и соответствующим образом реагировать на управляющие воздействия. В качестве объектов могут выступать:

а) физические объекты:

- технические комплексы и установки с управляемым технологическим процессом,
- простые и сложные транспортные средства,
- новые материалы и образцы приборов,
- конструкции, испытываемые на прочность;

б) физические модели объектов, например аэродинамическая труба с макетом самолета;

в) математические модели, реализованные на аналоговых или цифровых электронно-вычислительных машинах (ЭВМ).

2. *Исполнительные устройства (ИУ)*, или *устройства непосредственного управления*, объектом служат для изменения состояния объекта в соответствии с сигналами управления на их входах. В качестве ИУ могут выступать исполнительные двигатели разных типов (ДВ), клапаны, переключатели и т.п. В состав ИУ могут также входить усилители мощности (УМ) и усилительно-преобразовательные устройства (УПУ), обеспечивающие согласование и усиление входных сигналов, поступающих на ИУ.

3. *Датчики (Д)*, или *устройства измерения* параметров объекта (технологического процесса), служат для преобразования информации об объекте в форму, удобную для дальнейшего использования, — обычно в электрический сигнал. В автоматизированных системах измеряются различные физические величины: напряжение, ток, температура, давление, линейные или угловые перемещения и т.д.

Под *управлением* будем понимать некий процесс, обеспечивающий достижение поставленной цели. Управление техническими объектами можно разделить на три вида: ручное, автоматическое и автоматизированное. Ручное управление далее не рассматривается.

*Автоматическое управление* включает в себя две группы систем управления объектом, показанные на рис. 1.1. Это системы автоматики (СА), работающие по разомкнутому циклу, и замкнутые системы автоматического управления (САУ), помеченные на рис. 1.1 соответственно как *а* и *б*.

Системы автоматики — это системы автоматического контроля, сигнализации, пуска и остановки агрегатов, блокировки и защиты (см. рис. 1.1, *а*), которые обеспечивают безаварийную работу технологического оборудова-

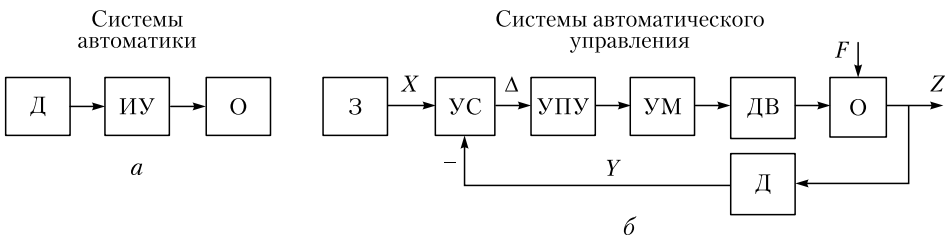


Рис. 1.1. Две группы автоматических систем

ния, страхуют обслуживающий персонал от ошибочных действий и оперативно дают ему информацию о предельных значениях параметров технологического процесса. Для реализации подобных систем используются соответствующие датчики, индикаторы и автоматические выключатели.

К значительно более сложным автоматическим системам следует отнести САУ (см. рис. 1.1, б). Подобные системы во многих случаях являются так называемыми локальными автоматическими системами в составе общей АСУТП, обеспечивающей управление технологическим процессом сложного объекта.

В качестве простого примера рассмотрим «технологический процесс» управления скоростью и направлением движения корабля. Оба этих параметра задают операторы (капитан и рулевой). Предположим, что эти параметры (команды) на некотором временном интервале фиксированы. Обратимся к управлению направлением движения корабля. На рис. 1.1, б представлена функциональная схема САУ, реализующая подобное управление. Сигнал управления  $X$ , задающий угол поворота руля корабля, поступает от штурвала рулевого после соответствующего преобразования в виде электрического сигнала на вход устройства сравнения (УС) САУ. Блок З на схеме — это задающее устройство (в данном примере — сам рулевой). На УС также поступает сигнал отрицательной обратной связи  $Y$  от датчика (Д) углового положения руля корабля. Если разность этих сигналов  $\Delta$ , которая в теории автоматического управления называется ошибкой, не будет равна нулю, то эта разность, пройдя усилительно-преобразовательное устройство (УПУ) и усилитель мощности (УМ), поступает на двигатель (ДВ).

В качестве УПУ во многих системах используются промышленные контроллеры (ПК), которые также могут выполнять функции усилителя мощности. Двигатель через силовой редуктор будет разворачивать руль корабля (на схеме обозначен как О — объект управления) до тех пор, пока сигнал  $Y$  от датчика на руле корабля не станет равным задающему сигналу  $X$ . Это самый распространенный в САУ принцип управления «по отклонению». Достоинством такого принципа управления является то, что САУ «отрабатывает» не только сигнал управления  $X$ , но и компенсирует влияние возмущения  $F$ . В рассматриваемом примере это дополнительные механические моменты, действующие на руль корабля, связанные с подводными течениями, турбулентностью и т.д.

Фактически рассматриваемая САУ является усилителем мощности. Подобные системы называют «следящими системами», или «сервосистемами». Аналогично, укрупненно можно составить функциональную схему управления скоростью движения судна. Составляющие функциональные блоки могут быть значительно сложнее, но в контуре обязательно сохранится отрицательная обратная связь.

Отметим, что СА и САУ принципиально исключают участие человека в процессе управления объектом (исключение составляет формирование сигнала уставки в САУ).

*Автоматизированные системы управления технологическими процессами* в технических объектах строятся по функциональной схеме, показанной на рис. 1.2.

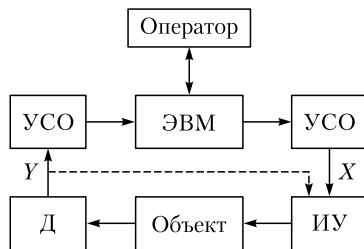


Рис. 1.2. Функциональная схема АСУТП

На схеме следует выделить два уровня управления: нижний и верхний.

*Нижний уровень управления* образуется самим объектом управления, датчиками (Д) состояния объекта и исполнительными устройствами (ИУ), включающими в себя требуемые усилители мощности и усилительно-преобразовательные устройства. Этот уровень управления может включать в себя СА и САУ, рассмотренные выше. На схеме пунктиром показана возможность использования сигналов датчиков  $Y$  для формирования отрицательных обратных связей САУ. Подобные локальные САУ образуют нижний уровень управления АСУТП сложными техническими объектами.

*Верхний уровень управления* содержит управляющую ЭВМ, или программируемый логический контроллер (ПЛК) с доступом к ним оператора и устройства сопряжения с объектом (УСО). Программируемый логический контроллер по существу является управляющей ЭВМ, но, в отличие от универсальной ЭВМ, реализует определенную, ограниченную часть функций последней. Массовое производство различных ПЛК позволяет во многих случаях реализовывать более дешевые и более производительные структуры АСУТП с использованием сети ПЛК. Вместе с тем знание основных принципов построения АСУТП на базе универсальных ЭВМ позволяет грамотно и оптимально строить АСУТП с использованием ПЛК. Именно поэтому далее, в гл. 5 рассматриваются эти принципы применительно к АСУТП на базе универсальных ЭВМ, а гл. 6 целиком посвящена особенностям реализации таких принципов на ПЛК.

Любая АСУТП — это совокупность технических и программных средств для: управления объектом автоматизации, измерения его параметров, обработки хранения и отображения информации. Для нее характерны задачи измерения параметров объекта автоматизации в реальном времени и управления объектом в соответствии с сигналами, поступающими с датчиков объекта.

Устройства сопряжения с объектом соединяются с внутренней шиной компьютера одним из следующих способов:

- 1) через один из слотов расширения, имеющийся в любой ЭВМ;
- 2) через последовательный или параллельный порт, также входящие в состав ЭВМ;
- 3) через унифицированную последовательную или параллельную интерфейсную шину, специально предназначенную для подключения к ЭВМ.

Отметим, что ПЛК, как управляющие ЭВМ, уже снабжены УСО в виде точек входа/выхода, к которым непосредственно подключаются датчики и маломощные ИУ. Для передачи информации часто используются пакетные (Ethernet) технологии передачи данных по локальной компьютерной сети.



При управлении ИУ большой мощности к выходам ПЛК подключаются УПУ или УМ.

Аппаратные средства УСО на входе, как правило, только преобразуют входные аналоговые сигналы в цифровой код и посылают его в компьютер. Эти функции УСО могут выполнять самостоятельно некоторые виды датчиков со встроенными микропроцессорами. Отдельно эти виды датчиков в учебнике не рассматриваются. Задача вычисления исходных значений входных сигналов оставляется прикладному ПО, которое находится в компьютере.

Программное обеспечение ЭВМ (ПЛК) должно содержать:

- 1) программы для управления аппаратными средствами УСО, называемые драйверами устройств;
- 2) прикладное ПО, которое выполняет различные виды обработки сигналов.

Драйверы включают набор команд управления УСО и уникальны для каждого типа устройств. Они решают следующие задачи:

- конфигурирование аппаратуры УСО;
- запуск аппаратуры УСО на выполнение требуемой функции, например измерение сигналов объекта автоматизации или формирование управляющих сигналов на входах объекта;
- передача данных между УСО и оперативным запоминающим устройством (ОЗУ) ЭВМ.

Устройства сопряжения с объектом с помощью драйверов управляют объектом автоматизации, измеряют сигналы датчиков и в ряде случаев отображают данные.

Прикладное ПО обеспечивает выработку и посылку команд драйверам, получение ответа о результате их выполнения, анализ, обработку и отображение получаемых данных. Роль прикладного ПО играет пользовательское приложение, которое решает перечисленные задачи.

При использовании универсальной ЭВМ для построения АСУТП пользователи не ограничены типами устройств, которыми можно управлять. В этом случае можно сочетать и согласовывать между собой устройства различных категорий, такие как: внутримашинные, последовательные интерфейсы, унифицированные интерфейсные шины (например, КАМАК<sup>1</sup>), параллельные порты и др.

Будем далее условно относить к системам автоматизированного управления предприятием (АСУП) такие, которые не содержат двусторонних средств непосредственной связи с объектом автоматизации. В зависимости от наличия или отсутствия односторонних связей АСУП с объектом возможны три варианта систем:

- 1) АСУП, не содержащие средств непосредственного сопряжения с объектом ни по входам, ни по выходам. Они предназначены для обработки информации вне реального времени. Параметры объекта оператор может вводить в систему вручную, а результаты обработки информации использовать для ручного управления объектом;

---

<sup>1</sup> КАМАК (англ. САМАС) — стандарт, определяющий организацию магистрально-модульной шины, предназначенной для связи измерительных устройств с цифровой аппаратурой обработки данных в системах сбора данных.

2) АСУП, содержащие только средства ввода информации от объекта в систему. Они предназначены для регистрации информации, поступающей с объекта в реальном времени (в темпе ее поступления) и ее дальнейшей обработки. Управление объектом, если возможно, выполняется оператором вручную;

3) АСУП, содержащие только средства непосредственного вывода управляющей информации на ОУ. Они предназначены для программного управления объектом.

Таким образом, АСУТП, в отличие от АСУП, — это системы, имеющие и средства непосредственного ввода информации с объекта и средства непосредственного вывода управляющих сигналов на объект. Они образуют замкнутые автоматизированные системы, обеспечивающие автоматический сбор информации, ее обработку и управление объектом автоматизации.

Например, управление выходными параметрами парогенератора тепловой электрической станции (ТЭС), такими как температура, давление и объем генерируемого пара, а также количество и состав примесей в отходящих газах, регулируется совместно работающими САУ подачи топлива, воды, воздуха, регуляторами температуры пара. Параллельная работа парогенераторов и турбогенераторов на ТЭС осуществляется через общий диспетчерский центр, который в итоге отслеживает качество вырабатываемой электрической энергии. Таким образом, ТЭС оказывается АСУ, которая, по существу, сочетает АСУП с рядом АСУТП, СА и САУ на нижнем уровне.

Аббревиатура «SCADA — supervisory control and data acquisition» в дословном переводе — «диспетчерский контроль и сбор данных». Понятие «SCADA-система» на момент написания книги имеет двойную интерпретацию:

- 1) как вся система АСУТП в целом;
- 2) как человеко-машинный интерфейс диспетчерского (HMI — Human Machine Interface) пункта управления и программные средства сбора и хранения данных с ОУ.

Для того чтобы избежать путаницы в терминах, мы будем в дальнейшем употреблять термин SCADA, ориентируясь на вторую интерпретацию в соответствии с представленным определением. Всю систему целиком мы называем АСУТП.

Многие разработчики ПО для АСУ предлагают комплексную программную систему, предназначенную для функционирования АСУТП и АСУП. Также предлагаются отдельные программные продукты SCADA (ПО для АСУТП) и продукты ERP — enterprise resource planning (ПО для АСУП). Краткая информация о программных продуктах ERP дается в п. 1.3.3.

## **1.2. Основные принципы построения автоматизированной системы управления производством**

Принципы построения АСУТП определяются текущим уровнем развития технических и программных средств, но сами принципы в основном остаются неизменными. Перечислим и прокомментируем их.

1. *Применение ЭВМ в качестве центрального компонента АСУТП.* Основные достоинства применения ЭВМ в автоматизированной системе (с точки зрения решения задач реального времени):

- время реакции ЭВМ на внешние воздействия составляет единицы микросекунд и может доходить до долей микросекунд;
- способность принимать в свои запоминающие устройства (ЗУ) большие объемы информации со скоростью до сотен мегабайт в секунду;
- возможность быстрой перестройки алгоритмов (программными средствами) и методики управления объектом автоматизации;
- диалоговое взаимодействие с оператором позволяет последнему эффективно взаимодействовать с работающей системой. Средства отображения данных и непосредственного вмешательства в работу АСУТП имеются в составе ЭВМ.

2. *Иерархический принцип построения АСУТП.* В соответствии с этим принципом, АСУТП на верхнем уровне управления могут строиться из отдельных подсистем АСУТП, которые, в свою очередь, функционально делятся на два уровня — объектно-ориентированный (нижний) и инструментальный (верхний).

Объектно-ориентированные подсистемы нижнего уровня, как правило, располагаются вблизи от объекта автоматизации и предназначены для решения следующих задач:

- измерения параметров объекта в реальном времени;
- управления объектом;
- сбора данных измерений;
- оперативной обработки данных, временного хранения, представления данных оператору и пересылки их в АСУ инструментального уровня. В состав объектно-ориентированных подсистем нижнего уровня могут входить СА и САУ.

Инструментальные подсистемы верхнего уровня, которые можно отнести к SCADA-системам (могут находиться вдали от объекта автоматизации) предназначены для решения задач:

- подготовки и отладки программ и пересылки их в объектные подсистемы;
- управления объектными подсистемами;
- обработки информации в режиме разделения времени;
- накопления и длительного хранения больших массивов информации;
- документирования результатов исследований.

Многоуровневые системы экономически выгодны, так как объектные подсистемы могут быть построены без дорогостоящей периферии с использованием ПЛК.

3. *Модульный принцип построения аппаратных средств АСУТП.* Этот принцип предусматривает использование отдельных законченных модулей фиксированного назначения в качестве элементов АСУТП. Под модулем в АСУТП подразумевается отдельное устройство. В случае построения АСУТП на базе универсальной ЭВМ к модулям можно отнести аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП), таймеры и т.д. Кроме того, в общем случае к ним же относятся ПЛК, УПУ, УМ, устройства связи и т.п., из которых система собирается, как «из кубиков» внутри шкафа автоматики. Такой подход обеспечивает легкую и быструю замену вышедшего из строя модуля системы на аналогичный, а также упрощает модернизацию системы.

4. *Принцип программной управляемости модулей* означает такую их схемную реализацию, которая дает возможность программным путем с помощью определенного набора команд управлять работой отдельных модулей. Программная управляемость элементов АСУТП позволяет оперативно изменять алгоритм работы системы в зависимости от требований оператора.

5. *Принцип магистральной организации системы* в основном доминирует в АСУТП. Он предусматривает наличие общей системы шин — магистралей, к которой подключаются отдельные функциональные элементы АСУ, в том числе ЭВМ. Магистральный принцип обеспечивает одинаковую доступность модулей для центрального элемента системы, т.е. ЭВМ. В системе с общей магистралью обращение к тому или иному модулю осуществляется путем его адресации, точно так же, как это делается в ЭВМ при обращении к ячейке ОЗУ. Наличие общей магистрали упрощает подключение новых модулей в систему и тем самым возможность расширения и гибкость АСУТП.

Вместе с тем широкое распространение разнообразных по возможностям и стоимости ПЛК во многих архитектурных построениях АСУТП позволяет отойти от принципа общей магистрали, поскольку в одной АСУТП может оказаться несколько совместно работающих ПЛК, каждый из которых выполняет свои функции управления на своем уровне. При этом эффективность работы таких АСУТП порой возрастает по сравнению с системами с одним центральным процессором.

6. *Принцип унификации аппаратных и программных средств* позволяет:

- использовать ограниченный набор аппаратных модулей, выполненных в соответствии с определенными стандартами, для реализации измерительных и управляющих каналов в самых различных АСУТП;
- снизить объем разрабатываемого аппаратного и программного обеспечения, сократить сроки разработки, отладки и модификации программных средств.

Этот принцип приводит к реализации открытых систем. Применительно к АСУТП открытой называется модульная система, которая допускает замену любого модуля на аналогичный модуль другого производителя, имеющийся в свободной продаже по конкурентоспособным ценам, а интеграция системы с другими системами (в том числе с пользователем) выполняется без преодоления чрезмерных проблем. На практике это достигается за счет того, что большое количество современных устройств автоматики используют стандартизированные протоколы передачи данных, а также обладают стандартизированными электрическими параметрами.

### **1.3. Особенности практического построения автоматизированных систем**

#### **1.3.1. Автоматизированная система управления технологическим процессом на базе программируемого логического контроллера для технических объектов**

В зависимости от сложности ТОУ разрабатываемые АСУТП могут базироваться на одной управляющей ЭВМ (ПЛК), как показано на рис. 1.2, либо на комплексе ПЛК, реализующих ряд автономных АСУТП с единым про-

граммным обеспечением в виде SCADA-системы. Обобщенная функциональная схема такой АСУ, включающая уровень АСУП, показана на рис. 1.3. В подобной системе предполагается совместное использование SCADA- и ERP-систем для одновременной работы АСУП и АСУТП. Взаимодействие этих двух систем на уровне предприятия позволяет уточнить и конкретизировать критерий управления АСУТП как соотношение, характеризующее качество функционирования ТООУ в целом и конкретные числовые значения отдельных показателей в зависимости от используемых управляющих воздействий. Критериями управления могут быть:

- технико-экономический показатель (себестоимость, производительность ТООУ и т.п.);
- технический показатель (параметр процесса, характеристики выходного продукта).

Система управления ТООУ является АСУТП в том случае, если она осуществляет управление ТООУ в целом в темпе протекания ТП и если в выработке и реализации решений по управлению участвуют средства ВТ и другие технические средства и человек-оператор.

Функции АСУТП в целом — это совокупность действий отдельных подсистем АСУТП, реализованных на ПЛК, направленных на достижение частных целей управления каждой из этих подсистем. Функции подсистем АСУТП при этом подразделяются:

- на *управляющие*, результатом которых являются выработка и реализация управляющих воздействий на ТООУ (регулирование или стабилизация отдельных технологических переменных, однотактное логическое управление



Рис. 1.3. Функциональная схема АСУ сложным техническим объектом на базе ПЛК

операциями или аппаратами, программное логическое управление группой оборудования, оптимальное управление установившимися или переходными технологическими режимами, адаптивное управление объектом в целом);

- *информационные*, содержанием которых являются сбор, обработка и предоставление информации о состоянии автоматизированного технологического комплекса (АТК) оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки. Сюда входят централизованный контроль и измерение технологических параметров, косвенное измерение параметров процесса, формирование и выдача данных оперативному персоналу АТК, подготовка и передача информации в смежные системы управления, обобщенная оценка и прогноз состояния АТК и его оборудования. Отличительная особенность управляющих и информационных функций АСУТП — их направленность на конкретного потребителя (ТОУ, оперативный персонал, смежные системы управления);

- *вспомогательные* — это функции, обеспечивающие решение внутрисистемных задач. Они имеют потребителя вне системы. Это контроль функционирования и состояния технических средств, контроль над хранением информации и т.п.

Состав АСУТП:

- техническое обеспечение (вычислительные и управляющие устройства, средства получения (датчики), преобразования, хранения, отображения и регистрации информации, устройства передачи сигналов и исполнительные устройства);

- программное обеспечение — совокупность программ, необходимая для реализации функций АСУТП, заданного функционирования комплекса технических средств (КТС) и предполагаемого развития системы;

- информационное обеспечение, включающее информацию, характеризующую состояние АТК, системы классификации и кодирования технологической и технико-экономической информации, массива данных и документов, необходимых для выполнения всех функций АСУТП, в том числе нормативно-справочную информацию;

- организационное обеспечение — совокупность описаний функциональной, технической и организационных структур, инструкции для оперативного персонала, обеспечивающих задание функционирования его в составе АТК;

- оперативный персонал;

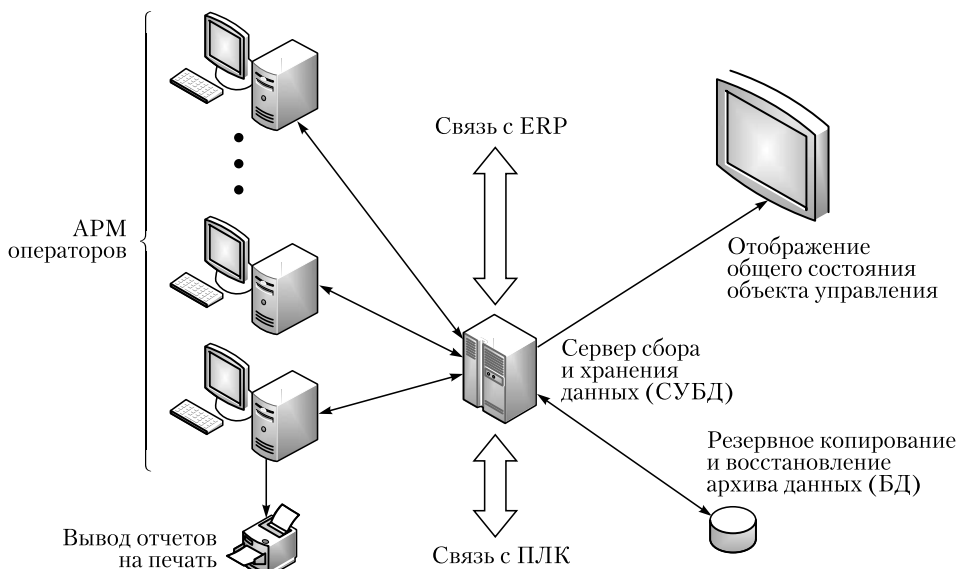
- технологи-операторы, осуществляющие контроль над управлением ТОУ с использованием рекомендаций выработанных АСУТП;

- эксплуатационный персонал АСУТП.

Ремонтный персонал в состав АСУТП не входит.

### **1.3.2. SCADA-система в структуре автоматизированной системы управления**

В соответствии с приведенным определением SCADA-система, показанная на рис. 1.3, входит в состав верхнего уровня АСУТП, и ее структура зависит от сложности выполняемой АСУТП задачи. На рис. 1.4 представлена общая структура технического обеспечения системы SCADA. Рассмотрим каждый компонент этой общей схемы SCADA-системы.



**Рис. 1.4. Структура технического обеспечения системы SCADA**

*Автоматические рабочие места (АРМ) операторов* служат для отображения информации о части системы, за которую отвечает оператор, и принятия управляющих команд от оператора. Передают принятые команды серверу для занесения в архив и последующей передачи программируемым контроллерам.

Как показано на рис. 1.4, обычно в качестве АРМ выступают ЭВМ. На данный момент здесь все чаще применяются обычные персональные компьютеры, но могут также использоваться специализированные ЭВМ. Программное обеспечение этих ЭВМ должно обеспечивать НМИ, т.е. осуществлять связь оператора с объектом управления. Интерфейс принятия команд здесь чаще всего реализован с помощью клавиатуры и мыши, но иногда — посредством сенсорного управления.

*Вывод отчетов на печать* — там, где это необходимо, АРМ должны предусматривать возможность вывода отчетов, например при организации отдельных АРМ для экспертного (статистического) анализа системы. В случае отсутствия прямой связи с ERP или отсутствия ERP как такового также необходимо АРМ для создания и печати различных отчетов (от ежедневных до годовых).

*Отображение общего состояния объекта управления* может быть необходимо для корректной оценки текущей ситуации операторами. Здесь применяются различные реализации:

- дисплей большой диагонали и разрешения;
- многодисплейные конфигурации, когда общая картина разделена между некоторым количеством дисплеев;
- специально изготовленная схема системы со световой или какой-либо еще индикацией текущего состояния.

*Сервер сбора и хранения данных* осуществляет сбор данных от ПЛК и их запись в архив. Обычно архив реализован средствами СУБД (система уп-

равления базами данных). Связь с ПЛК может осуществляться как по стандартным для ПК интерфейсам (Ethernet, RS232), так с помощью специализированных плат расширения или внешних устройств (FER — Front End Processor). Связь с ERP обычно осуществляется средствами локальной сети, в отдельных случаях могут использоваться глобальные сети.

*Резервное копирование и восстановление архива данных* необходимо для обеспечения надежности хранения информации. Может быть реализовано различными способами, как на внешние носители, так и на другие жесткие диски сервера.

**Резервирование.** Необходимо отметить, что в системе может требоваться горячее резервирование ее компонент. Обычно оно начинается с сервера СУБД, но может затрагивать все компоненты системы.

При построении верхнего уровня АСУТП могут быть задействованы не все компоненты, приведенные на рис. 1.4. В самом простом случае может быть задействован только один ПК, тогда он будет выполнять одновременно роль сервера и АРМ.

SCADA-система предоставляет программное обеспечение для создания и функционирования АРМ, связи с СУБД, создания отчетов и отображения общего состояния объекта управления. По сути, для отображения общего состояния используются те же средства, что и для АРМ, только здесь отображается система в целом и отсутствуют функции управления.

Детализация уровня ПЛК АСУТП зависит от сложности выполняемых задач. Рассмотрим общую схему одного сегмента сети на базе ПЛК, реализующего подсистему АСУТП, показанную на рис. 1.5.

Изучим каждый указанный на схеме сегмента компонент более подробно.

*Программируемый логический контроллер нижнего уровня* непосредственно подключается к датчикам и исполнительным устройствам. Подключение может быть осуществлено как напрямую, так и через связующие или преобразующие устройства. Например, для управления частотой вращения

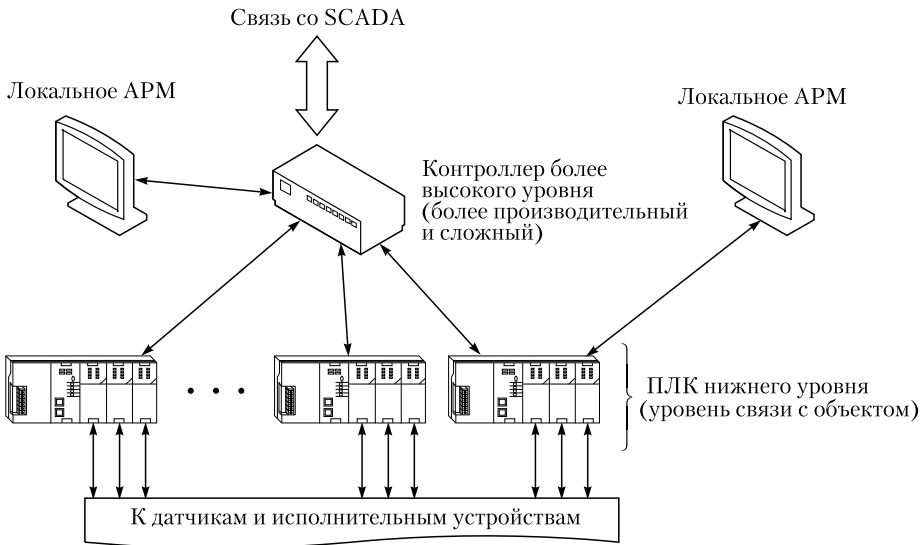


Рис. 1.5. Общая схема сегмента сети ПЛК



мощных электродвигателей необходимо использовать дополнительные схемы усилителей мощности, поскольку выходы контроллера могут быть не рассчитаны на требуемую мощность управления. Другой пример, когда датчики выдают электрический сигнал в диапазоне токов, отличным от диапазона работы входов контроллера, и требуется устройство преобразования. Иногда связующие устройства просто обеспечивают защиту входов/выходов контроллера от нештатных токов и напряжений.

На нижнем уровне обычно используются простые и дешевые контроллеры, целью которых является получение информации от датчиков, преобразование ее в вид, удобный для передачи по цифровому каналу, и обеспечение этой передачи. Для таких контроллеров часто применяется термин RTU — Remote Terminal Unit (удаленный терминал). В настоящее время многие датчики уже снабжены этими функциями и готовы передавать результаты измерения по цифровым каналам, используя стандартные протоколы (например, Modbus). Это достигается за счет использования в этих датчиках микропроцессоров, а сами датчики так и называют — «микропроцессорные». В связи с этим все чаще в АСУТП на этом уровне контроллеры замещаются микропроцессорными датчиками.

*Контроллер более высокого уровня* собирает и обрабатывает информацию от контроллеров более низкого уровня. Информация после обработки передается на верхний уровень. Здесь важно отметить, что на верхний уровень передается уже не вся полученная информация, а только необходимая. Например, может осуществляться передача по изменению показаний датчиков и (или) с определенной периодичностью и т.д. Именно в этом заключается функция обработки информации. Также данный контроллер передает управляющие команды от верхнего уровня, но может сам автоматически вырабатывать управляющие команды, если это предусмотрено в его программе. Например, он может осуществлять автоматическое управление согласно типовым законам регулирования: пропорциональному (П), интегральному (И), пропорционально-интегральному (ПД), пропорционально-дифференциальному (ПД), пропорционально-интегрально-дифференциальному (ПИД) или автоматически осуществлять аварийные остановки/отключение оборудования.

*Локальные АРМ* предназначены для непосредственного управления каким-либо локальным объектом. Обычно они играют роль локального пульта управления. Чаще всего их изготавливают в виде пультов с ламповой или светодиодной индикацией и кнопочным управлением. Но они могут быть представлены и обычными ПК или ПК с сенсорным интерфейсом в пыле-, влагозащищенном корпусе. Особенность этих АРМ в том, что они получают информацию непосредственно с ПЛК, а не из архива, расположенного на сервере. Однако все команды управления с этих АРМ также должны фиксироваться в архиве на верхнем уровне.

На рис. 1.5 представлен сегмент сети ПЛК. Вся сеть целиком может быть более сложной, и вид ее зависит от объекта автоматизации. Сами сегменты могут иметь и более сложную структуру, например, уровней иерархии ПЛК может быть больше двух. Однако следует отметить, что обычно используются простые решения: информация с датчиков (в том числе и с микропроцессорных датчиков) собирается и обрабатывается одним ПЛК и далее передается серверу для занесения в архив.

### 1.3.3. ERP-системы в составе автоматизированной системы управления предприятием

Как отмечалось выше, структура АСУП совместно со SCADA-системой обеспечивает управление документооборотом предприятия. Для ее функционирования чаще всего используется ПО в виде систем ERP.

«ERP – Enterprise Resource Planning» – планирование ресурсов предприятия, специализированный пакет ПО, ориентированный на организацию управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами.

Концепция ERP сформулирована в 1990 г. Наиболее известные разработки принадлежат компаниям:

- *Oracle* – американская корпорация, крупнейший в мире разработчик ПО для организаций;

- *SAP* – немецкая компания, известный производитель ПО.

В 2000-е гг. появилось значительное количество ERP-систем для малого и среднего бизнеса, наиболее известными поставщиками которых стали:

- *Sage Group* – британская компания, разработчик программных решений в области управления предприятиями;

- *Microsoft*.

Модульный принцип организации позволяет внедрять ERP-системы поэтапно, вводя в эксплуатацию один или несколько функциональных модулей на каждом этапе, а также выбирать потребителю только те из модулей, которые актуальны для него. Допускается также использование модулей из разных ERP-систем.

Примером отечественных разработок в этой области могут служить программные продукты компании *Adastra*, модульный пакет для ERP, выпускаемый под торговой маркой T-FACTORY.exe™, и SCADA-система, выпускаемая под торговой маркой TRACE MODE®.

Уровень технического и программного обеспечения ERP-систем далее в учебнике рассматриваться не будет, поскольку он тесно связан с экономическими и управленческими дисциплинами.

### 1.3.4. Особенности построения автоматизированной системы научных исследований

Основная цель создания АСНИ – получение новой информации об объекте, состоящей в установлении или уточнении математического описания объекта либо в определении параметров математической модели объекта автоматизации.

Отсюда вытекают следующие особенности проектирования АСНИ:

- подобные системы создаются в условиях дефицита информации о свойствах изучаемого объекта, поскольку для получения такого рода информации они и предназначены;

- методика научных исследований может меняться в процессе изучения объекта;

- сам объект исследования характеризуется высокой степенью эволюционности, т.е. может изменяться исследователем в процессе его изучения.

Иными словами, характер экспериментов видоизменяется, объем исследований растет, сложность экспериментальных задач, как правило, увеличивается.

Перечисленные особенности научных экспериментов приводят к тому, что практически всегда в ходе эксплуатации АСНИ возникают потребности в изменении некоторых ее характеристик с учетом полученной уже информации о свойствах объекта. При этом используется уникальная исследовательская аппаратура, время создания которой значительно, может устареть в ходе проведения исследований.

Перечисленные особенности позволяют сформулировать основное требование к АСНИ — гибкость системы. Указанное требование означает:

1) система должна допускать простую замену одних элементов другими с требуемыми техническими характеристиками или новым функциональным назначением;

2) система должна иметь возможность расширения, т.е. простого добавления недостающих технических средств к уже имеющимся и включения их в систему;

3) система должна иметь возможность гибкой перестройки алгоритмов и методики экспериментальных исследований.

При выполнении указанных требований стоимость системы должна оставаться в приемлемых пределах. Указанные требования к АСНИ не противоречат требованиям, предъявляемым к АСУТП.

#### **1.4. Основные этапы и тенденции развития технических средств автоматизированных систем управления и систем автоматического управления**

Исторически укрупненно можно выделить три последовательно наступавших этапа развития технических средств АСУ и САУ.

*Первый этап* уместно связать с успехами в генерировании и использовании электрической энергии, начиная со второй половины XIX в. Этот этап знаменуется созданием электрических двигателей, трансформаторов, изобретением телефона и телеграфа, строительством протяженных линий связи. Появление этих устройств вызвало необходимость в создании различной коммутационной аппаратуры, автоматических выключателей и других средств защиты электрических цепей, а также датчиков электрических и неэлектрических величин с электрическим выходом.

*Второй этап* следует отнести к началу 1930-х гг., когда в промышленность и военное дело стали внедряться САУ. К этому времени в теории автоматического управления были получены фундаментальные результаты, позволившие синтезировать устойчивые САУ с требуемыми точностными характеристиками и качеством переходных процессов. В это время в САУ стали использовать электромеханические сравнивающие устройства на сельсинах или потенциометрах, электромашинные усилители мощности (ЭМУ) и исполнительные двигатели постоянного тока. В дальнейшем с развитием магнитной техники и электроники ЭМУ были вытеснены магнитными усилителями, ламповыми, а затем полупроводниковыми. Стали более совершенными измерители рассогласования, и в качестве исполнительных двигателей появились двухфазные асинхронные и шаговые двигатели.

*Третий этап* приблизительно относится к середине 1970-х гг., когда развитие микросхемотехники привело к созданию больших интегральных схем.

Это обеспечило резкое уменьшение габаритов и увеличило производительность ЭВМ. В результате появляются управляющие ЭВМ и контроллеры, которые позволяют создавать современные АСУ. Прогресс в совершенствовании больших и малых контроллеров для разных целей не прекращается и в нынешнее время. Применение контроллеров в сочетании с силовыми IGBT транзисторами позволило, например, в 1990-е гг. создать частотные преобразователи (инверторы) для эффективного управления мощными трехфазными синхронными и асинхронными двигателями. Эти двигатели повсеместно вытесняют из состава САУ менее надежные и дорогостоящие двигатели постоянного тока.

На всех этапах непрерывно продолжают совершенствоваться хорошо известные типы датчиков, и одновременно с появлением новых материалов появляются новые их типы. Как правило, физические явления, используемые в датчиках для преобразования неэлектрических величин в электрические, оказываются давно известными. Однако датчики на их основе для практического применения долгое время не удается создать в силу ряда причин (низкая чувствительность, габариты, диапазон измеряемой величины, стабильность показаний и т.д.). Например, эффект Холла наблюдается во многих материалах, но промышленные датчики на основе этого явления стали создаваться с появлением полупроводниковых материалов. Это же относится к новым типам датчиков для измерения температуры, фотоприемникам и пр.

Во все времена развитие элементной базы для создания АСУ и САУ идет одновременно по нескольким направлениям:

- совершенствование существующих и создание новых типов датчиков;
- повышение быстродействия, мощности, КПД, надежности, сокращение габаритов и создание новых типов исполнительных двигателей;
- развитие силовой и преобразовательной электроники;
- развитие управляющей вычислительной техники (скорость и объемы вычислений, объемы ЗУ, уменьшение габаритов).

## **1.5. Принципы подбора технических средств проектируемой системы в соответствии с техническим заданием**

### **1.5.1. Разработка технического задания на проектируемую систему**

Грамотно составленное ТЗ на проектируемую систему является определяющим фактором при выборе и согласовании друг с другом технических средств в процессе ее реализации. Непосредственно выбор технических средств чаще всего идет последовательно по определенной схеме в процессе проектирования системы. Будем рассматривать этот процесс в данном учебнике, используя сквозной пример выбора, расчетов и согласования элементов угловой следящей системы. Сквозной пример начнем здесь, и он продолжится в гл. 3 (п. 3.4—3.6). В остальных главах также даются примеры по обоснованию выбора, тестированию и согласованию соответствующих технических средств.

Рассмотрим далее процесс выбора и согласования друг с другом элементов (технических средств) угловой следящей системы.

В структуре САУ, показанной на рис. 1.1, б, входному сигналу  $X$  угловой следящей системы соответствует угол поворота входного вала (вал или штурвал оператора), а выходному сигналу  $Z$  — угол поворота выходного вала (вала нагрузки). Подобная следящая система (силовая) работает как усилитель мощности с единичной отрицательной обратной связью. Подобные следящие системы могут быть классифицированы по следующим признакам:

- 1) по области применения:
  - наземные,
  - корабельные,
  - бортовые,
  - промышленные;
- 2) по характеру передаваемого сигнала:
  - непрерывные (аналоговые),
  - с использованием модулированных сигналов,
  - импульсные,
  - релейные,
  - цифровые;
- 3) по принципу действия:
  - позиционные,
  - скоростные,
  - комбинированные;
- 4) по типу исполнительного двигателя:
  - с электрическим двигателем,
  - с гидравлическим двигателем,
  - с пневматическим двигателем.

Предлагаемая классификация позволяет уяснить смысл положений ТЗ для проектирования угловой следящей системы, задающих ряд требований к конструкции проектируемой системы, условиям и ограничениям на ее функционирование, таких как:

- 1) параметры нагрузки (момент инерции и внешние механические моменты на валу нагрузки);
- 2) требования на режимы работы вала нагрузки;
- 3) ошибки (погрешности) при отработке типовых воздействий;
- 4) качество переходных процессов;
- 5) требования к исполнительному двигателю;
- 6) дополнительные условия (условия эксплуатации системы, источник питающего напряжения, вес, габариты, конструкция силового редуктора и т.д.).

Анализ представленных требований уже на стадии формирования ТЗ позволяет ограничить круг допускаемых к применению в проектируемой системе типов элементов, таких как исполнительные двигатели, устройства измерения сигнала рассогласования, датчики угловой скорости и т.д. В самом деле, при наличии питающей сети 36 В, частотой 400 Гц и относительно невысокой требуемой выходной мощности системы целесообразно предварительно выбрать в качестве исполнительного двигателя двухфазный асинхронный.

Аналогичные рассуждения можно провести и для устройств измерения рассогласования и других устройств проектируемой системы. Естественно,