

В.Л.Конюх

# КОМПЬЮТЕРНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**Бестселлер**

Москва  
2006

УДК 681.5

Рецензент:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации исследований и технической кибернетики Кемеровского госуниверситета В.Я. Карташов

**Конюх В.Л. Компьютерная автоматизация в промышленности. – М.: Бестселлер, 2005. – 250 с.: ил. – ISBN 5-98158-016-X.**

Описываются принципы и устройства автоматизации промышленного производства на базе микропроцессорной техники: структура компьютерно-интегрированного производства, датчики и исполнительные устройства, программируемые устройства управления и их связь с объектами автоматизации, языки программирования стандарта IEC 61131-3, системы SCADA, промышленные шины, интеллектуальные системы автоматизации. В конце приводятся примеры применения средств автоматизации и предлагается способ оценки целесообразности автоматизации технологического процесса. Составлен перечень англоязычных сокращений, принятых в компьютерной автоматизации производства. К книге прилагается компакт-диск с более чем 200 фотографиями в области компьютерной автоматизации производства. Каждая фотография сопровождается комментариями автора

Для студентов и специалистов по автоматизации производственных процессов, а также тех, кто интересуется освоением и применением современных технологий автоматизации производства.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	<b>5</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>7</b>
<b>Глава 1. Принципы компьютерного управления</b> .....	<b>8</b>
1.1. Объекты автоматизации .....	8
1.2. Модель объекта в непрерывном производстве .....	14
1.3. Модель управления дискретным объектом .....	18
1.4. Уровни компьютерно-интегрированного производства .....	22
1.5. Развитие автоматизации .....	25
<b>ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 1</b> .....	<b>30</b>
<b>Глава 2. Связь с объектом управления</b> .....	<b>31</b>
2.1. Датчики .....	31
2.1.1. Общие характеристики .....	31
2.1.2. Датчики положения .....	34
2.1.3. Измерители перемещений .....	41
2.1.4. Тактильные датчики .....	46
2.1.5. Силоизмерительные датчики .....	47
2.1.6. Измерение температуры .....	50
2.1.7. Локационные датчики .....	52
2.1.7. Системы технического зрения .....	59
2.2. Исполнительные устройства .....	63
2.3. Преобразование сигналов .....	66
2.4. Линии и каналы связи .....	70
<b>ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 2</b> .....	<b>76</b>
<b>Глава 3. Локальная автоматика</b> .....	<b>78</b>
3.1. Мехатроника .....	78
3.2. Программоносители .....	86
3.3. Программируемый контроллер .....	90
3.4. Промышленный компьютер .....	97
3.5. Универсальный логический модуль .....	99
3.5. Программирование управляющих устройств .....	102
<b>ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 3</b> .....	<b>115</b>
<b>Глава 4. Диспетчерское управление</b> .....	<b>116</b>
4.1. Традиционная диспетчеризация и системы SCADA .....	116
4.2. Человеко-машинный интерфейс .....	121
4.3. Программные комплексы SCADA .....	124
4.4. Выбор системы SCADA .....	132
<b>ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 4</b> .....	<b>134</b>
<b>Глава 5. Промышленные шины</b> .....	<b>135</b>
5.1. Структура информационной сети .....	135
5.2. Протокол обмена информацией .....	137
5.3. Стандарты шин .....	144
5.4. Сети нижнего уровня .....	151
5.4.1. AS-интерфейс .....	151
5.4.2. CAN- сеть .....	154
5.4.3. HART-протокол .....	156
<b>ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 5</b> .....	<b>161</b>
<b>Глава 6. Искусственный интеллект в системах управления</b> .....	<b>163</b>
6.1. Проблема интеллектуализации управления .....	163
6.2. Интеллектуальные датчики .....	164

---

6.3. Фаззи-системы.....	166
6.2. Нейронные сети.....	169
6.3. Мультиагентное управление.....	173
6.4. Экспертные системы .....	176
6.4. Имитация и анимация технологического процесса .....	178
6.5. Гибкость, открытость и прозрачность производства .....	184
6.6. Управление через Интернет.....	186
ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 6.....	190
<b>Глава 7. Практика компьютерной автоматизации.....</b>	<b>192</b>
7.1. Системная интеграция .....	192
7.2. Учет потребления энергии .....	194
7.3. Контроль положения объектов.....	198
7.4. Измерение размеров объекта .....	201
7.5. Контроль заполнения резервуара.....	202
7.5. Радиочастотная идентификация .....	209
7.6. Системы технического зрения.....	212
7.6. Гибкое производство.....	215
7.7. Примеры компьютерной автоматизации на предприятиях .....	218
7.7.1. Металлургия .....	218
7.7.2. Пищевая промышленность.....	220
7.8. Сопоставление затрат и эффективности автоматизации .....	221
ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 7.....	231
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>232</b>
<b>СЛОВАРЬ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТЕРМИНОВ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ .....</b>	<b>233</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>236</b>

## Предисловие

Появление микропроцессоров в 70-х годах привело к принципиальному изменению систем промышленной автоматизации. Произошел переход от аппаратных к программным устройствам автоматики. Один тип программируемого контроллера стали применять для автоматизации разных объектов. Появилась возможность высокоскоростного обмена информацией между десятками распределенных устройств автоматики, подключенных к двухпроводной линии связи. Уровень управления оборудованием и уровень формирования производственной программы соединили друг с другом и подключили к сети Интернет.

В результате многоуровневой компьютерной интеграции производства предприятия стали быстрее приспосабливаться к изменяющейся ситуации на рынке. Вместо централизованного управления перешли к распределенным в пространстве устройствам автоматизации, соединенным промышленными шинами. За последнее время произошел прорыв в промышленном применении машинного зрения, интеллектуальных датчиков, промышленных шин и систем компьютерной диспетчеризации SCADA.

Если вначале автоматизация рассматривалась как средство сокращения ручного труда, то теперь появляются новые источники ее эффективности: стабилизация качества продукции, сокращение затрат на производство, быстрая переналадка производства на новые виды продукции, применение высокоскоростных технологических процессов.

Инженерный корпус российских предприятий оказался неготовым к новым идеям компьютерной автоматизации. Продвинутые фирмы стали вести платную переподготовку специалистов предприятий, закрывая доступ к своим учебным материалам. Публикации в журналах и реклама предназначены для уже подготовленных читателей. Накапливающееся отставание от мирового уровня автоматизации производства приведет к тяжелым последствиям для российских предприятий:

- неконкурентоспособности продукции на мировом рынке;
- убыткам от простоев автоматизированного оборудования из-за низкой квалификации персонала;
- большим затратам на запчасти и консультации разработчиков при поставке зарубежных технологических линий «под ключ»;
- вынужденному подключению действующих систем автоматизации через Интернет к компьютерам зарубежного разработчика, которое может привести к утечке конфиденциальной информации и опасности дистанционного разрушения предприятия.

Цель этой книги – в краткой и доступной форме показать идеи и возможности компьютерной автоматизации промышленного производства. В ней мало

формул и технических характеристик конкретных устройств. За основу взято учебное пособие автора [1], запросы на которое превысили тираж. В конце раскрыты англоязычные термины, принятые в мире компьютерной автоматизации. К книге приложен компакт-диск с более чем 200 примерами зарубежных устройств компьютерной автоматизации, каждое из которых снабжено комментариями автора.

Автор выражает благодарность проф. Р.Трахту (Эссенский университет, Германия), д-ру Р.Стургулу (университет Айдахо, США), д-ру Йохену Петри (Schneider Automation, Германия), г-ну Й.-П. Штепанеку (ICT Automation GmbH, Германия), проф. Л.Смутни (Остравский технический университет) и другим коллегам за помощь при сборе информации. На содержание книги особенно повлияли посещения международных выставок Интеркама-1999 и Интеркама-2001 в Дюссельдорфе (Германия), публикации в журналах "Computer & Automation", "Современные технологии автоматизации", «Мир компьютерной автоматизации» а также информация, присланная ведущими западными фирмами в области компьютерной автоматизации производства.

Работа выполнялась по проекту У0043/995 «Подготовка кадров в области информационных технологий производства для Кузбасса» Федеральной целевой программы «Интеграция науки и высшего образования России на 2002-2006 гг.»

## ВВЕДЕНИЕ

В автоматизацию промышленного производства ежегодно вкладывают более 150 млрд. дол. Около 90 % капиталовложений приходится на США, Западную Европу и страны Юго-Восточной Азии с примерно равными объемами инвестиций. Доля России здесь не превышает 3 % [2]. Однако то, что в российской промышленности, в первую очередь пищевой, начат переход к компьютерной автоматизации производства, становится очевидным.

Предприятие, включившееся в конкурентную борьбу на рынке, ищет эффективные пути снижения себестоимости и быстрой адаптации к изменяющемуся спросу. При этом качество продукции должно быть выше, чем у конкурентов. Замораживание зарплаты, работа на устаревшем оборудовании или применение компонентов низкого качества неизбежно приводят к банкротству. Приходится искать другие пути: сокращение рабочих и улучшение условий труда, экономия энергоресурсов, применение более производительного оборудования, стабилизация качества. Решение этих задач невозможно без автоматизации технологических процессов и объединения разных уровней автоматизации информационными каналами.

Микропроцессорная техника сначала нашла применение в персональных компьютерах для хранения данных, стандартных расчетов и подготовки документов. Началось применение микропроцессоров для автоматизации производства. Модернизация технологий путем совершенствования и тиражирования программного обеспечения становится быстрее и дешевле, чем переделка механических элементов оборудования. Появляются принципиально новые методы управления процессами, основанные на распознавании образов, системы компьютерной диспетчеризации производства, программируемые контроллеры, интеллектуальные датчики, микропроцессорные регуляторы приводов, промышленные компьютеры, промышленные шины. Подключение локальных устройств управления единицами оборудования к сети Интернет открывает возможность управления процессом производства из любой точки Земли. Компьютерно-интегрированное производство приобретает свойства гибкости (быстрой смены продукции), открытости (совместимости средств автоматизации разных фирм) и прозрачности (получения исчерпывающей информации о производстве с любого уровня управления).

На развитых предприятиях стали появляться системные интеграторы – специалисты, которые умеют вырабатывать идеи по повышению эффективности конкретного производства путем автоматизации процессов, выбирать устройства автоматизации и объединять их в систему компьютерно-интегрированного производства.

Особенностью эксплуатации компьютерно-интегрированного производства является сочетание высокой производительности с прекращением работы при отказе одного из элементов. Специалист, умеющий быстро определить и устранить причину остановки высокоавтоматизированного производства, сможет значительно сократить убытки от простоев.

## Глава 1. Принципы компьютерного управления

### 1.1. Объекты автоматизации

Производственный процесс можно представить как систему, преобразующую потоки энергии, материалов и информации (рис. 1.1).

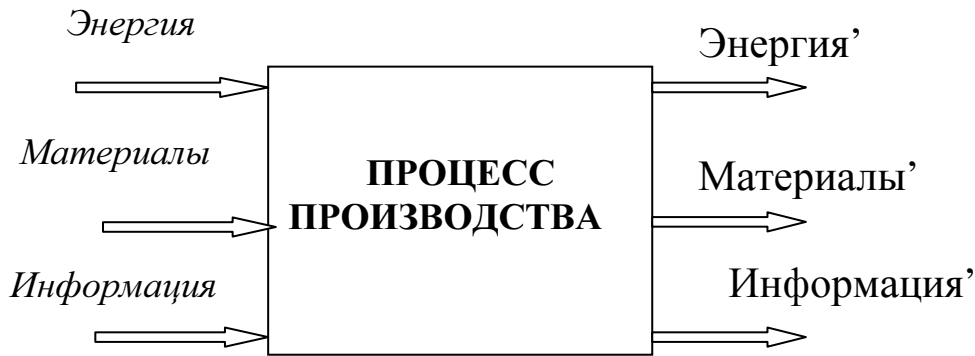


Рис.1.1. Представление производственного процесса

Система преобразует материалы с целью получения наибольшей прибыли от их продажи. Это достигается путем увеличения глубины обработки материалов, экономии энергии, более полного использования информации. Примеры преобразования потоков процессом производства: создание микроселектронных компонентов из незначительных объемов сырья, сокращение простоев оборудования, программное управление оборудованием.

С позиции автоматизации различают два типа производства: **непрерывное и дискретное**.

К **непрерывным** относят производства, в которых требуется регулировать расход, давление, температуру, напряжение, перемещение механических элементов и прочие величины во всем диапазоне их изменений. Это разнообразные химические реакторы, процессы приготовления пищевых продуктов, металлургия, снабжение теплом, водой и электроэнергией. В непрерывном производстве занято мало людей. С помощью автоматизации здесь можно снизить затраты материалов и энергии или стабилизировать технологический процесс, исключив его зависимость от субъективных факторов и внешней среды. Для управления таким производством требуется согласование динамических характеристик объекта управления и системы автоматического регулирования во всем интервале изменения регулируемых величин.

К **дискретным** относят производства с конечным числом состояний переменных, например с включением и отключением клапанов, задвижек, пускателей по сигналам двухпозиционных датчиков. Автоматизация дискретного производства развита меньше вследствие большого разнообразия изделий и операций, повышенных требований к точности операций. Здесь занято множество рабочих ручного труда. Для дискретного производства может быть огромное число вари-

антов автоматизации, отличающихся последовательностью операций, затратами и эффективностью. Их сопоставление требует формального описания алгоритмов управления оборудованием и разработки моделей организации производства. В последнее время методы автоматизации дискретного производства все чаще применяются и для автоматизации непрерывного производства.

Сложность управления процессом производства зависит от степени полноты перечисления технологических ситуаций  $S$ , необходимой и достаточной для выработки управляющих решений. Каждую ситуацию задают набором значений признаков, характеризующих внешнюю обстановку и состояние объекта управления. Значения признаков могут быть непрерывными или двухзначными (бинарными). В первом случае для управления важна, например, величина скорости движения, во втором – отсутствие или наличие факта превышения заданной скорости. Для задач управления часто нужны только факты изменений в технологической среде, поэтому непрерывные признаки сводят к бинарным. Это позволяет значительно сократить число ситуаций, в которых принимается управляющее решение. Тем не менее, даже при бинарных признаках, ввод каждого дополнительного признака увеличивает число комбинаций признаков или описываемых ими ситуаций в два раза. Так, для пяти бинарных признаков среды число описываемых ситуаций  $S=2^5=32$ , а после ввода еще одного признака требуется описать уже  $S=2^6=64$  ситуации. С другой стороны, некоторые ситуации, описанные комбинациями признаков, невозможны по технологическим условиям. Например, невозможны ситуации, в которых одинаковы значения признаков движения вперед и назад.

В зависимости от числа  $n$  датчиков, воспринимающих внешнюю среду и состояние объекта, технологическая среда может быть полностью определенной, организованной или неорганизованной (рис. 1.2).

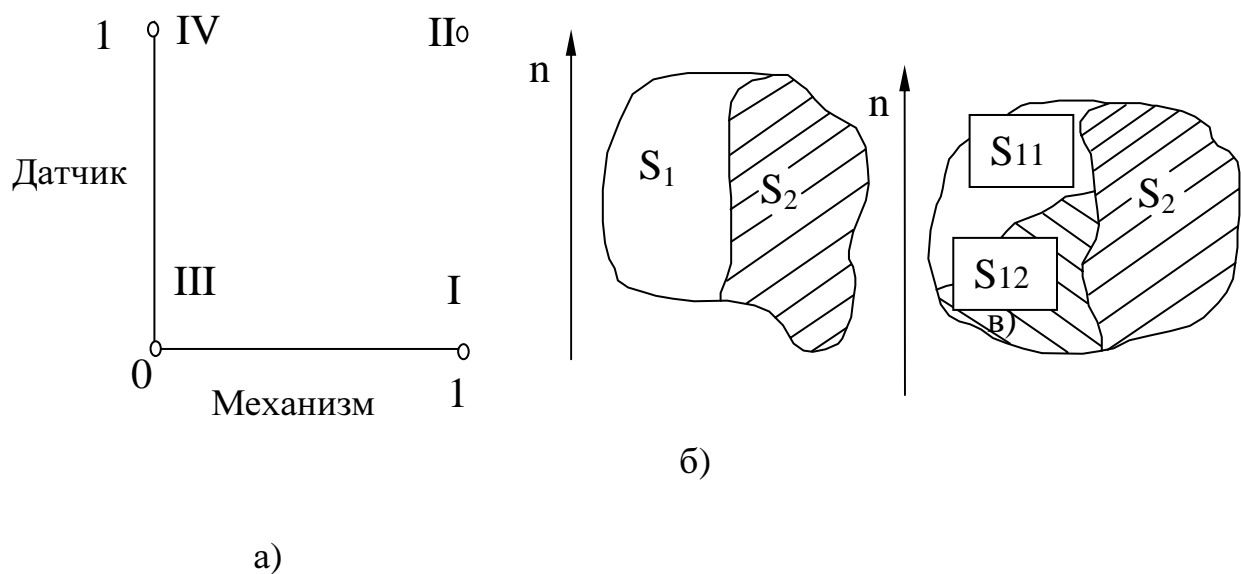


Рис. 1.2. Типы технологической среды:  
а – полностью определенная; б – организованная; в – неорганизованная

В полностью определенной среде управление задано для всех комбинаций признаков среды. Например, включается и отключается некоторый механизм, снабженный датчиком аварии. Состояние среды характеризуется наличием или отсутствием сигнала с датчика аварии, а состояние объекта – работой или остановкой механизма. Для двух бинарных признаков возможны только  $2^2=4$  ситуации (рис. 1.2,а):

I – механизм работает, аварии нет; II – механизм работает, авария есть; III – механизм не работает, аварии нет; IV- механизм не работает, авария есть. В каждой ситуации может быть принято одно из трех решений: для I и IV – ничего не предпринимать; для II – отключить механизм; для III – включить механизм. Управление такого типа реализовано в защите механизмов от перегрузки и программных роботах .

В организованной среде некоторые из ситуаций невозможны по технологическим условиям, поэтому задают управление только для подмножества  $S_1 \subseteq S$  возможных ситуаций, считая, что остальные ситуации никогда не возникнут (за исключением отказов датчиков). В этом случае множество комбинаций признаков среды разбивают на подмножества возможных  $S_1$  и невозможных  $S_2 = \overline{S_1}$  ситуаций (рис. 1.2,б). Перечислить возможные ситуации  $S_1$  и задать для них управление можно, если число признаков ситуаций не превышает 5-6. К такому типу относится управление стационарными установками и адаптивными роботами.

В неорганизованной среде из-за большого числа признаков среды не удается полностью перечислить множество даже возможных ситуаций  $S_1$ . Знания о среде приходится формировать путем обучения распознаванию образов. Наблюдая некоторое время за процессом, составляют обучающую выборку из части возможных ситуаций  $S_{11} \subseteq S_1$  (рис. 1.2 ,в). Затем отыскивают решающие функции, делящие обучающую выборку  $S_{11}$  на подмножества по числу решений. Эти функции используют для распознавания новых ситуаций из  $S_{12} \subseteq S_1$ , не встречавшихся в обучающей выборке  $S_{11}$ . Конечно, новая ситуация из  $S_{12}$  распознается с некоторой вероятностью ошибки, зависящей от объема обучающей выборки и правильности построения решающих функций. Для работы в таких средах необходимо управление с элементами искусственного интеллекта. В процессе обучения также формируют набор признаков среды, необходимый и достаточный для распознавания всех ситуаций из  $S_1$  .

Оценка состояния каждого признака среды отдельным датчиком требует крупных затрат на создание информационной системы. Возникает задача распознавания состояний  $n$  признаков среды  $m < n$  датчиками минимальной стоимости . Складываются два подхода к ее решению:

- установка минимального набора доступных датчиков для части признаков среды  $m$  и получение остальных признаков  $(n-m)$  путем логической обработки сигналов этих датчиков;
- применение многофункционального информационного датчика в виде телекамеры или широкополосного микрофона, который соединен с системой распознавания оптических или звуковых образов.

При первом подходе в обучающей выборке отыскивают устойчивые логические связи признаков и выбирают наборы признаков среды по фактору стоимости. Так, путем логической обработки аналогового сигнала датчика скорости колесно-рельсового робота-тягача удалось извлечь 11 признаков среды: скорость, направление движения, ускорение, замедление, превышение заданной скорости, сжатие и растяжение состава, сход с рельсов, буксование, отказ электродинамического торможения, счет попыток трогания с места [3]. Обычный контроль признаков потребовал бы 11 разных датчиков с соответствующим увеличением стоимости системы.

Второй подход универсален, но требует сложных алгоритмов обработки наблюдаемого образа при его сопоставлении с эталоном. Для ввода зрительного, звукового или мультисенсорного образа в ЭВМ требуется его кодирование.

Как сильно влияют изменения среды на процесс управления? Для оценки степени изменчивости среды и ее влияния на управление объектом представим процесс управления в виде ориентированного мультиграфа, содержащего начальную  $A_0$ , конечную  $A_q$ , узловые  $B_1, \dots, B_j, \dots, B_m$  и промежуточные  $A_1, \dots, A_k, \dots, A_{q-1}$  вершины, соединенные дугами с вероятностями  $0 \leq P \leq 1$  (рис. 1.3).

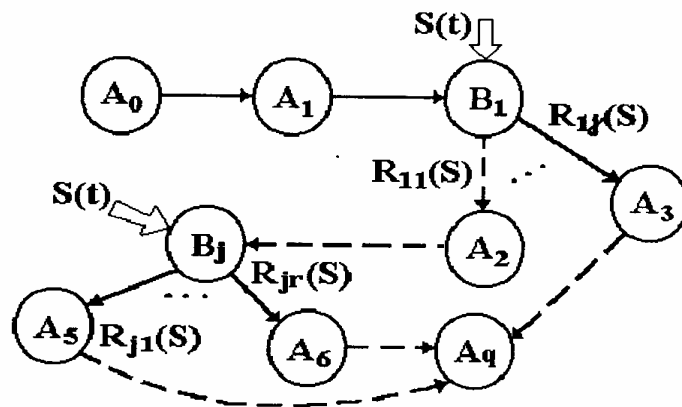


Рис. 1.3. Модель управления объектом в изменяющейся технологической среде  $S(t)$

В  $k$ -й промежуточной вершине за время  $\tau_k$  переключается одно из исполнительных устройств объекта. В  $j$ -й узловой вершине выбирается одно из  $r$  решений  $R_{j\gamma}$  с условной вероятностью:

$$P_{j\gamma} = \frac{P(R_{j\gamma} \cap S_i)}{P(S_i)}; (\gamma = 2, \dots, r; \sum_{\gamma=2}^r P_{j\gamma} = 1), \quad (1.1)$$

зависящей от вероятности  $P(S_i)$  изменения технологической среды в  $i$ -м рабочем цикле и вероятности  $P(R_{j\gamma} \cap S_i)$  выбора в среде  $S_i$   $\gamma$ -го решения при условии функциональной стабильности оператора, управляющего процессом. Узловые вершины, связанные с контролем правильности переключения исполнительного устройства, не зависят от среды, поэтому приводятся к промежуточным. Реализа-

ция алгоритма в  $i$ -м рабочем цикле представляет собой последовательность дуг от начальной к конечной вершинам через  $m_i$  узловых вершин, имеет длину  $l_i$  и осуществляется с вероятностью:

$$P_i = \prod_{j=1}^{m_i} P_{ij}. \quad (1.2)$$

Введем понятие “сложность управления” как степень разнообразия реализаций алгоритма управления при изменениях технологической среды. Повышение размерности среды, ее изменчивости и влияния на процесс управления приводит к росту числа узловых вершин, перераспределению вероятностей  $P_{ij}$  и увеличению разброса длин реализаций относительно математического ожидания:

$$\bar{l} = \sum_{i=1}^n l_i P_i(l). \quad (1.3)$$

Таким образом, сложность управления можно оценить дисперсией  $D(l)$  выборки длины алгоритма, полученной в ходе наблюдений за действиями оператора в  $n$  рабочих циклах. В алгоритмическом смысле длину  $l_i$  характеризует число вершин в  $i$ -й реализации, а в технологическом – время  $i$ -го цикла  $t_i$  или число  $q_i$  переключений исполнительных устройств за цикл.

$$t_i = \sum_{k=1}^{q_i} \tau_k. \quad (1.4)$$

На практике удобнее использовать данные хронометражных наблюдений, исключив из  $t_i$  составляющие, обусловленные ошибками измерений и функциональными особенностями оператора. Анализ показал, что выбор критерия сложности в виде выборочной дисперсии  $D_n(t)$ , коэффициента вариации  $\delta$  длины алгоритма

$$\delta = \frac{\sqrt{D_n(t)}}{\bar{t}}, \quad (1.5)$$

отношения числа вариантов длины алгоритма к числу элементов выборки не позволит сравнивать процессы разной длины и с разным объемом выборки.

Пусть в  $n$  рабочих циклах получена выборка времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$  с дисперсией  $D_n(t)$ , состоящая из  $m \leq n$  различных элементов  $t_i, \dots, t_{i+j}, \dots, t_m$ , причем этот набор элементов имеет дисперсию  $D_m(t)$ . Очевидно, что:

- для наиболее сложного управления с изменением среды в каждом рабочем цикле  $m=n$ ,  $t=var$ ,  $D_n(t) = D_m(t)$ ;
- чем больше число вариантов времени в выборке (элементов выборки), тем сложнее управление объектом.

Тогда критерий сложности можно представить в виде отношения:

$$K_c = \frac{D_n(t)}{D_m(t)}. \quad (1.6)$$

Докажем свойства критерия сложности.

1. Для любого процесса  $0 \leq K_c \leq 1$ .

Исходя из определения  $K_c$ , докажем теорему о том, что величина дисперсии  $D_n(t)$  выборки случайных величин не превышает дисперсии  $D_m(t)$  элементов выборки. По определению дисперсии:

$$D_n(t) = \frac{(t_1 - \bar{t}_n)^2 n_1 + (t_2 - \bar{t}_n)^2 n_2 + \dots + (t_m - \bar{t}_n)^2 n_m}{n_1 + n_2 + \dots + n_m - 1} \quad (1.7)$$

$$D_m(t) = \frac{(t_1 - \bar{t}_m)^2 n_1 + (t_2 - \bar{t}_m)^2 n_2 + \dots + (t_m - \bar{t}_m)^2 n_m}{m - 1}. \quad (1.8)$$

Заменив  $\bar{t}_n$  в первой формуле на  $\bar{t}_m$ , используем свойство минимальности дисперсии:

$$D_n(t) < \frac{(t_1 - \bar{t}_m)^2 n_1 + (t_2 - \bar{t}_m)^2 n_2 + \dots + (t_m - \bar{t}_m)^2 n_m}{n_1 + n_2 + \dots + n_m - 1}. \quad (1.9)$$

При  $n_i = 1$  ( $i = 1, \dots, n$ ) правая часть этого неравенства обращается в  $D_m(t)$ , следовательно,  $D_n(t) < D_m(t)$ . Для предельно сложного процесса  $\bar{t}_n = \bar{t}_m$ , поэтому  $D_n(t) = D_m(t)$ .

2. Ввод жесткой последовательности операций в начале или конце управления не меняет его сложности.

Заменим вершину  $A_1$  на рис.1.3 цепью вершин с постоянным временем выполнения  $T$ . Тогда для выборки  $(t_1 + T), (t_2 + T), \dots, (t_n + T)$ :

$$K_c = \frac{D_n(t + T)}{D_m(t + T)} = \frac{D_n(t)}{D_m(t)}. \quad (1.10)$$

3. Сложность управления не зависит от размерности длины реализации алгоритма.

При увеличении длины реализации в  $r$  раз для выборки  $rt_1, rt_2, \dots, rt_n$ :

$$K_c = \frac{D_n(rt)}{D_m(rt)} = \frac{r^2 D_n(t)}{r^2 D_m(t)} = \frac{D_n(t)}{D_m(t)}. \quad (1.11)$$

Такой метод оценки позволяет выбрать дискретные производства, наиболее подготовленные к автоматизации, распределить функции между оператором и системой управления объектом [4].

Представим процесс управления дискретно-непрерывным производством как взаимодействие системы управления СУ и объекта управления ОУ (рис. 1.4).

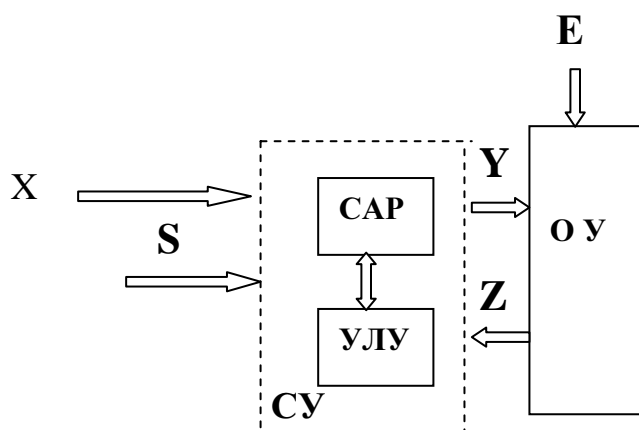


Рис. 1.4. Взаимодействие системы управления СУ и объекта управления ОУ

Система управления в соответствии с заданной программой  $X$ , состоянием  $S$  технологической среды и информацией  $Z$  с датчиков на объекте вырабатывает сигналы  $Y$  управления механизмами объекта. При этом на объект действуют случайные воздействия  $E$  со стороны технологической среды, изменяющие состояние объекта.

В соответствии с разделением объектов управления (ОУ) на непрерывные и дискретные, разделим систему управления на систему автоматического регулирования САР и управляющее логическое устройство УЛУ. САР обеспечивает слежение выходной величины за изменением входной величины и при случайных воздействиях среды на объект. УЛУ переключает исполнительные устройства объекта по заданному алгоритму и сигналам датчиков.

### 1.2. Модель объекта в непрерывном производстве

При автоматическом регулировании температуры, давления, уровня, расхода и других непрерывных величин требуется знать передаточные функции объекта управления для того, чтобы обеспечить устойчивое управление объектом. Под устойчивостью понимается затухание колебаний системы «устройство управления – объект управления» в переходных режимах. Поскольку объект управления изменить невозможно, то для обеспечения устойчивости изменяют устройство управления.

Для непрерывных систем существует три способа автоматического регулирования: разомкнутое, с компенсацией возмущений, по отклонению. Рассмотрим их на примере обогрева некоторого помещения (рис. 1.5).

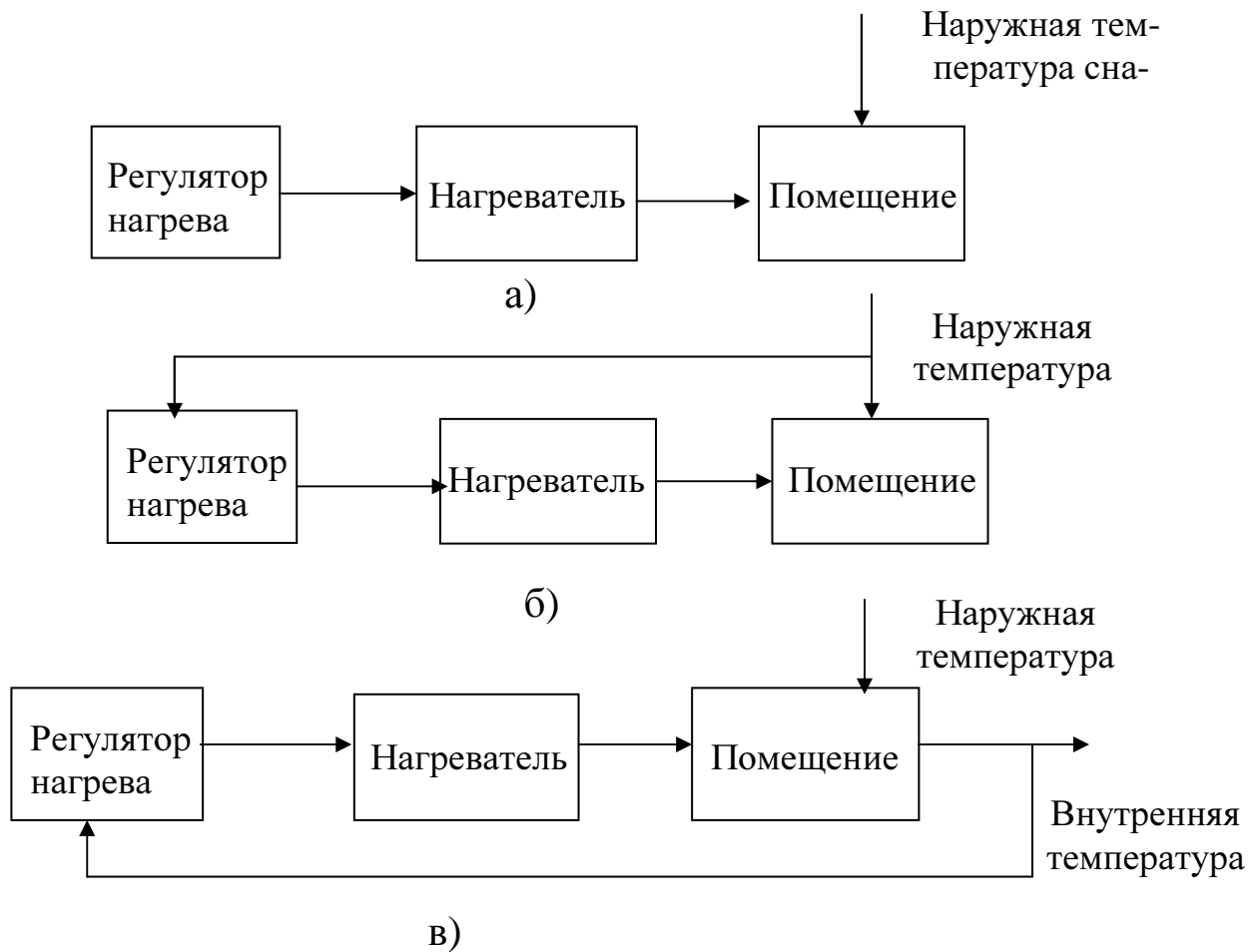


Рис. 1.5. Способы регулирования в непрерывном производстве: а – разомкнутое; б – с компенсацией возмущений; в – по отклонению

При разомкнутом регулировании фиксируют положение регулятора нагрева и нагреватель начинает обогревать помещение (рис. 1.5,а). Температура внутри помещения зависит не только от работы нагревателя, но и от температуры снаружи помещения, а также от множества других факторов. Если все они не меняются, то удастся достичь нужной температуры внутри помещения. При этом следует учитывать динамику нагрева помещения, зависящую от его особенностей и наружной температуры. Разомкнутое регулирование редко применяют для автоматизации, так как поведение реальных объектов зависит от многих факторов.

При регулировании с компенсацией возмущений регулятор нагрева изменяет свое положение в зависимости от измерения величины температуры снаружи помещения (рис.1.5,б). Благодаря этому температура внутри помещения не зависит от наружной температуры. Однако на нее влияют другие возмущающие факторы, такие как направление ветра или наличие щелей. Все возмущения трудно измерить и подать на вход регулятора. Из-за этого регулирование с компенсацией возмущений применяют при ограниченном числе возмущений.

Влияние множества возмущающих факторов на температуру внутри помещения можно компенсировать проще: измерив эту температуру и подав получен-

ную величину на регулятор нагрева, который сопоставит ее с той температурой, которая задана для данного помещения (рис.1.5, в). Нагреватель будет работать в зависимости от разности заданной и фактической температур. Чем больше разность, тем больше будет интенсивность нагрева. Регулирование по отклонению или регулирование с обратной связью стало основным способом регулирования при автоматизации.

Для изменения сигнала управления объектом, соответствующего инерции объекта, необходимо найти динамическую связь входа объекта с его выходом или передаточную функцию объекта регулирования. Передаточная функция системы автоматического регулирования положения, скорости и ускорения механических элементов должна быть согласована с передаточной функцией объекта управления так, чтобы при переходе от одного положения элемента к другому не было колебаний. Крайним случаем несогласованности системы управления с объектом управления является возрастание амплитуды колебаний до разрушения механической конструкции объекта. Существует шесть типовых динамических звеньев автоматического регулирования: усилительное, апериодическое, интегрирующее, дифференцирующее, колебательное и запаздывающее. На рис.1.6 показана передаточная (б) и переходная (в) функции апериодического звена, которым описывают многие объекты регулирования.

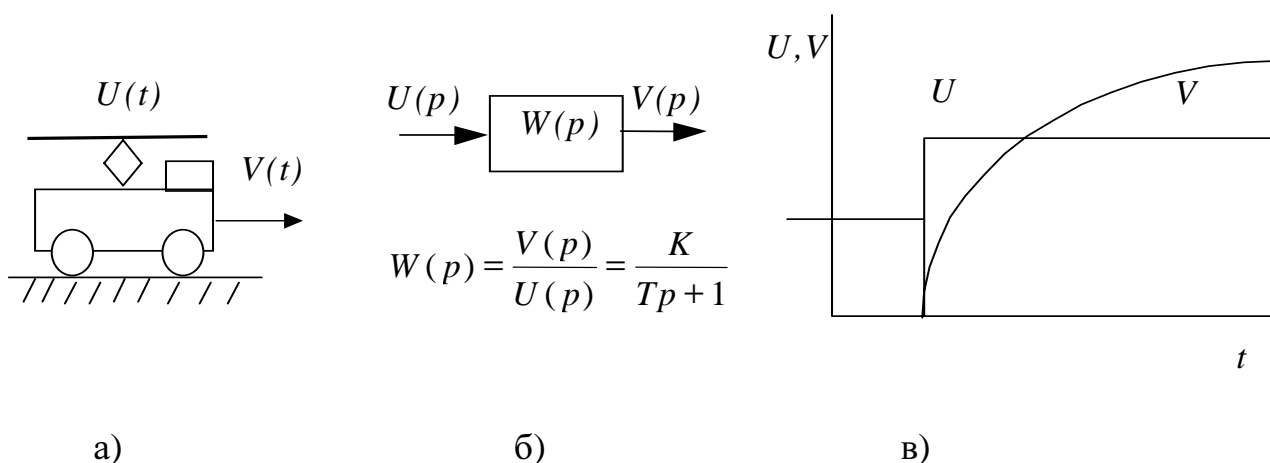


Рис.1.6. Автоматически управляемая тележка:  
а-объект управления; б-передаточная функция; в-переходная функция

Таким объектом может быть автоматически управляемая тележка (рис. 1.6,а), входом которой является напряжение на тяговом двигателе  $U(t)$ , а выходом – скорость движения  $V(t)$ . При ступенчатом повышении напряжения скорость тележки экспоненциально увеличивается до установившегося значения. Этот процесс называют переходной функцией. Параметрами передаточной функции в данном случае являются коэффициент передачи  $K$  и постоянная времени  $T$ . Коэффициент передачи показывает отношение выходной величины к входной в установившемся режиме или по окончании изменений на входе и выходе объек-

та. Постоянная времени характеризует инерционные свойства объекта или скорость перехода от одного состояния к другому.

При согласовании с объектом передаточную функцию системы регулирования можно изменить, в отличие от неподлежащей изменениям передаточной функции объекта регулирования. Поэтому главной задачей специалиста по автоматизации непрерывного производства является построение статических и динамических характеристик объекта регулирования в виде передаточных функций. Структура и параметры передаточной функции могут быть получены с помощью аналитического или экспериментального методов идентификации объектов управления.

Аналитический метод основан на описании поведения объекта дифференциальными уравнениями. В них выделяют входные и выходные переменные, между которыми устанавливают аналитическую связь, получают ее изображение по Лапласу и строят модель объекта как соединение типовых динамических звеньев. Часто объекты управления настолько сложны, что не удается составить дифференциальные уравнения и определить коэффициенты в уравнениях. Поэтому в последнее время развиваются экспериментальные методы, позволяющие построить передаточную функцию реального объекта по его реакции на внешние воздействия. Экспериментальные методы делят на активные и пассивные [5].

Активные методы основаны на приложении к одному входу объекта типового воздействия с одновременной фиксацией изменений выходов. При этом состояние остальных входов не должно изменяться. Активные методы применяют для простых объектов с управляемыми входами, допускающими по технологическим условиям ввод воздействий, реакция на которые в 5-10 раз больше уровня помехи на выходе. Воздействие может быть ступенчатым, линейно изменяющимся, импульсным или синусоидальным. Например, запись процесса повышения скорости электродвигателя с постоянной нагрузкой при ступенчатом увеличении приложенного напряжения позволит определить передаточную функцию привода по управлению.

В пассивных методах идентификации записывают изменения входов и выходов при нормальной эксплуатации объекта. Модель объекта строят по отношению спектральной и взаимоспектральной плотностей входной и выходной величин. Такие методы применяют для стохастических объектов управления с неуправляемыми входами. Пассивные методы требуют длительных наблюдений и сложной статистической обработки. Записывая изменения скорости тележки при ее движении по неровной поверхности, можно получить передаточную функцию двигателя тележки по путевым возмущениям.

Подбор системы автоматического регулирования для реального объекта осуществляют по критериям заданного качества переходных процессов и устойчивости регулирования. Для этого используют методы теории автоматического регулирования [6].

### 1.3. Модель управления дискретным объектом

При ручном управлении оператор с помощью зрения, слуха, осязания, обоняния и вкуса оценивает состояние объекта и выдает команды на устройства управления объектом.

При автоматическом управлении управляющее устройство УУ перерабатывает сигналы  $a_1, a_2, \dots, a_n$  от  $n$  входных датчиков в команды  $z_1, z_2, \dots, z_r$  управления  $r$  исполнительными устройствами (рис. 1.7).

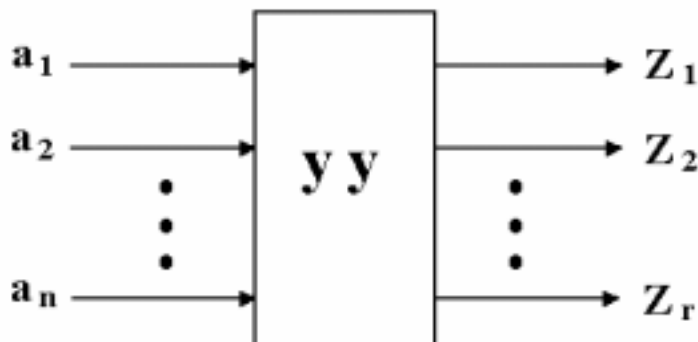


Рис. 1.7. Устройство управления

Обычно  $a_i$  и  $z_j$  могут принимать два значения (0 и 1, включить и отключить, да и нет). В этом случае устройство управления называют логическим. Для его синтеза применяют теорию конечных автоматов [7].

Если выход зависит только от входа, то конечный автомат называют **комбинационным**. Если выход зависит не только от входа, но и от внутреннего состояния  $q_j$  устройства перед изменением входа, то автомат называют **последовательностным**.

Алгоритм работы управляющего логического устройства отображает связь выходов с входами и задается на автоматном языке. Простейшим автоматным языком являются автоматные таблицы. Для комбинационного автомата в левой части таблицы (табл. 1.1) указывают все комбинации состояний датчиков, а в правой – соответствующие им команды управления исполнительными устройствами.

При  $n$  двухпозиционных датчиках таблица содержит  $2^n$  строк, описывающих все распознаваемые датчиками состояния объекта. Для  $r$  исполнительных устройств в правой части будут перечислены  $2^r$  комбинаций команд.

Таблица 1.1. Пример таблицы выходов для комбинационного автомата

Входы				Выходы			
$a_1$	$a_2$	...	$a_n$	$z_1$	$z_2$	...	$z_r$
0	0		0	0	0		0
0	0		1	1	0		0
1	1		1	1	1		0

В качестве примера составим автоматную таблицу логического управления лифтом (рис. 1.8).

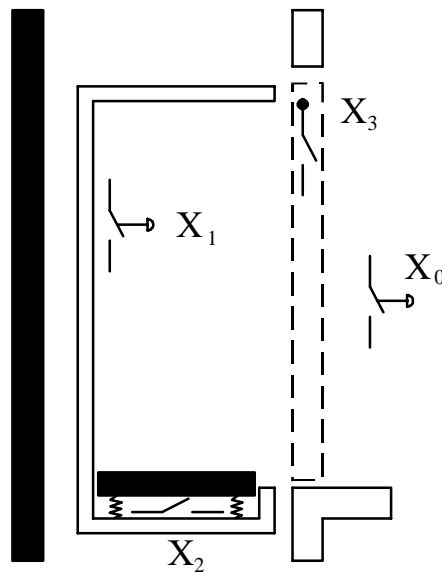


Рис. 1.8. Лифт как объект логического управления

Лифт вызывают нажатием кнопки  $X_0$ . Когда пассажир встает на платформу, то под действием его веса срабатывает датчик опускания платформы  $X_2$ . Пассажир нажимает кнопку пуска  $X_1$ . По этой команде сначала закрываются двери лифта. Полное закрывание дверей фиксируется датчиком  $X_3$ . После этого формируется команда движения лифта.

Устройство автоматического управления лифтом должно вырабатывать команду управления движением в зависимости от состояний датчиков. Алгоритм его работы задается автоматной таблицей, связывающей комбинации сигналов датчиков с командой управления  $Y$  (табл. 1.2).

Таблица 2 Алгоритм управления лифтом

№	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y$
1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0
4	1	1	0	0	0
5	0	0	1	0	0
6	1	0	1	0	0
7	0	1	1	0	0
8	1	1	1	0	0
9	0	0	0	1	0
10	1	0	0	1	1
11	0	1	0	1	0 или 1
12	1	1	0	1	0 или 1
13	0	0	1	1	0
14	1	0	1	1	0
15	0	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1

Логическое уравнение для команды  $Y$  строят путем соединения операций ИЛИ тех сочетаний значений датчиков, для которых  $Y$  принимает значение логической единицы:

$$Y = X_0(X_1)(X_2)X_3 \vee (X_0)X_1 X_2X_3 \vee X_0X_1 X_2X_3, \text{ где } X_i=1, (X_i)=0.$$

При составлении автоматной таблицы необходимо перебрать все, даже неиспользуемые, комбинации входов для того, чтобы правильно задать алгоритм управления. Для четырех датчиков их должно быть шестнадцать. Если выходные сигналы зависят не только от комбинаций входов, но и от внутренних состояний объекта, то необходимо составить две таблицы для полного набора комбинаций входов: таблицу переходов из одного внутреннего состояния в другое (табл.1.3) и таблицу выходов (табл.1.4)

Таблица 1.3. Пример таблицы переходов для последовательного автомата

Состояния	Входы				
	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0
$S_0$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_1$	$S_0$
$S_1$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_0$	$S_2$
$S_2$	$S_0$	$S_2$	$S_1$	$S_0$	$S_1$

В левой части таблицы переходов (табл. 1.3) записывают начальные состояния, а в правой – новые состояния, в которые переходит устройство при подаче некоторого входа. В левой части таблицы выходов (табл. 1.4) записывают состояния устройства, а в правой – выходы устройства при подаче некоторого входа.

Таблица 1.4. Пример таблицы выходов для последовательного автомата

Состояния	Входы				
	0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0
$S_0$	0 0 0	1 0 0	0 1 0	1 1 0	0 0 1
$S_1$	0 0 0	1 0 0	0 1 0	1 1 0	1 0 1
$S_2$	0 0 1	0 1 0	1 1 1	0 1 0	0 1 1

Автоматные таблицы составляет специалист по автоматике в результате диалога с технологом, знающим особенности управления объектом. Затем строки таблиц преобразуют в логические функции, по которым после операций сокращения и минимизации строят устройство логического управления объектом.

Алгоритм работы управляющего логического устройства может быть задан автоматным графом, в котором вершины соответствуют внутренним состояниям, а дуги – входам и выходам (в скобках).

На рис.1.9 построен автоматный граф, соответствующий таблицам переходов (табл.1.3) и выходов (табл.1.4). Автоматный граф нагляден и позволяет оценить неполноту или противоречивость в описании управляющего устройства.

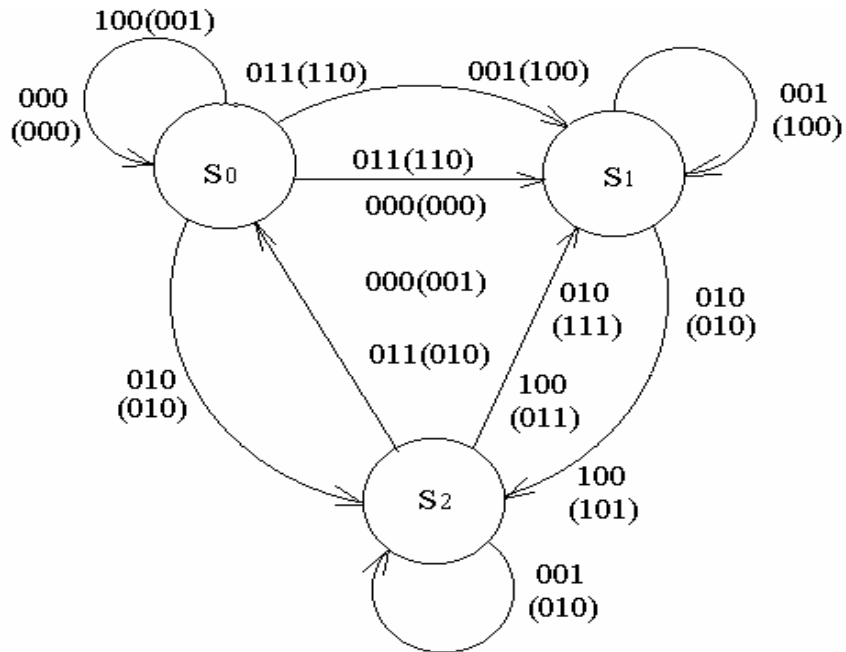


Рис. 1.9. Пример автоматного графа

Неполнота проявляется в том, что для некоторых входов не указаны дуги переходов. Противоречивость обнаруживается по наличию вершин, из которых при одном и том же входе дуги ведут к разным вершинам.

В реальных системах автоматизации число датчиков больше десяти. Следовательно, число входов или строк автоматных таблиц, которые должен проанализировать разработчик, превышает:

$$n=2^{10}=1024.$$

Ввод каждого дополнительного датчика вдвое увеличивает число строк. Чтобы избавиться от так называемого «проклятия размерности», пытаются объединить некоторые датчики. Многие из входов принципиально невозможны, например одновременное появление сигналов движения вперед и назад. Однако они все равно должны быть введены в таблицу, чтобы можно было использовать теорию полностью определенных конечных автоматов. Недостатком автоматных таблиц и графов является их слабая связь с логикой управления и управляющим устройством. Уже при 5-6 признаках метод автоматных таблиц малоэффективен из-за трудоемкого перебора и анализа всех ситуаций, громоздкости автоматных таблиц, необходимости детального изучения технологического процесса. Известны методы описания процессов логического управления на языках автоматных графов, карт Карно, граф-схем алгоритмов или логических схем алгоритмов. Они наглядны для анализа, но непригодны для синтеза систем управления.

Новым способом задания алгоритмов управления является язык секвенций, формализующий простые условия управления "если  $\alpha$ , то  $\beta$ ", заданные технологом. Эти условия записывают в виде секвенций:

$$Y \vdash \Psi,$$

где  $Y, \Psi$  – булевы функции.

Если  $Y=1$ , то  $\Psi=1$ , а если  $Y=0$ , то значение  $\Psi$  не определено. Описание алгоритма управления на языке секвенций позволяет сократить число строк автоматных таблиц до реально возможных по технологическим условиям. Таблица переходов (табл. 1.3) может быть представлена системой секвенций переходов

$$\begin{array}{l} 000 S_0 \\ 000 S_0 \\ 010 S_0 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \text{ и т.д.} \end{array} \right.$$

Таблица выходов (табл. 1.4) представляется системой секвенций выходов

$$\begin{array}{l} 000 S_0 \\ 001 S_0 \\ 010 S_0 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 0 0 0 \\ 1 0 0 \\ 0 1 0 \text{ и т.д.} \end{array} \right.$$

Сокращение системы секвенций происходит как традиционными методами склеивания и поглощения логических функций, так и специальными методами минимизации секвенциального описания.

В отличие от традиционных автоматных языков, секвенциальное описание процесса управления не требует перечисления всех комбинаций состояний признаков, будучи тесно связано с технологией процесса и аппаратурной реализацией. Но применение языка секвенций ограничено конечными автоматами с элементами распределенной памяти. К таким элементам относятся исполнительные устройства, которые сохраняют свое положение после отключения команды: пневмопереключатели и пневмогидроцилиндры с двумя состояниями, задвижки.

Для недоопределенных конечных автоматов, заданных секвенциями, существует опасность появления непредвиденных ситуаций в условиях эксплуатации. В этом случае описание дополняют новыми секвенциями или вводят устройства противоаварийного распознавания ситуаций.

#### 1.4. Уровни компьютерно-интегрированного производства

Под словом «интеграция» в промышленной автоматизации понимается объединение разных уровней производства с помощью передачи потоков информации. Это позволяет получать нужную информацию в любом месте с любого уровня производства.

Компьютерно-интегрированное производство содержит четыре уровня автоматизации (рис. 1.10). На уровне связи с оборудованием I/O (Input/Output – Вход/Выход) встроенные в оборудование программируемые контроллеры ПЛК по

сигналам датчиков состояния механизмов вырабатывают команды управления исполнительными устройствами – приводами, клапанами, световыми и звуковыми сигналами. Здесь решаются задачи согласования перепрограммируемых устройств управления с датчиками и исполнительными устройствами, размещенными на технологическом оборудовании : гальваническая развязка, восстановление формы импульсов, нормализация напряжений, аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование.



Рис. 1.10. Уровни автоматизации компьютерно-интегрированного производства

После приведения выходных сигналов датчиков к виду внутренних сигналов управляющих устройств начинает работать уровень управления технологическим оборудованием *Control*. На нем программируемые логические контроллеры *PLC* или промышленные компьютеры в зависимости от входных сигналов и записанной программы вырабатывают команды управления технологическим оборудованием. Эти команды проходят через уровень *I/O* на приводы оборудования. Уровни *I/O* и *Control* обеспечивают автоматическое управление технологическим оборудованием. До недавнего времени их было достаточно для автоматизации предприятия. Одновременно развивались уровни офисной автоматизации, на которых решались задачи формирования программы производства, учета продукции и другие организационные задачи. По мере развития автоматизации уровни автоматического управления оборудованием и организации производства стали сближаться друг с другом. Появился уровень обобщенного контроля и приобретения данных *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Сигналы датчиков, не-

обходимые для автоматического управления оборудованием, стали использовать для отображения хода производственного процесса на нарисованной мнемосхеме технологического оборудования. Вместо специального диспетчерского пульта мнемосхему технологического процесса нарисовали на экране компьютера диспетчера. Помимо визуализации процесса системы *SCADA* позволяют выводить детальную информацию о работе любого участка процесса, сохранять изменения показателей процесса, распознавать предаварийные ситуации, формировать подсказки диспетчеру. В современных системах *SCADA* диспетчер с рабочего места может перепрограммировать распределенные устройства управления оборудованием.

На уровне планирования ресурсов производства *MRP* (*Manufacturing Resources Planning*) решают задачи ведения бухгалтерского учета, управления финансами и материально-техническим снабжением, организации документооборота. С учетом изменяющейся рыночной ситуации необходимо планировать поставки сырья и комплектующих, оценивать спрос на продукцию, составлять план технического обслуживания и замены оборудования. С целью получения максимальной прибыли требуется отслеживать динамику рыночных цен на аналогичную продукцию, уровни прибыли по разным видам продукции, прогнозировать спрос. На основе этой информации формируется программа производства: исключаются малоприбыльные изделия и увеличивается выпуск более прибыльных изделий. Высокооплачиваемые менеджеры, используя Интернет, непрерывно отыскивают пути повышения эффективности производства.

Долгое время уровни управления производственным процессом *I/O*, *Control*, *SCADA* и уровень офисного планирования *MRP* развивались независимо. Используя офисные программы, оторванные от текущего производства, менеджеры не могли выявить резервы повышения производительности и снижения себестоимости, изменить номенклатуру выпускаемой продукции. При формировании наиболее прибыльной стратегии производства им надо было знать структуру себестоимости каждого из сотен видов продукции, время выполнения поступившего заказа, необходимые для выполнения заказа ресурсы, целесообразность обновления оборудования. Для выработки решений требовалась текущая информация о состоянии каждой единицы оборудования. Эта информация могла быть получена на уровне *SCADA*, где собирались все данные о работе оборудования. Необходимость выживания предприятия в рыночной среде привела к появлению между уровнями диспетчеризации *SCADA* и планирования ресурсов *MRP* уровня исполнения производства *MES* (*Manufacturing Execution System*), связывающего менеджеров верхнего уровня с текущим производством. На основе данных, приобретенных на уровне *SCADA*, оценивается себестоимость продукции, анализируется использование каждой единицы оборудования, решаются такие задачи как оптимизация производства, сокращение издержек, управление ресурсами производства, распределение сырья и комплектующих между подразделениями предприятия, техническое обслуживание единиц оборудования в зависимости от выработки их ресурса, повышение качества продукции.

После анализа этой информации с позиции производственной и конъюнктурной политики предприятия стратегические решения менеджера исполняются на низших уровнях. В 90-х годах стали появляться программные комплексы, позволяющие получать информацию с любого из пяти уровней компьютерно-интегрированного производства. Так, менеджер верхнего уровня *MRP* может спускаться на нижний уровень автоматизации для анализа работы любой единицы оборудования. С другой стороны, наладчик оборудования на нижнем уровне может, выйдя в Интернет через верхний уровень получить у производителя из любой точки мира инструкции по устранению неисправностей оборудования.

### 1.5. Развитие автоматизации

Различают три ступени автоматизации:

- автоматизация рабочего цикла, создание автоматов и полуавтоматов;
- автоматизация системы машин;
- компьютерно-интегрированное производство.

Любая машина состоит из двигательного, передаточного и исполнительного механизмов. Двигательный механизм через передаточный механизм приводит в действие исполнительный механизм, который ведет непосредственную обработку, контроль или сборку изделия. При этом кроме рабочих движений он совершает холостые движения, необходимые для подготовки рабочих движений. Таким образом, время рабочего цикла состоит из времени рабочих  $t_p$  и холостых  $t_x$  движений:

$$T = t_p + t_x . \quad (1.12)$$

Машину с автоматическим выполнением только рабочих движений называют полуавтоматом. Если, кроме рабочих движений, машина выполняет и холостые движения, то ее называют автоматом. Систему автоматов, расположенных в порядке следования технологических операций, называют автоматической линией. Помимо автоматизации каждой машины в ней реализовано взаимное согласование технологических операций машин.

Компьютерно-интегрированное производство обеспечивает автоматизацию всего производства – от поставки материалов до упаковки готовой продукции. В нем решаются задачи автоматизированного проектирования заказанной продукции, централизованного перепрограммирования систем управления оборудованием, автоматической смены инструментов, компьютерного планирования технологических маршрутов.

На первом этапе развития техники автоматизации непрерывных и дискретных производств применялись механические регуляторы и толкатели, работа которых была наглядна для обслуживающего персонала. Затем для непрерывных процессов стали использовать функциональные блоки на радиолампах, диодах и транзисторах, а для дискретных процессов – релейно-контактные переключательные схемы. Такие системы создавались под конкретные объекты управления. При изменении объекта приходилось менять приспособленную для него систему

управления. Последним достижением в создании аппаратных устройств автоматики были аналоговые и цифровые микросхемы, которые размещались на специализированных печатных платах.

В 70-х годах появились универсальные электронно-вычислительные машины (ЭВМ) типов БЭСМ 6, СМ 2, ЕС, М-6000 с программами управления объектом в режиме реального времени. На таких ЭВМ до 80-х годов строили системы управления сложными объектами, такими как атомная электростанция, металлургическое производство, химический реактор. Множество датчиков и исполнительных механизмов через многочисленные кабели подключалось к центральной ЭВМ, которая собирала и обрабатывала сигналы датчиков, представляла информацию диспетчеру, накапливал информацию о ходе процесса для расчета технико-экономических показателей и составления отчета (рис. 1.11).

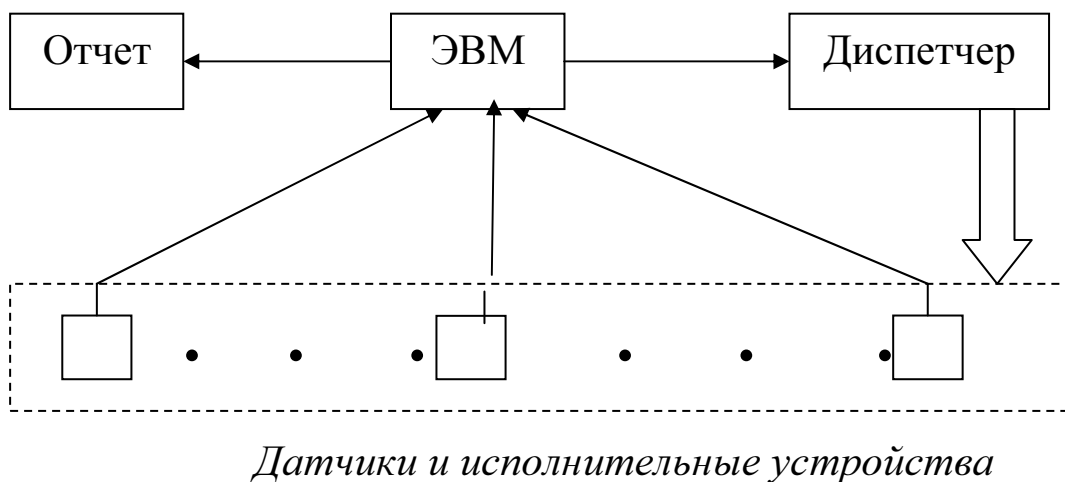


Рис. 1.11. Структура централизованного управления

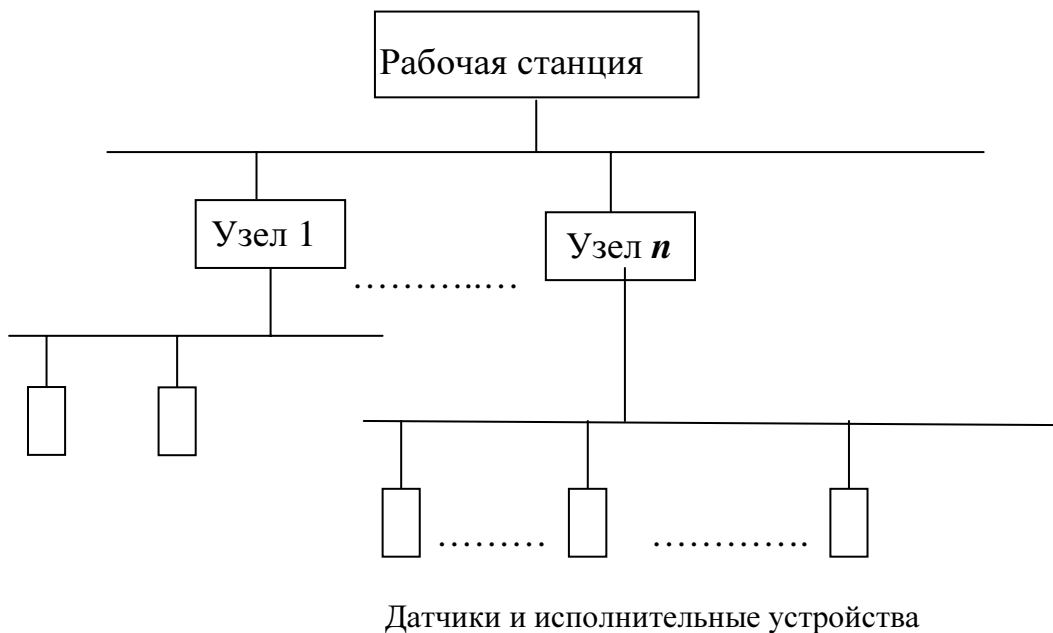


Рис. 1.12. Схема распределенного управления производством

Функции управления объектом поручались диспетчеру, хотя некоторые задачи управления решались с помощью простой автоматики на реле и регуляторах

непрерывных величин. Централизованную структуру управления называют мэйнфрейм (mainframe – основная структура).

Такой подход к автоматизации исчерпал себя в связи с появлением микропроцессоров и необходимостью повышения уровня автоматизации производства. Современные системы автоматизации состоят из сотен распределенных в пространстве узлов автоматизации, которые обмениваются цифровой информацией по двум проводам, к которым подключена рабочая станция диспетчера (рис. 1.12).

Эти узлы приближены к датчикам и исполнительным устройствам, выполняя функции приема команд и данных от других узлов, снятия данных с подключенных к узлу датчиков, преобразования данных с датчиков, выдачи команд управления исполнительными устройствами, передачи накопленной информации другим узлам. Узел может работать в трех режимах:

- ведущий – ведомый

Ведущий узел последовательно опрашивает ведомые узлы сети. По запросу ведомый узел либо выполняет команду, либо передает ведущему данные с подключенных к нему устройств.

- клиент – сервер

Узел-клиент запрашивает данные, а узел-сервер их представляет. Клиент может запрашивать несколько серверов, а сервер может отвечать нескольким клиентам.

- подписка

Узел, нуждающийся в обновлении информации, подписывается на ее регулярное получение от другого узла либо через заданные интервалы времени, либо после изменения информации.

Появление микропроцессоров в начале 80-х годов принципиально изменило подходы к автоматизации производства. Созданные под конкретный объект релейно-контактные системы управления и автоматические регуляторы стали заменять универсальными устройствами с перепрограммируемыми алгоритмами управления. Переход от аппаратной к программируемой технике автоматизации заслуживает специального рассмотрения. В обоих случаях на вход устройства автоматики подаются сигналы  $X_1, X_2, \dots, X_n$  с датчиков на объекте управления (рис. 1.13). Устройство по заданному алгоритму вырабатывает команды управления объектом  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ . Аппаратное устройство управления (рис. 1.13, а) выполнено путем жесткого соединения элементов в соответствии с заданным алгоритмом управления. Элементы работают параллельно. При изменении объекта или алгоритма управления приходится создавать новое устройство управления, поскольку пересоединение элементов требует больших затрат. Это препятствует модернизации устройств управления и повышению уровня автоматизации.

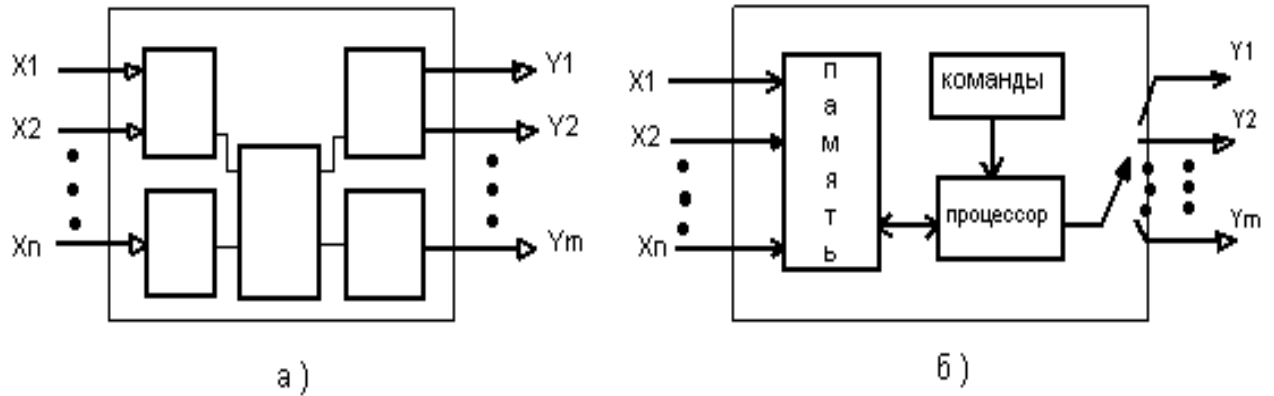
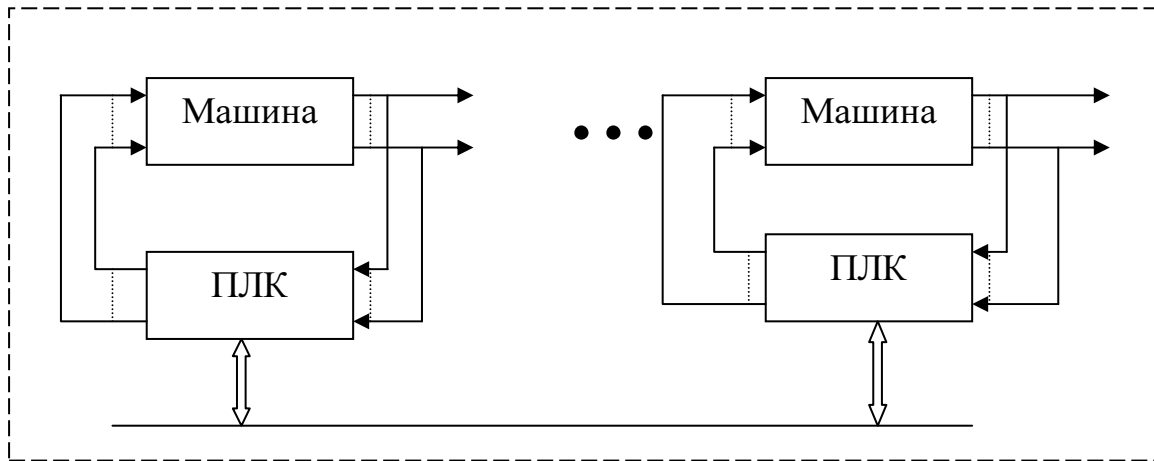


Рис. 1.13. Устройство управления:  
а – аппаратное; б – программируемое

Программируемое устройство управления (рис. 1.13,б) имеет универсальную структуру из микропроцессора, постоянной и оперативной памяти, устройств ввода/вывода. Его привязку к конкретному объекту автоматизации осуществляют путем записи соответствующего алгоритма управления в запоминающее устройство. При изменении объекта или алгоритма управления просто переписывают программу управления. Унифицированные устройства управления выпускаются тысячами штук, что снижает их стоимость. Их функциональные возможности при небольших размерах непрерывно расширяются, надежность растет, а программное обеспечение все больше приспособляется к непрограммирующему пользователю.

Воплощением таких устройств являются программируемые логические контроллеры. Программируемый логический контроллер ПЛК (PLC-Programmable Logic Controller) представляет собой программируемое вычислительное устройство для сбора аналоговых и дискретных сигналов, логического управления оборудованием и непрерывного регулирования параметров технологических процессов в реальном времени [8]. Контроллер встраивают непосредственно в единицу оборудования. Его входы соединяют с датчиками, а выходы – с исполнительными устройствами. Алгоритм управления записывают с помощью подключаемого программатора или персонального компьютера со специальным программным обеспечением. Для согласованного управления единицами оборудования в автоматической линии контроллеры стали объединять в сеть (рис. 1.13).

Одновременно развивались многопроцессорные распределенные системы управления DCS (Distributed Control System). Система представляет собой совокупность распределенных в пространстве устройств управления УУ, связанных через систему обмена информацией с центральным устройством управления (рис. 1.14).



Автоматическая линия

Рис. 1.13. Объединение программируемых логических контроллеров ПЛК в сеть

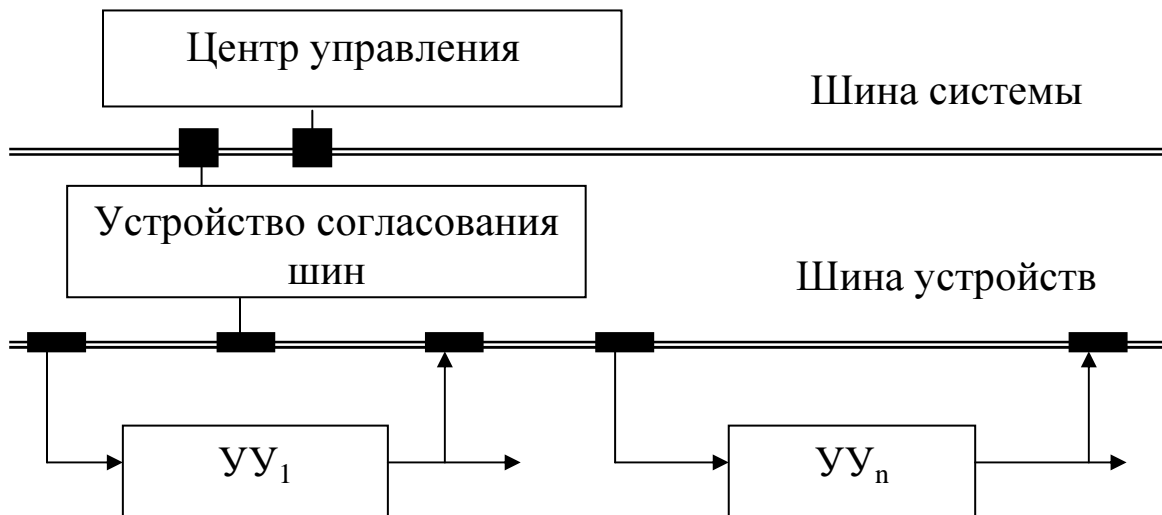


Рис. 1.14. Структура распределенной системы управления с промышленными шинами

Ее применяют для объектов с непрерывным технологическим циклом : химических реакторов, АЭС, металлургических и пищевых производств. Текущая информация о процессе стекается в центральное устройство управления, которое представляет ее операторам, вырабатывающим команды управления.

Применение контроллеров расширилось от автономного управления "машина-контроллер" к управлению "система машин – сеть контроллеров", в то время как распределенные системы управления развивались в противоположном направлении: от общей задачи автоматизации производства – к уровню автоматизации отдельного процесса. Если контроллеры создавались для дискретных процессов, заменяя в машиностроении и других отраслях релейно-контактную логику, то распределенные системы управления применялись для непрерывных процессов в химии или энергетике.

С целью расширения технологических приложений в контроллеры вводили аналоговые входы и выходы, а в распределенные системы управления – дискрет-

ные алгоритмы управления. К 1990 году контроллеры стали соединять с шинами обмена информацией в стандартах RS232 и MAP, к которым подключался персональный компьютер для визуализации процессов на пульте диспетчера. С другой стороны, распределенные системы управления имели шины обмена информацией с отображением процесса на экране компьютера. Расширение функций контроллеров вверх и развитие распределенных управляющих систем вниз привели к их объединению. Контроллеры, связанные с объектом, стали подключать к распределенным системам управления в качестве низовых звеньев автоматике. Появились общие для обеих систем операционные системы, работающие в реальном времени.

Новым направлением компьютерной автоматизации стало создание промышленного компьютера и его применение для автоматизации управления процессом. Его называют компьютерным управлением (*Computer-Based Control*). В отличие от традиционных приложений персональных компьютеров при компьютерном управлении оборудованием применяют промышленные компьютеры, обеспечивающие управление оборудованием в экстремальных условиях эксплуатации.

### ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 1

1. По каким признакам разделяют дискретные и непрерывные производства?
2. Чем неорганизованная среда отличается от полностью определенной и организованной?
3. Как оценить влияние среды на процесс управления?
4. Опишите три способа регулирования в непрерывном производстве.
5. Что отображают автоматные таблицы для комбинационного и последовательностного конечных автоматов?
6. От чего зависит число строк и столбцов в автоматных таблицах?
7. Как записать алгоритм на языке секвенций?
8. Разделите задачи уровней автоматизации на примере производства.
9. Для чего потребовался уровень MES?
10. Чем автомат отличается от полуавтомата?
11. В чем состоят преимущества программных устройств автоматике?
12. Опишите централизованную и распределенную структуры управления производством.
13. Как работает сеть контроллеров?
14. Чем PC-based control отличается от автоматизации с применением PLC и DCS?

## Глава 2. Связь с объектом управления

### 2.1. Датчики

#### 2.1.1. Общие характеристики

Датчики предназначены для преобразования физической величины в электрический сигнал, который вводят в управляющее устройство [9]. Датчик содержит чувствительный элемент ЧЭ и преобразующий элемент ПЭ, к которым подводится напряжение питания  $U_{П}$  (рис.2.1). Напряжение на выходе преобразователя  $U_{ВЫХ}$  зависит от физической величины  $\Phi В$ .

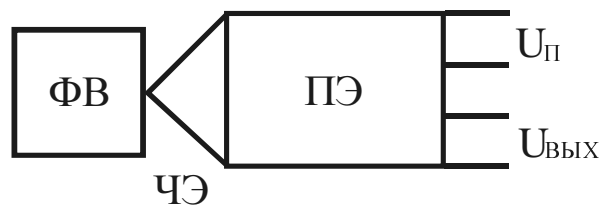


Рис. 2.1. Структура преобразователя  $\Phi В$  в электрический сигнал  $U_{ВЫХ}$ : ЧЭ – чувствительный элемент; ПЭ – преобразующий элемент

Выходной сигнал  $U_{ВЫХ}$  датчика может быть трех видов (рис. 2.2):

- а – аналоговый, пропорциональный физической величине;
- б – цифровой, при котором каждое значение физической величины преобразуется в цифровую форму, например в цифровом приборе;
- в – бинарный, при котором выходной сигнал имеет одно из двух значений.

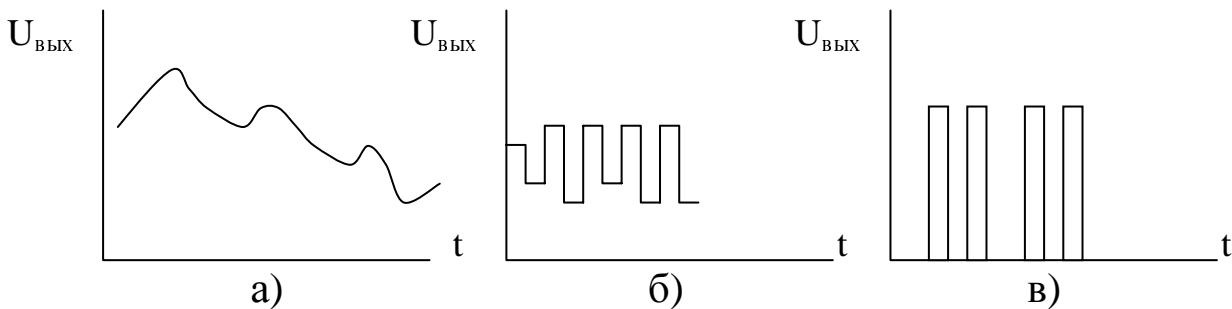


Рис. 2.2. Форма выходного сигнала датчика: а – аналоговый; б – цифровой; в – бинарный.

Следует различать применение датчиков в задачах диспетчерского контроля и автоматического управления процессом (рис. 2.3).

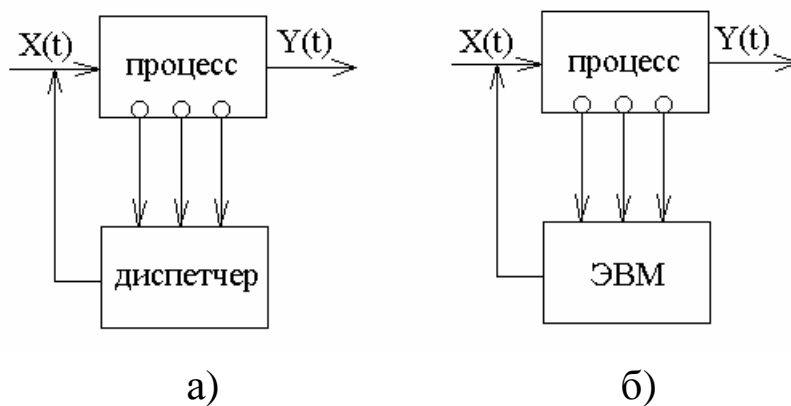


Рис. 2.3. Режимы управления процессом производства:  
а – диспетчерский контроль; б – автоматическое управление

В задачах контроля (рис.2.3,а) диспетчер с помощью датчиков оценивает ход технологического процесса  $Y(t)$  и корректирует управляющее воздействие  $X(t)$ . От датчиков не требуется высокой точности, поскольку неточная информация о процессе компенсируется опытом диспетчера. В задачах автоматического управления (рис.2.3,б) датчики должны соответствовать специальным требованиям по погрешности, разрешающей способности, чувствительности, линейности и времени отклика, поскольку их сигналы должны быть согласованы с системой автоматического управления.

**Погрешность измерения** – это максимальная разность между измеренной и действительной физической величиной. Если измеритель перемещений имеет погрешность  $\pm 2$  мм, то любое измерение может отличаться от действительной величины до 2 мм в ту или иную сторону. Часто погрешность выражают в процентах по отношению к полной шкале и называют приведенной погрешностью.

**Разрешающая способность** показывает наибольшую точность, с которой измеряют величину. Она меньше погрешности и равна разности между соседними отсчетами измерения. Например, разрешающая способность линейки с делениями через 1 мм равна 1 мм.

**Чувствительность** – это отношение изменения выходного сигнала преобразователя к изменению входного сигнала. Если при перемещении объекта на 10 мм выходной сигнал изменяется с 10 до 100 В, то чувствительность преобразователя равна

$$(100-10) : 10 = 9\text{В/мм.}$$

**Линейность** является важнейшей характеристикой преобразователя. При линейной характеристике (рис. 2.4, а) выходная и входная величины связаны постоянным коэффициентом, поэтому для формирования сигнала можно применять простые усилители. Линейная характеристика имеет предел, после которого вы-

ходная величина не реагирует на изменение входной величины. При нелинейной характеристике

(рис. 2.4, б) приходится разрабатывать специальный нелинейный преобразователь сигнала датчика. Обычно нелинейную характеристику линеаризуют – представляют в виде последовательности линейных характеристик на ограниченных участках  $0-X_1$ ,  $X_1-X_2$  (рис. 2.4, в).

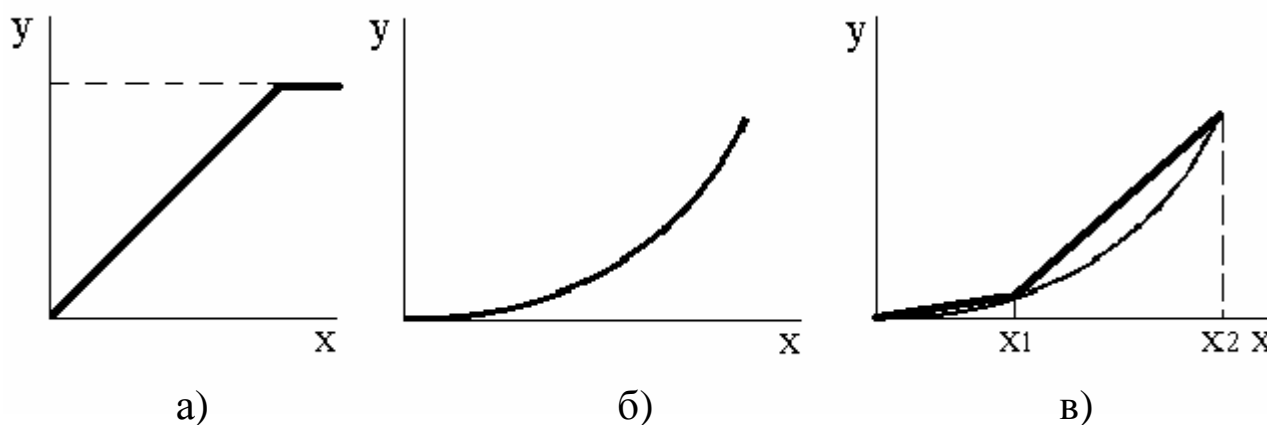


Рис. 2.4. Характеристики преобразователя:  
а – линейная; б – нелинейная; в – линеаризованная

**Гистерезис** показывает, что выход преобразователя зависит от того, увеличивается или уменьшается входная величина (рис.2.5). В этом случае оценивают ширину петли гистерезиса  $c$ , которая показывает, какие значения принимает выходная величина  $y$  при одном и том же значении входной величины  $x$ , но разных направлениях её изменения.

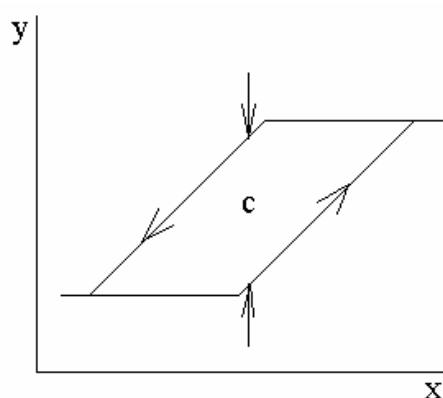


Рис. 2.5. Гистерезис датчика

**Повторяемость** показывает, что каждому значению входного сигнала соответствует одно и то же значение выходного сигнала преобразователя.

**Время отклика**  $\Delta t$  равно времени, через которое выходная величина  $y$  достигнет установившегося значения после изменения входной величины  $x$  (рис. 2.6).

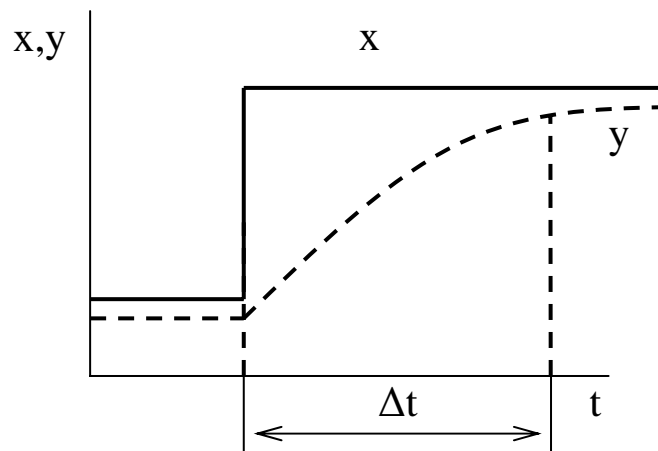


Рис. 2.6. Время отклика преобразователя

**Полоса преобразования** характеризует полосу частот входного сигнала, которую пропускает преобразователь. Чем шире полоса преобразования, тем меньше время отклика.

По принципу связи физической величины с электрическим сигналом датчики ведут **абсолютный** или **относительный** отсчеты. В первом случае каждому значению физической величины соответствует свое значение электрического сигнала. Во втором случае ведут отсчет от некоторого значения физической величины, считая его нулевым значением.

По виду взаимодействия с объектом датчики могут быть **контактными** и **бесконтактными**. У контактных датчиков чувствительный элемент механически взаимодействует с объектом. У бесконтактных датчиков взаимодействие осуществляется без механического контакта.

Рассмотрим принципы работы датчиков для автоматизации производства.

### 2.1.2. Датчики положения

**Датчик положения** (путевой переключатель, концевой выключатель) фиксирует наличие объекта в определенной точке пути. В его структуру (рис. 2.7) входят: переключающий упор 1, жестко связанный с объектом; чувствительный элемент 2, преобразующий перемещение переключающего упора в электрический сигнал; релейный элемент 3, преобразующий электрический сигнал чувствительного элемента в состояния "включено" или "выключено", и исполнительный элемент 4 для нормирования логического сигнала перед его передачей в систему управления.

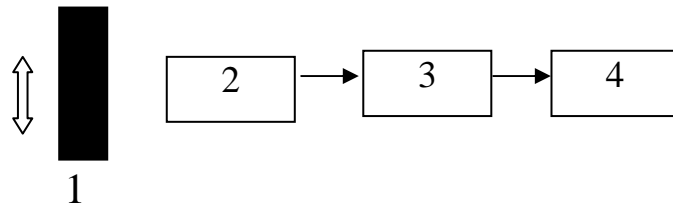


Рис. 2.7. Структура путевого переключателя:  
 1 – переключающий упор на объекте, 2 – чувствительный элемент,  
 3 – релейный элемент, 4 – исполнительный элемент

Контактные датчики положения отличаются механическим воздействием переключающего упора на чувствительный элемент. Обычно это рычажные выключатели (рис. 2.8), простые и дешевые, но подверженные механическому изно-

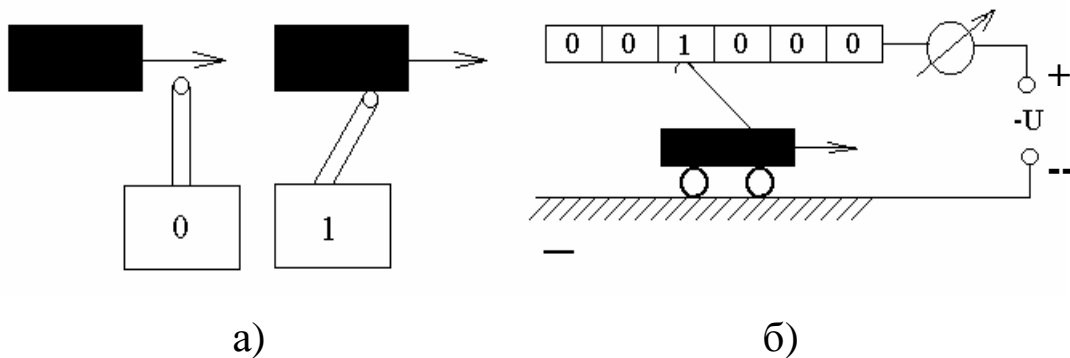
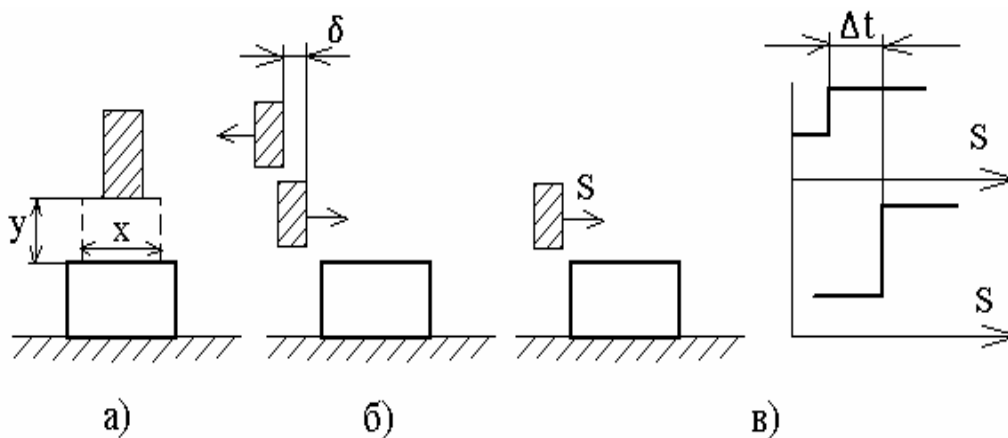


Рис. 2.8. Контактный датчик положения:  
 а – рычажный выключатель; б – секционированная троллей

су и неспособные работать при быстрых перемещениях объекта.

Бесконтактные датчики положения не имеют механического контакта с объектом, поэтому сохраняют работоспособность при быстрых перемещениях объекта. Они защищены от внешних воздействий и не требуют ухода при длительной эксплуатации. Такие датчики характеризуются размерами зоны чувствительности, дифференциалом хода, временем срабатывания и рабочим зазором (рис.2.9).



а – зона чувствительности  $x, y$ ; б – дифференциал хода  $\delta$ ;  
 в – время срабатывания  $\Delta t$

Зоной чувствительности называют зону, в которой датчик реагирует на перемещение переключающего упора. Она характеризуется рабочим зазором  $u$  и шириной  $x$ .

**Рабочий зазор  $u$**  – максимальное расстояние между переключающим упором и чувствительным элементом, при котором датчик реагирует на перемещение объекта.

**Ширина зоны чувствительности  $x$**  – перемещение переключающего упора, при котором на выходе датчика появляется сигнал (рис. 2.9, а).

**Дифференциал хода  $\delta$**  – разность между точкой включения при прямом перемещении и точкой отключения при обратном перемещении объекта (рис. 2.9, б).

**Время срабатывания  $\Delta t$**  – время между входом объекта в зону чувствительности и срабатыванием датчика (рис. 2.9, в).

По принципу работы бесконтактные датчики положения могут быть магнитогерконовыми, генераторными, индуктивными, емкостными и фотоэлектрическими.

Магнитогерконовый датчик содержит постоянный магнит и магнитоуправляемый герметизированный контакт (геркон), представляющий собой две-три золоченные пластины, заключенные в стеклянный вакуумный баллон (рис. 2.10).

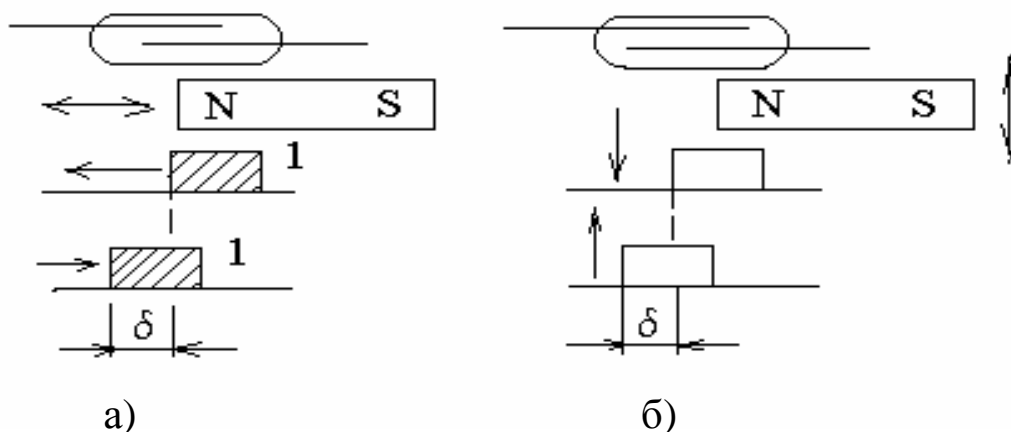


Рис. 2.10. Работа магнитогерконового датчика положения при движении магнита: а – параллельно оси геркона; б – перпендикулярно оси геркона

Контакты на концах пластин внутри баллона замыкаются, размыкаются или переключаются под действием постоянного магнитного поля. Постоянный магнит, связанный с подвижным объектом, может перемещаться параллельно или перпендикулярно оси геркона. В обоих случаях дифференциал хода  $\delta$  достигает 5- 6 мм. К недостаткам герконов относятся залипание контактов, влияние на его работу близких металлических масс, невысокая чувствительность, дребезг контактов (отскакивание друг от друга после первого замыкания), ограниченное число срабатываний.

Генераторный датчик положения использует изменение индуктивности или емкости колебательного контура генератора при перемещении металлического объекта в зоне его чувствительности. Это приводит к срыву колебаний генератора

и появлению сигнала на выходе. Внутри корпуса датчика размещены генератор 2 с выведенным в зону чувствительности колебательным контуром, пороговый элемент 3 и усилитель 4 (рис. 2.11). На выходе датчика имеются три провода, к двум из которых подведено напряжение питания. При попадании металлического объекта 1 в чувствительную зону датчика происходит изменение частоты генератора и пороговый элемент переключается в состояние выдачи сигнала. После усиления сигнала появляется напряжение срабатывания реле Р на третьем проводе датчика.

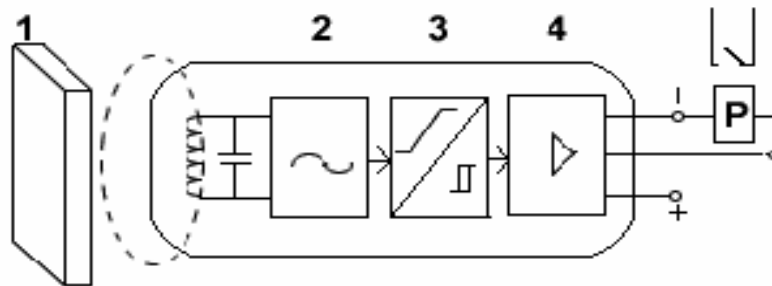


Рис.2.11. Схема генераторного датчика положения:  
переключающий упор; 2-генератор; 3-пороговый элемент; 4-усилитель

Генераторные датчики могут быть щелевыми, плоскостными или торцевыми. В щелевом датчике (рис. 2.12, а) переключающий упор проходит через щель шириной 3-100 мм. Дифференциал хода составляет 1,5 – 2,0 мм при ширине щели до 6 мм и 5 – 15 мм при ширине щели 20 – 100 мм. В плоскостном датчике (рис.2.12, б) переключающий упор перемещается на расстоянии 25 – 16 мм от плоской поверхности датчика.

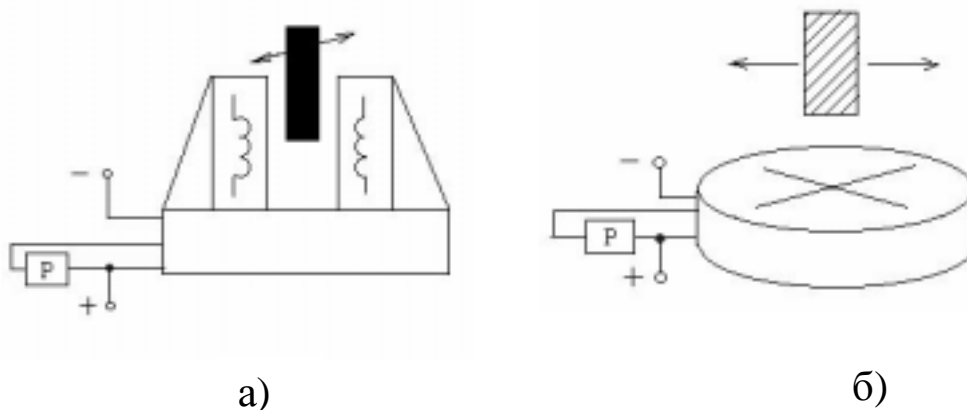


Рис. 2.12. Генераторные датчики положения:  
а – щелевой; б – плоскостной

В современной технике автоматизации чаще всего применяют генераторные датчики положения торцевого типа. Датчик положения подвижных звеньев механизмов выполнен в виде неразборного болта диаметром 8 – 12 мм и длиной 50 – 60 мм (рис.2.13). Внутри болта размещены автогенератор, детектор, пороговый элемент и выходной усилитель-формирователь. Чувствительный элемент представляет собой

катушку индуктивности. Прохождение металлического объекта на расстоянии 1–3 мм от торца датчика приводит к изменению индуктивности, срыву генерации и включению реле Р между проводом питания и третьим проводом датчика.

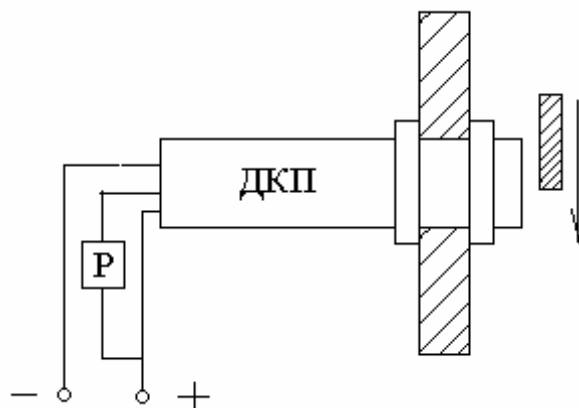


Рис. 2.13. Датчик положения торцевого типа ДКП

Дифференциал хода составляет 0,15 – 0,60 мм, погрешность положения точки переключения – 0,05 – 0,10 мм, частота переключения – до 800 Гц, ток нагрузки – 200 мА.

Индуктивный датчик положения использует эффект воздействия металлического объекта на магнитное поле сердечника автогенератора. Генератор с катушкой на сердечнике формирует электромагнитное поле (рис. 2.14, а). Ввод в это поле ферромагнитного объекта приводит к снижению магнитного сопротивления сердечника пропорционально расстоянию до объекта (рис. 2.14, б), изменению индуктивности и срыву колебаний генератора. На выходе датчика формируется сигнал срабатывания реле.

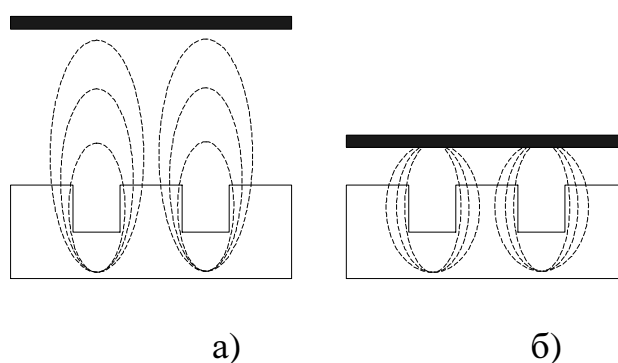


Рис. 2.14. Принцип работы индуктивного датчика положения:  
а – объект вне зоны чувствительности;  
б – объект в зоне чувствительности

Индуктивный датчик дроссельного типа содержит обмотку L на П-образном сердечнике, через которую реле переменного тока Р получает питание (рис. 2.15). При перемещении объекта шунт Ш замыкает магнитный поток через сердечник, индуктивное сопротивление обмотки резко возрастает и реле отключается.

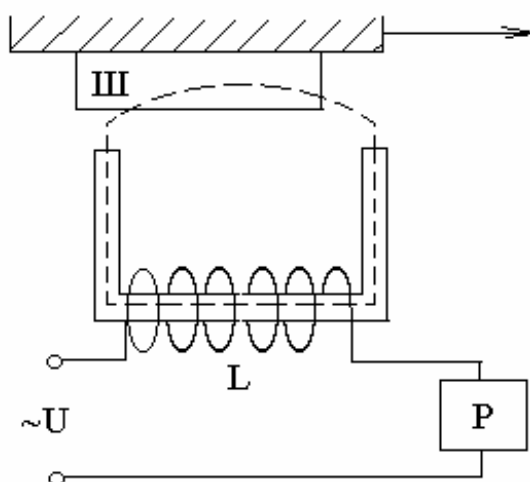


Рис. 2.15. Работа индуктивного датчика положения дроссельного типа

Если в индуктивных датчиках положения при перемещении объекта меняется индуктивность, то в емкостных датчиках чувствительным элементом является емкость колебательного контура.

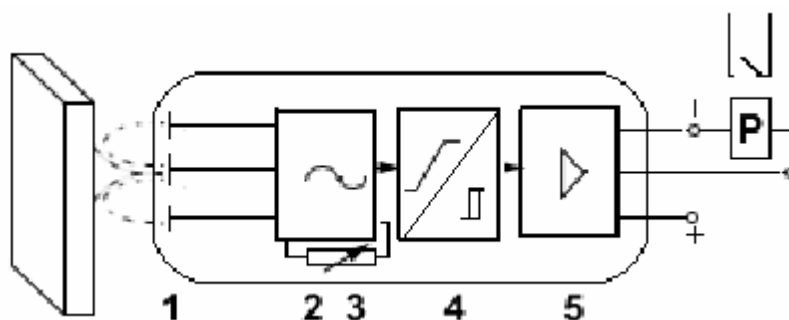


Рис. 2.16. Емкостный датчик положения:  
1 – конденсатор; 2 – генератор; 3 – резистор;  
4 – пороговый элемент; 5 – усилитель

Емкостный датчик положения (рис. 2.16) содержит генератор 2 с конденсатором 1, обкладки которого вынесены к торцу датчика, резистор 3 для установки частоты генератора, пороговый элемент 4 и усилитель 5. При попадании объекта в зону чувствительности датчика емкость конденсатора 1, задающая частоту генератора 2, изменяется. Вследствие этого пороговый элемент 4 переходит в другое состояние. После усиления его сигнала усилителем 5 на третьем проводе появляется напряжение, которое включает реле Р.

Емкостные датчики положения отличаются высокой чувствительностью и простотой конструкции, однако изменяют свои характеристики в зависимости от запыленности, влажности и температуры. Датчик реагирует как на металлические, так и на неметаллические объекты.

Принцип работы фотоэлектрических датчиков положения (фотореле) основан на изменении освещенности фотоприемника при перемещении объекта. Фотоприемник выполнен из светочувствительного полупроводника, например арсенида галлия.

В качестве источника света обычно используют лазерные диоды. Датчики положения выдают сигнал либо при перекрытии объектом луча от источника света к фотоприемнику, либо при отражении объектом света от источника, и его попадании на фотоприемник (рис. 2.17).



Рис. 2.17. Способы контроля положения объекта фотоэлектрическим датчиком:  
а – перекрытие оптического зазора; б – отражение от объекта

Световой барьер (рис. 2.18) представляет собой стойки фотоизлучателей и фотоприемников, направленных друг к другу. Он предназначен для бесконтактного ограждения опасных зон. Каждый фотоприемник принимает узконаправленный оптический луч от противоположно установленного фотоизлучателя. При пересечении луча объектом ограждаемый технологический процесс останавливается и подается сигнал тревоги.

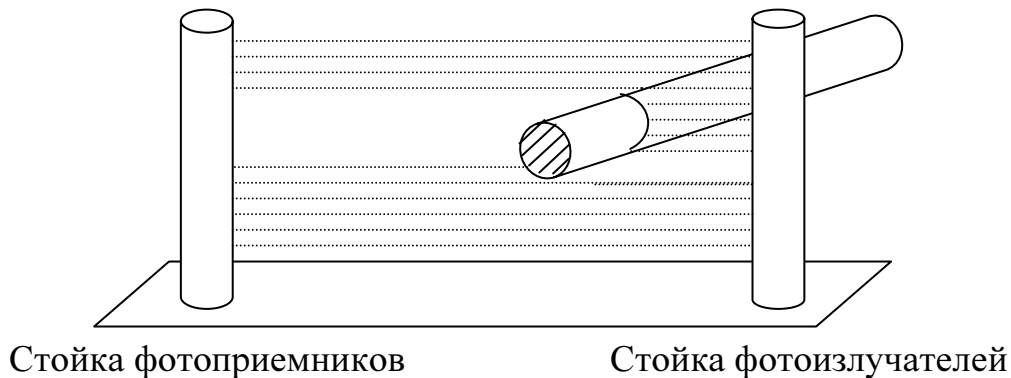


Рис. 2.18. Световой барьер

Опасная зона может быть ограждена с трех сторон одним световым барьером и двумя отражателями (рис. 2.19).

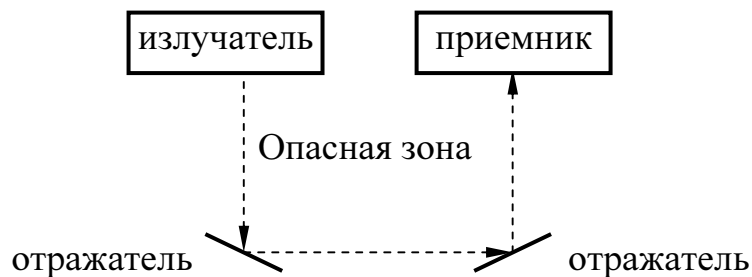


Рис. 2.19. Ограждение опасной зоны световым барьером

Волоконно-оптические датчики положения реагируют на пересечение или отражение светового потока, передаваемого через оптическое волокно (рис. 2.20).

Современные датчики имеют встроенную регулировку зоны чувствительности. Начало и конец зоны чувствительности устанавливают нажатием кнопки на корпусе датчика при обучении срабатыванию датчика.

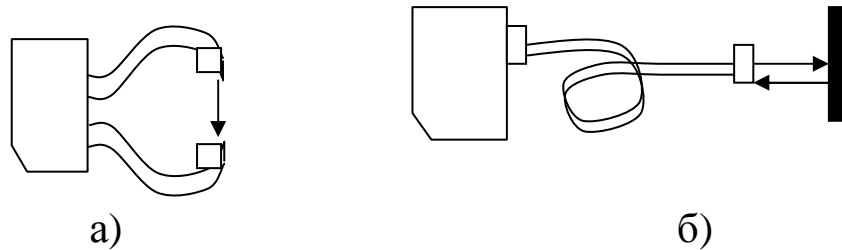


Рис. 2.20. Волоконно – оптический датчик положения, чувствительный:  
а – к пересечению светового потока; б – к отражению светового потока

### 2.1.3. Измерители перемещений

Измерители перемещений формируют сигнал, зависящий от положения объекта между двумя точками. Этот сигнал может быть аналоговым или цифровым. Измеритель перемещений может быть потенциметрическим, емкостным, индуктивным, с эффектом Холла, магниторезистивным, магнитострикционным, оптическим. Выходной сигнал измерителя перемещений линейно зависит от величины перемещения объекта (рис. 2.21).

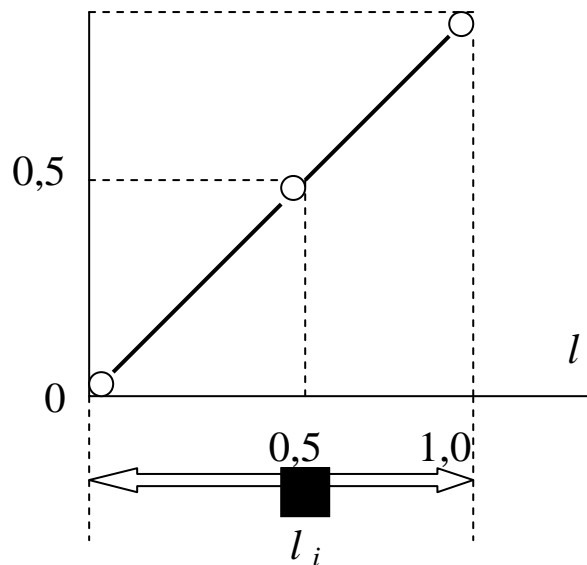


Рис.2.21.Связь выходного напряжения измерителя перемещений с перемещением объекта

Простейшим измерителем перемещений с аналоговым выходом является потенциметрический датчик, представляющий собой переменное сопротивление, движок которого соединен с подвижным объектом (рис. 2.22). К сопротивлению подводят напряжение  $U_0$ . С движка сопротивления снимают выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ , пропорциональное величине перемещения подвижного объекта, например звена манипулятора робота. Точность измерения составляет 0,01 – 0,05 % при числе перемещений до 2,0 млн с частотой до 150 об/мин.

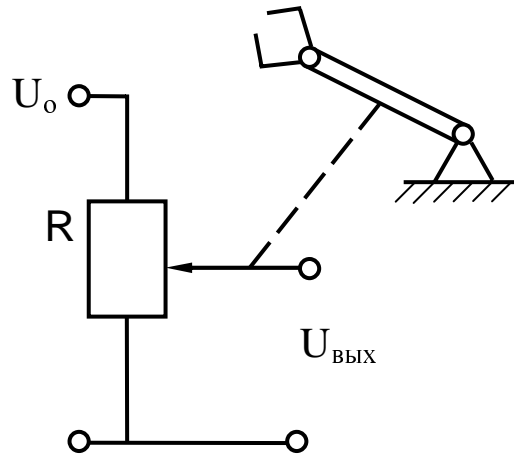


Рис. 2.22 . Потенциометрический измеритель перемещений

В отличие от обычных потенциометров, характеристика потенциометрического измерителя перемещений должна быть линейной.

В качестве аналогового измерителя угловых перемещений в традиционной автоматике применяют сельсинную пару, содержащую связанные тремя проводами сельсин-передатчик и сельсин-приемник .

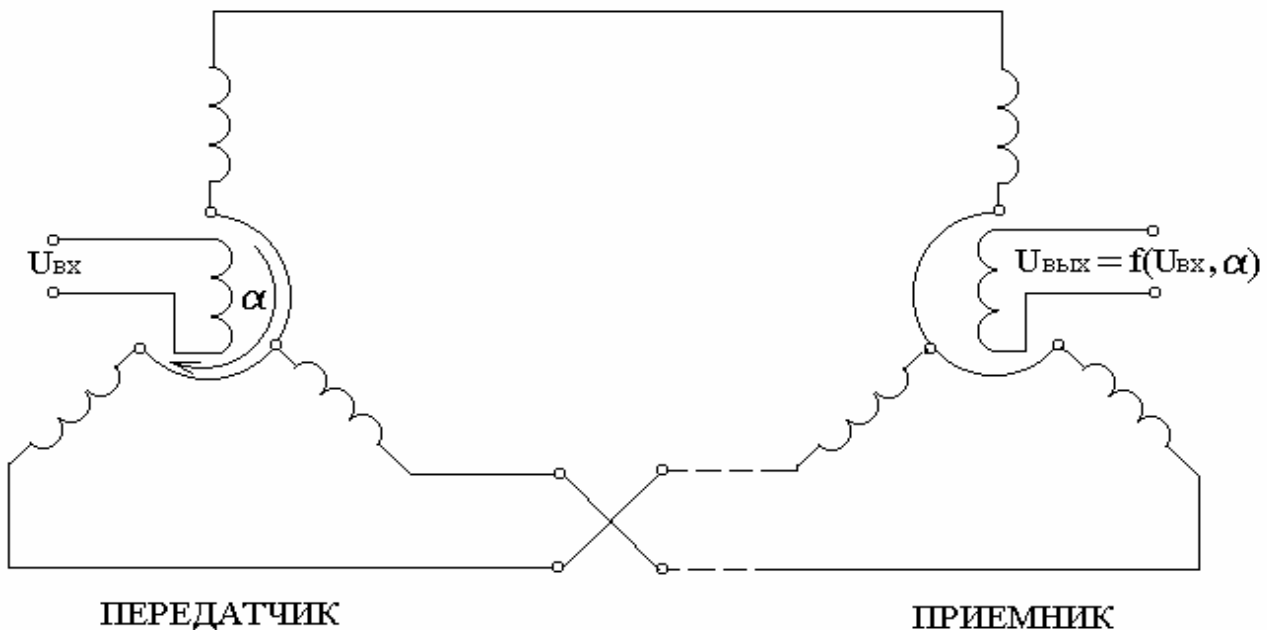


Рис. 2.23. Сельсинная пара в режиме измерения угловых перемещений

Каждый сельсин состоит из ротора и статора. Ротор с двухполюсной обмоткой, к которой подведено переменное напряжение  $U_{ВХ}$ , соединен с подвижным элементом и при повороте элемента на угол  $\alpha$  поворачивается внутри статора на такой же угол. Статор имеет три обмотки, размещенные под углом  $120^\circ$ . В обмотках статора индуцируется переменное напряжение, распределяемое между обмотками в за-

висимости от угла поворота  $\alpha$  ротора относительно статора. Это напряжение по трем проводам передается на обмотки статора сельсина-приемника и затем индуцируется в обмотке ротора как величина  $U_{\text{вых}}$ , зависящая от угла поворота ротора в сельсине-передатчике. Если обмотки ротора приемника и передатчика питать от одного источника напряжения, то ротор приемника будет повторять повороты ротора передатчика. Погрешность измерения угла  $\alpha$  составляет 20 – 30 угловых минут.

Еще один пример аналогового измерителя линейных перемещений – индукционный датчик (рис. 2.24). В корпусе 1 перемещается соединенный с объектом стержень 2, через который электромагнитное поле передается от первичной 3 к двум вторичным обмоткам 4. Разность напряжений, наводимых во вторичных обмотках, зависит от положения стержня внутри корпуса. Датчик отличается высокими точностью и разрешением, стабильностью характеристик, малой стоимостью.

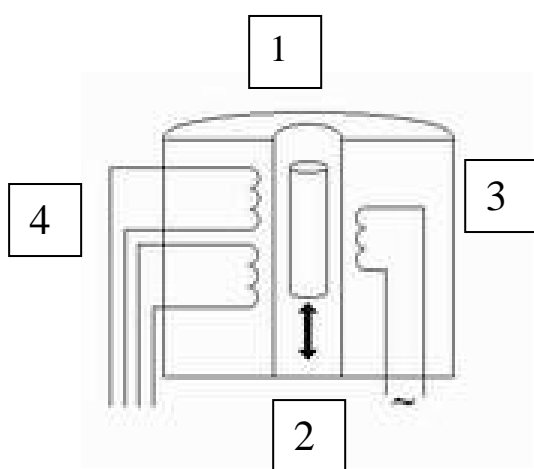


Рис. 2.24. Индукционный измеритель линейных перемещений:  
1- корпус; 2- стержень; 3- первичная обмотка; 4- вторичные обмотки

В вихретоковом измерителе линейных перемещений (рис.2.25) к обмотке 1 прикладывают переменное напряжение высокой частоты. Образующееся при этом электромагнитное поле наводит вихревые токи в ферромагнитном материале 2. Амплитуда напряжения зависит от расстояния до объекта из ферромагнитного материала. Такой датчик нечувствителен к изменению температуры, имеет малые габариты и высокую точность.

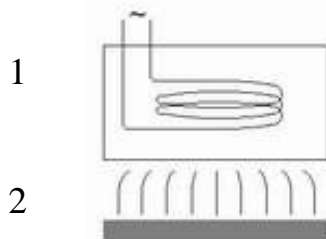
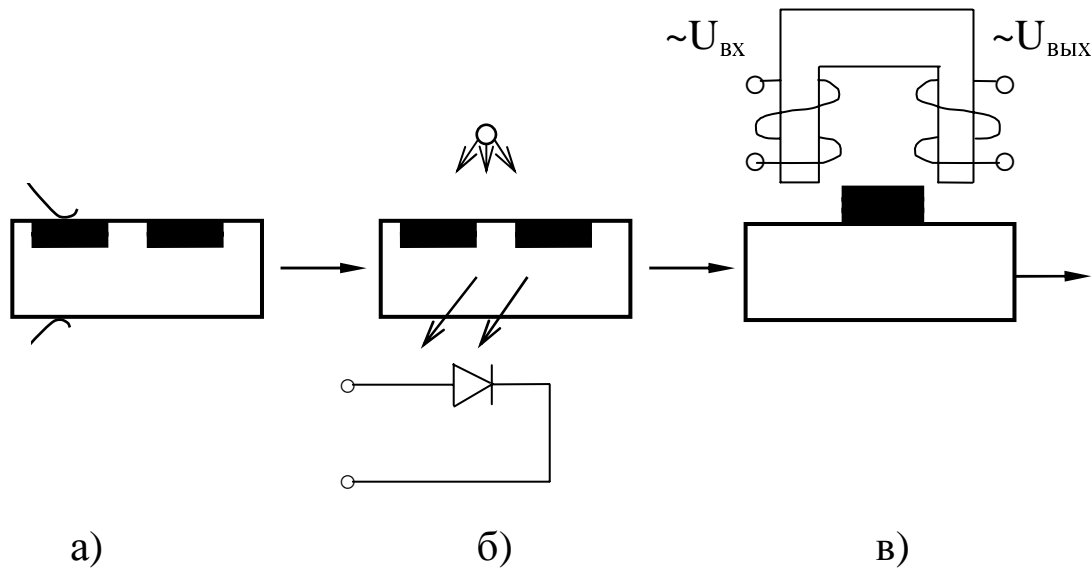


Рис. 2.25. Вихретоковый измеритель перемещений: 1- датчик; 2- ферромагнитный материал

Цифровые измерители перемещений преобразуют линейное или угловое перемещение в цифровой код. Они точнее аналоговых измерителей, поскольку разрешающая способность цифрового кодирования перемещений может быть весьма высока. Измерители имеют движущийся диск или полосу (рис.2.26) с чередованием проводящих и непроводящих участков и считывающее устройство в виде щетки (а), фотоприемника (б) или индуктивного преобразователя (в). В зависимости от перемещения объекта на выходе измерителя образуются электрические импульсы.



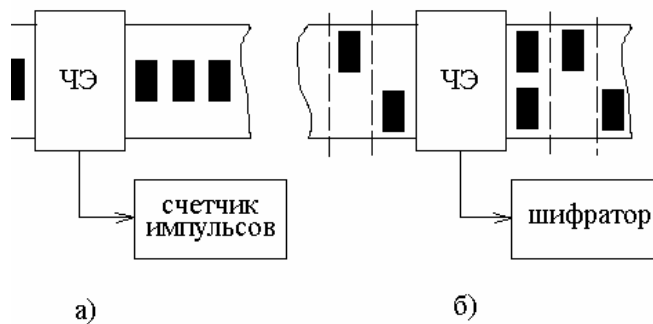
а)

б)

в)

Рис. 2.25 . Принципы кодирования перемещений:  
а – электропроводящими секторами; б – светопроводящими  
участками; в – магнитными сегментами

По принципу считывания цифровые измерители делят на накапливающие и абсолютные. В накапливающих измерителях или преобразователях приращений импульсы чувствительного элемента ЧЭ суммируют или вычитают в счетчике приращений (рис. 2.27 , а). Накапливающий измеритель возвращается в исходное положение при включении системы и начинает отсчет импульсов при перемещении. В абсолютных измерителях или преобразователях считывания каждое положение объекта характеризуется определенной кодовой комбинацией (рис. 2.27, б).



а)

б)

Рис. 2.27. Способы считывания перемещений объекта: а- накапливающий; б- абсолютный

В современной автоматике наиболее надежными и точными признаны фотоэлектрические измерители перемещений. Измеритель состоит из двух дисков с

источниками 1 и приемниками 2 света, закрепленных на общей оси так, что каждый приемник (фотодиод) получает свет от расположенного напротив источника (светодиода) (рис.2.28).

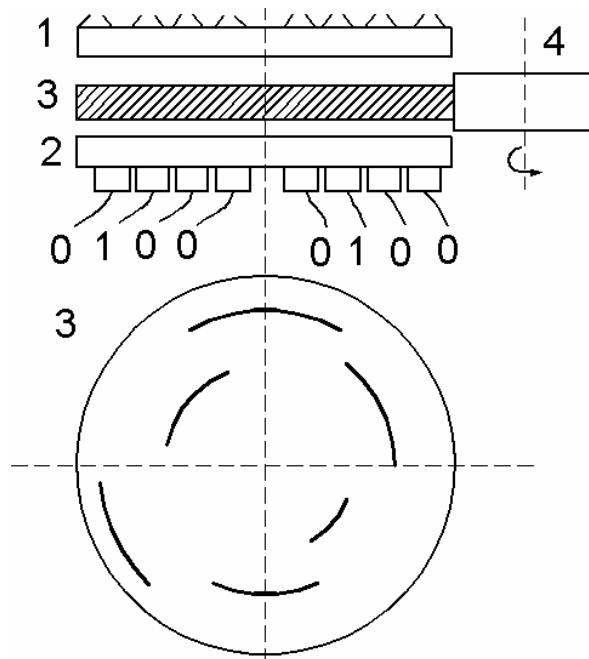


Рис. 2.28. Фотоэлектрический измеритель угловых перемещений:  
 1 – диск светодиодов, 2 – диск фотодиодов,  
 3 – кодирующий диск, 4 – объект

Между этими дисками вставляется непрозрачный кодирующий диск 3, в котором вырезано 5-10 тысяч секторов шириной около 10 микрон. При повороте этого диска объектом 4 одни фотодиоды воспринимают свет, а другие – нет. Соответственно углу поворота изменяется код на выходе датчика. В зависимости от числа фотодиодов и размещения секторов на кодовом диске число кодовых комбинаций за один оборот диска достигает 8 тысяч, а разрешающая способность датчика составляет сотые доли микрона.

Фотоэлектрические измерители перемещений (поворотные шифраторы) могут быть абсолютными или относительными. Абсолютный шифратор измеряет перемещение относительно нулевой точки. Его применяют для измерения малой скорости перемещений, например задвижек в трубопроводах. У однооборотных шифраторов полный оборот вала делят на 8192 отсчета. В многооборотных шифраторах фиксируют также число оборотов, поэтому число разных кодов превышает 33,5 млн. Относительный шифратор (шифратор приращений) измеряет перемещения в обе стороны относительно заданного положения. Двухканальные шифраторы вырабатывают две последовательности импульсов, сдвинутые на  $90^\circ$ .

В качестве датчиков скорости ранее использовали тахогенераторы – миниатюрные электрические машины с возбуждением от постоянных магнитов, в кото-

рых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения ротора, связанного с вращающимся объектом. В настоящее время для измерения скорости используют бесконтактные датчики положения, в которых подсчитывают число импульсов в единицу времени при вращении зубчатого диска, связанного с вращающимся объектом.

#### 2.1.4. Тактильные датчики

Тактильные датчики предназначены для обнаружения контакта с объектом или распознавания объектов по тактильному образу. Простой тактильный датчик представляет собой датчик положения с подвижным щупом, поворачивающимся при соприкосновении с объектом (рис. 2. 29).

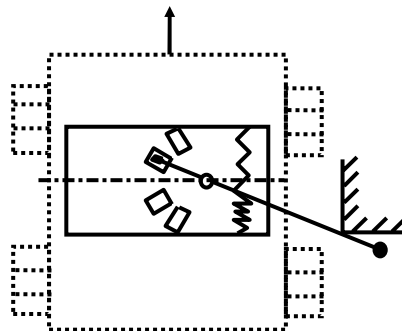


Рис. 2. 29. Работа тактильного датчика со щупом

Тактильный датчик, имитирующий ус кошки, содержит гибкий щуп 1, который пропущен через отверстие в медной пластине 3 и припаян к фольгированной плате 2 (рис. 2.30,а).

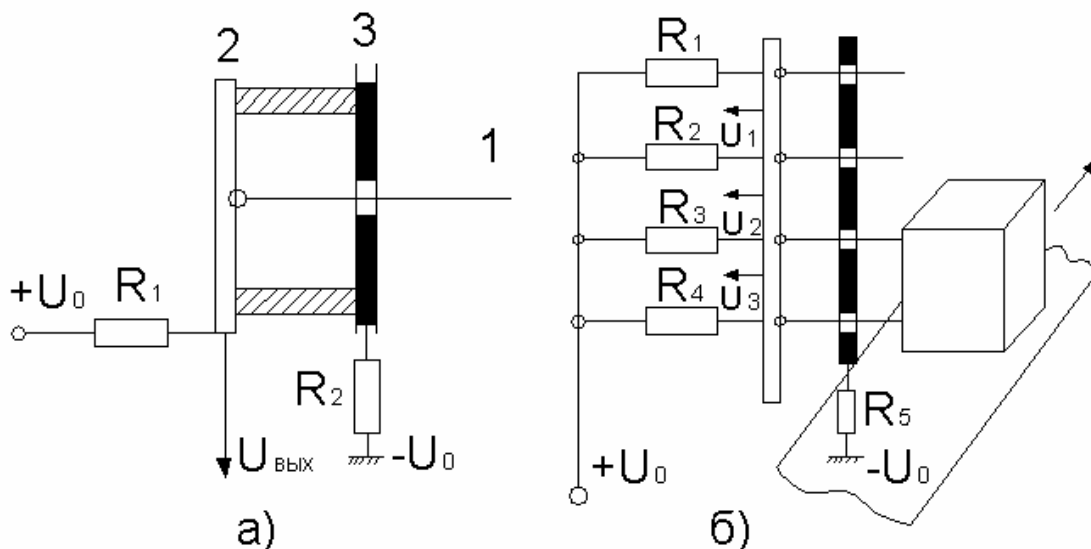


Рис. 2.30. Тактильный датчик с эластичным щупом: а- конструкция датчика; б- линейка датчиков для измерения высоты движущихся объектов

Через резистор  $R_1$  к плате подключен один полюс напряжения  $U_0$ , а к медной пластине через резистор  $R_2$  – другой полюс. При касании объекта щуп изгибается и соединяется с медной пластиной. С фольгированной платы снимают сиг-

нал касания  $U_{\text{вых}}$ . Линейка таких датчиков образует систему распознавания формы объектов, движущихся по конвейеру (рис. 2.29, б).

Другим типом тактильных датчиков является датчик контактного давления, не имеющий щупа. Матрица датчиков контактного давления размещается на плоской поверхности и служит для распознавания формы касающегося ее объекта (рис. 2.30, а). Датчик контактного давления может быть выполнен в виде матрицы металлических контактов, над которой через эластичный материал с отверстиями уложена фольга (рис. 2.30, б). При нажатии на фольгу контакт замыкается. Объект распознается по совокупности замкнутых контуров в матрице.

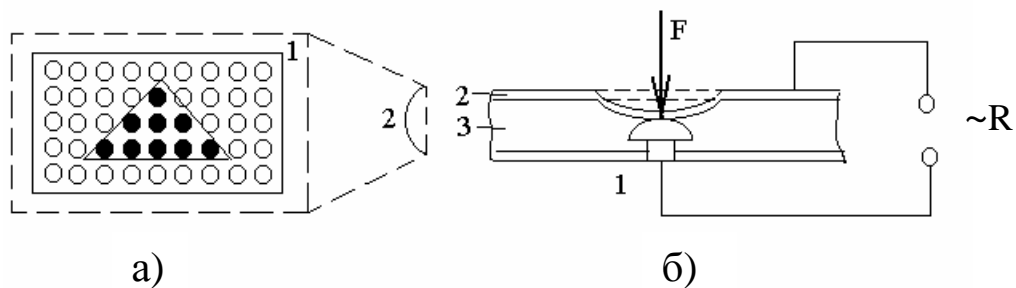


Рис. 2.31. Распознавание формы объекта тактильной матрицей:

а – размещение элементов матрицы 1 на поверхности 2; б – включение элемента при нажатии; 1 – контакт, 2 – фольга, 3 – эластичный материал

Развиваются работы по созданию "искусственной кожи" – тактильных матриц на поливинилфторидной пленке 1 с изменяемой проводимостью  $R$ , которую помещают между матрицами электродов 2 и 3 (рис. 2.32). При нажатии на верхний электрод 2 пленка сжимается и ее проводимость в месте нажатия увеличивается, что позволяет оценить форму объекта по распределению давления  $P$  и изменению сопротивления элементов матрицы.

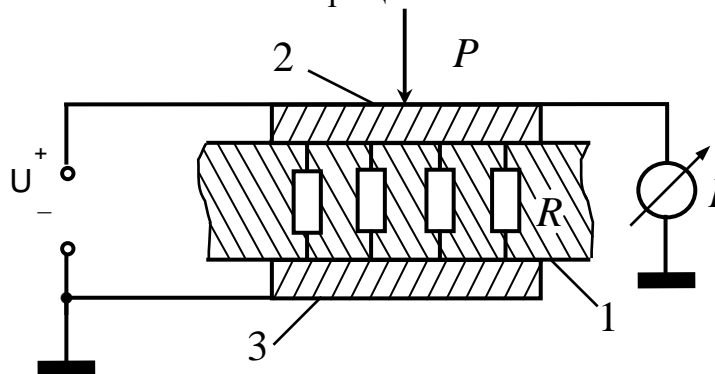


Рис. 2.32. Схема "искусственной кожи":

1 – полупроводящая пленка; 2, 3 – электроды

### 2.1.5. Силоизмерительные датчики

Датчики применяют для измерения нагрузок на подвижных элементах, например, при контроле веса груза, дистанционном управлении манипулятором, оценке усилий при обработке заготовок, операциях сборки. Преобразование усилий в электрический сигнал осуществляется двумя способами:

- обработка сигнала с чувствительного к усилиям элемента датчика (тензорезисторные, пьезоэлектрические или магнитоупругие преобразователи);
- измерение перемещения подпружиненной опоры, к которой приложено усилие, например на платформе положен груз.

Самым распространенным датчиком, чувствительным к усилиям, стал тензорезистор, преобразующий усилие в изменение электрического сопротивления. Тензорезистор представляет собой тонкий провод с высоким удельным сопротивлением, уложенный прямоугольными витками между мягкими подложками (рис. 2.33, а).

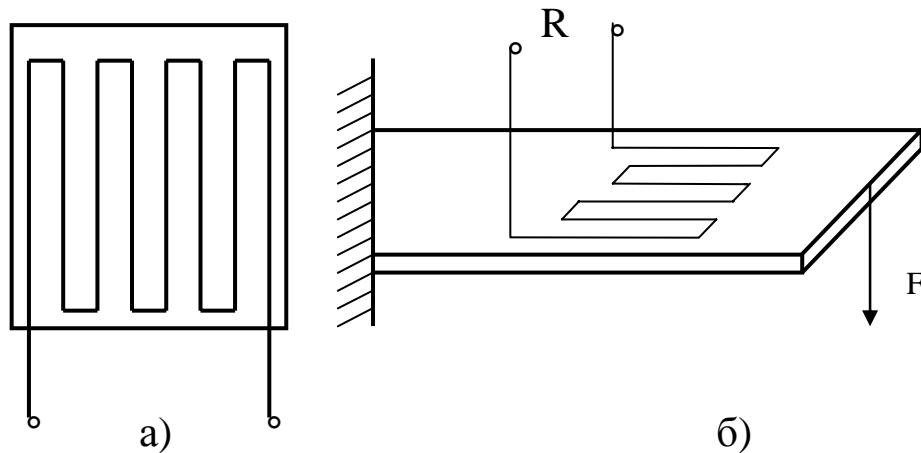


Рис. 2.33. Тензорезистор:  
а – конструкция; б – принцип работы

Сопротивление проводника зависит от удельного сопротивления материала  $\rho$ , длины  $L$  и сечения  $S$ :

$$R = \rho L / S. \quad (2.1)$$

Тензорезистор наклеивают на поверхность так, чтобы длинная сторона витков была направлена вдоль линии деформации при нагрузке (рис. 2.33, б). Приложение нагрузки приводит к деформации поверхности, удлинению витков и уменьшению сечения проводника. Его сопротивление увеличивается на  $\Delta R$  пропорционально величине нагрузки, так как при постоянном объеме проводника:

$$R = \rho L / S = \rho L^2 / V, \quad (2.2)$$

изменение сопротивления:

$$\Delta R = \rho 2\Delta L / V. \quad (2.3)$$

Магнитоупругий датчик использует эффект изменения магнитных свойств ферромагнитных материалов под действием силы. Через противоположные отверстия сердечника намотаны две взаимно перпендикулярные обмотки (рис. 2.34).

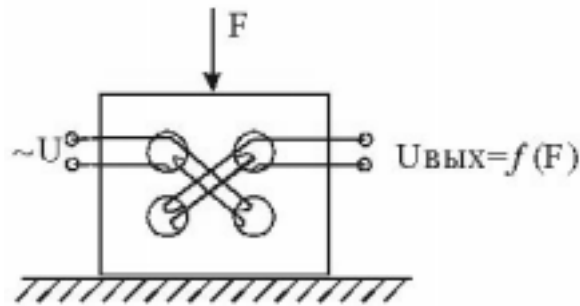


Рис. 2.34. Магнитоупругий датчик усилий

К одной из обмоток прикладывают переменное напряжение  $\sim U$ . Поскольку вторая обмотка перпендикулярна первой, то в ней не наводится напряжение. При приложении нагрузки  $F$  сердечник деформируется, обмотки становятся неперпендикулярными и во второй обмотке возникает напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$ , пропорциональное нагрузке. Магнитоупругие датчики используют при нагрузках более 1 кН в условиях высокого давления, влажности и повышенной радиации.

Вихретоковый датчик усилий использует эффект изменения магнитного сопротивления сердечника электромагнита переменного тока. Измерительная цепь (рис. 2.35) состоит из согласующего трансформатора  $\text{Тр}$ , первичная обмотка которого подключена к рабочему  $\text{Д}_1$  и компенсационному  $\text{Д}_2$  дросселям.

К средней точке трансформатора и точке соединения дросселей подводят переменное напряжение  $\sim U$ . Мост сбалансирован так, что при отсутствии нагрузки напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$  на вторичной обмотке трансформатора равно нулю. Нагрузка  $F$ , приложенная к сердечнику рабочего дросселя  $\text{Д}_1$ , изменяет площадь контактных переходов между пластинами сердечника. При этом изменяется переходное сопротивление магнитопровода, обусловленное потерями на гистерезис и вихревые токи. Из-за разбалансирования моста во вторичной обмотке трансформатора  $\text{Тр}$  появляется напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$ .

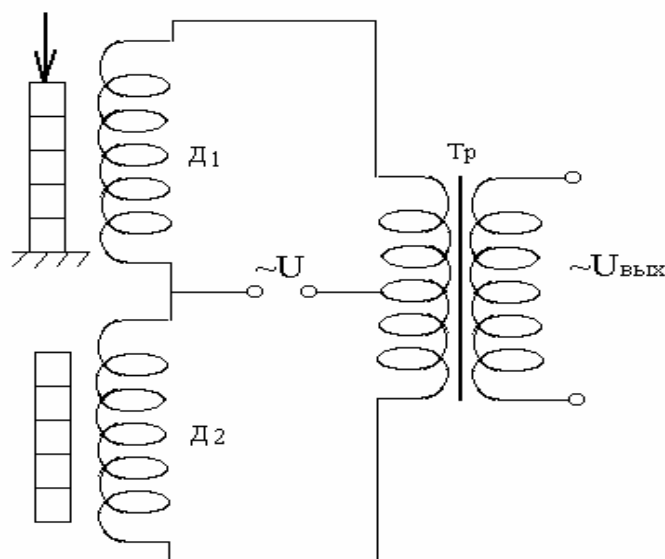


Рис. 2.35. Вихретоковый датчик усилий

Для измерения микроперемещений опоры под действием нагрузки используют волоконно-оптические датчики. На рис. 2.36,а луч от источника 1 проходит через оптическое волокно 2 и призму 3 к фотоприемнику ФП. Основание призмы установлено под пластиной 4 со светопоглощающим слоем. При приложении усилия  $F$  пластина прогибается и поглощает часть света через призму. Изменение светового потока фиксируется фотоприемником ФП. В конструкции на рис.2.36,б луч проходит через одно из двух оптических волокон 1, отражается от отражателя 2 и возвращается по второму волокну к фотоприемнику ФП. Приложение нагрузки  $F$  приводит к деформации пластины 3 и повороту отражателя 2. При этом сигнал на фотоприемнике ФП уменьшается.

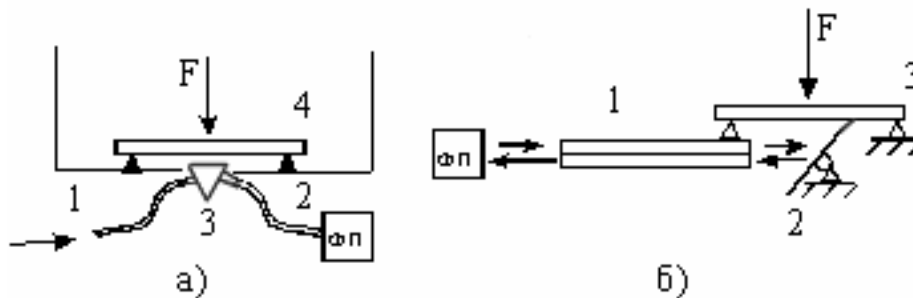


Рис.2.36 . Волоконно-оптические датчики усилий : а- поглощение светового потока; б- изменение отраженного луча

Силовой моментные датчики применяют для операций транспортировки, сборки, резания и зачистки. В сложных задачах выделяют шесть проекций вектора сил и моментов в трехмерном пространстве с помощью специального размещения датчиков или программной обработки их сигналов.

### 2.1.6. Измерение температуры

Температурные преобразователи изменяют свою характеристику в зависимости от окружающей температуры. Для измерения температуры применяют термосопротивление или термопару. Термосопротивление (термистор) нелинейно уменьшает электрическое сопротивление  $R$  при повышении температуры  $T$  (рис. 2.37).

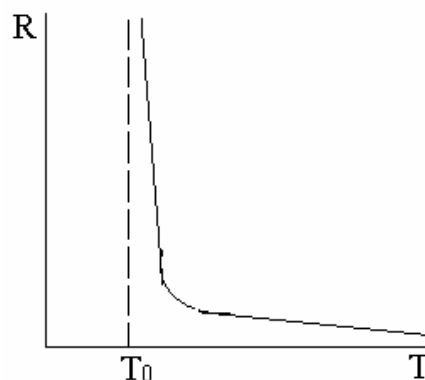


Рис. 2.37 . Зависимость сопротивления термистора от температуры

Связь его сопротивления с температурой описывается уравнением:

$$R = R_0 \exp B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (2.4)$$

где  $T_0$ ,  $T$  – начальная и конечная температуры;  $R_0$ ,  $R$  – начальное и конечное сопротивление;  $B$  – характеристическая постоянная термистора.

Термопара преобразует разность температур между спаями  $T_1$  и  $T_2$  двух разнородных металлов в термоэлектрическую электродвижущую силу (рис. 2.38). Один из спаев помещают в место измерения, а в разрыв провода вводят чувствительный элемент, реагирующий на изменение электродвижущей силы.

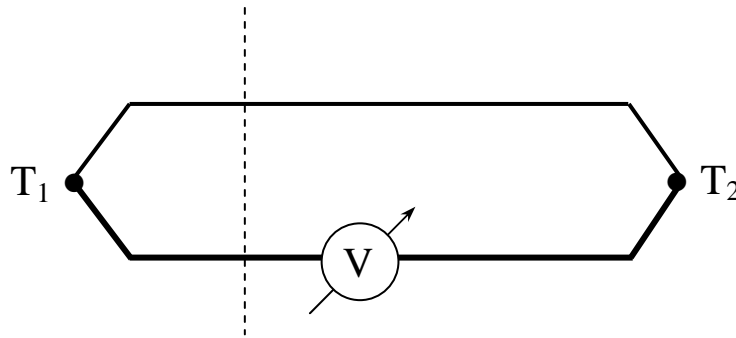


Рис. 2.38. Принцип действия термопары

Для компенсации возмущений от изменений окружающей температуры измеряют температуру спая  $T_2$  отдельным датчиком и вычитают ее из сигнала термопары. Величина термоэлектродвижущей силы составляет милливольты, поэтому приходится защищать выходной сигнал термопары от помех. Для этого применяют усилители или экранированные провода малой длины. Поскольку температура изменяется медленнее помех, то на выходе термопары включают фильтр, не пропускающий высокие частоты.

Пирометр на расстоянии оценивает излучение тепла нагретым телом. Он представляет собой ящик 1 с отверстием, в котором помещен преобразующий элемент 2 (рис. 2.39).

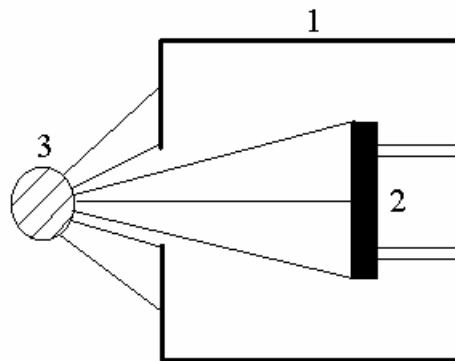


Рис. 2.39. Схема пирометра:

1 – ящик; 2 – преобразующий элемент; 3 – нагретое тело

### 2.1.7. Локационные датчики

С их помощью измеряют расстояния до объектов. Путем обработки сигнала локационного датчика удастся определить скорость движения и размеры объекта. Для измерения расстояний используют акустический, магнитный, оптический, радиационный, радиоволновой, тепловой, электрический, электромагнитный и пневматический методы.

Акустические методы используют способность волн частотой более 20 кГц распространяться в упругих средах и отражаться от неоднородностей сред. Для преобразования электрических сигналов в акустические и обратно используют конденсаторные микрофоны (до 50 кГц) или магнитострикционные преобразователи (более 60-70 кГц).

При пассивной локации датчик принимает собственные сигналы объекта. При активной локации датчик выделяет разность излучаемого и отраженного от объекта сигналов.

Чаще всего применяют ультразвуковой метод локации. Он основан на способности звуковых колебаний частотой более 30 тысяч Герц отражаться от границы между двумя средами, например жидкой и газообразной. Скорость  $C$  распространения ультразвуковых волн через газ зависит от давления  $P$ , плотности газа  $\rho$ , длины волны  $\lambda$  и частоты  $f$  ультразвуковых колебаний, адиабатического коэффициента  $k$  :

$$C = (k \times P / \rho)^{0,5} = \lambda \times f$$

Генератор 2 (рис. 2.40) вырабатывает пакеты импульсов частотой 35 кГц с частотой повторения 14-140 Гц, которые через излучатель-микрофон 1 передаются на объект.

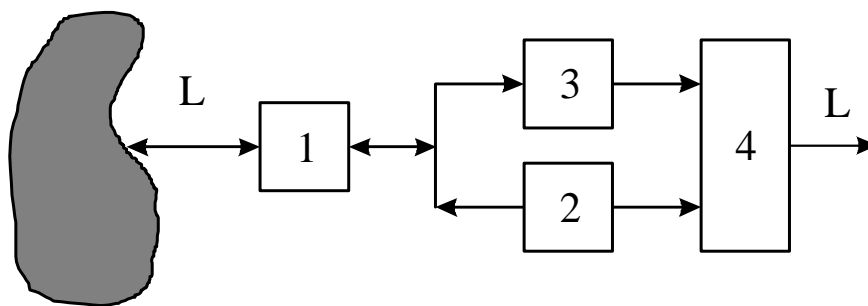


Рис. 2.40. Структура ультразвукового локационного датчика: 1- излучатель-микрофон; 2- передатчик импульсов; 3- приемник эхо-сигналов; 4- блок сравнения

Импульсы распространяются в среде со скоростью звука. Когда пакет импульсов достигает объекта, часть сигнала отражается обратно и принимается приемником 3. Блок сравнения 4 сравнивает прямой и отраженный сигналы, затем вычисляет расстояние  $L$  по скорости звука и времени между прямым и отраженным сигналами.

Зона чувствительности датчика зависит от длины «слепой» зоны  $l_{мин}$  и угла расхождения  $\alpha$  (рис. ).

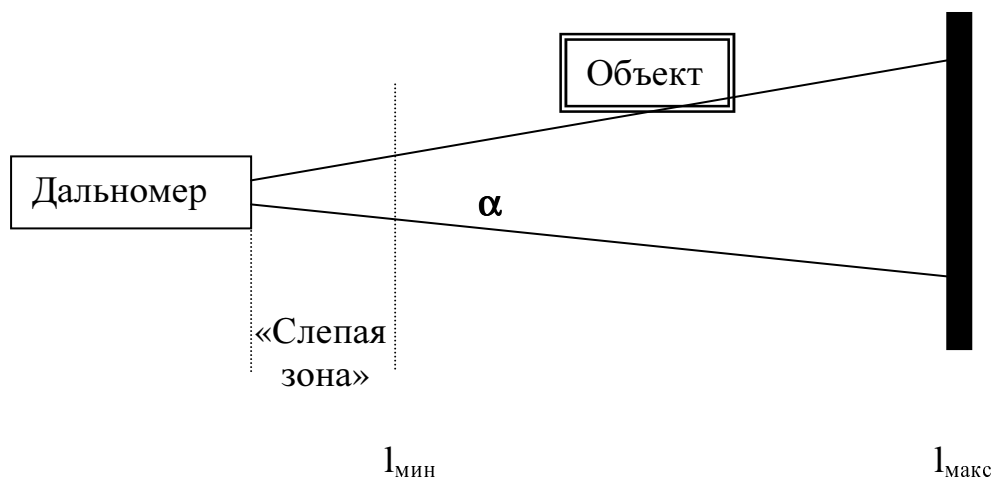


Рис. 2.41. Зона чувствительности ультразвукового локационного датчика

«Слепая зона» появляется из-за того, что отраженные от объекта импульсы поступают в приемник раньше окончания излучения прямых импульсов. Приемопередатчик не успевает перестроиться с передачи на прием импульсов. Если разделить излучатель и микрофон, то «слепая зона» уменьшится с 250 до 50 мм. Для повышения точности в ультразвуковой дальномер 1 вводят отражатель импульсов 2 от объекта 3 (рис. 2.42).

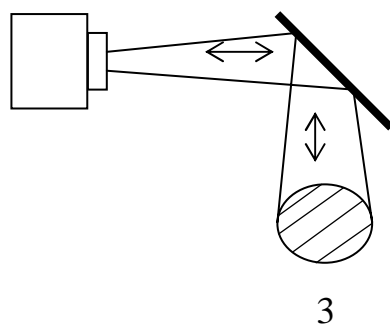


Рис.2.42 . Ультразвуковой дальномер с отражателем:  
1- дальномер; 2- отражатель; 3- объект

С целью сокращения «слепой зоны» передатчик и приемник размещают в разных головках, а коммутатор исключают. За счет этого удастся уменьшить «слепую зону» в 2,0-2,5 раза. После обнаружения объекта блок сравнения запирается, чтобы не реагировать на дополнительно отраженные от объекта сигналы.

Различают методы обнаружения объекта по времени нахождение ультразвуковых колебаний до объекта и обратно (рис. 2.43, а), датчики, контролирующие пересечение отраженного луча (рис. 2.43, б), и датчики, обнаруживающие объект по пересечению луча между передатчиком и приемником (рис. 2.43, в).

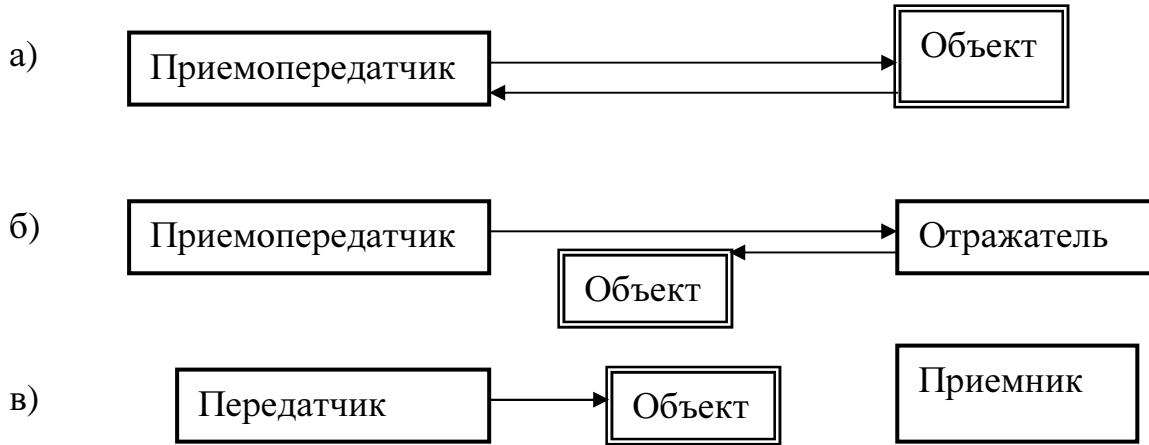


Рис.2.43. Принципы работы ультразвуковых датчиков:  
 а- сравнение прямых и отраженных импульсов;  
 б- пересечение луча между приемопередатчиком и отражателем;  
 в- пересечение луча между передатчиком и приемником

В первом методе пределы зоны чувствительности зависят от отражающих свойств объекта, а также угла между объектом и прямым лучом. Второй метод наиболее устойчив к помехам и работоспособен даже для звукопоглощающих объектов. Третий метод характеризуется большой дальностью обнаружения и устойчивостью к помехам.

В качестве излучателя ультразвуковых колебаний чаще всего используют пьезоэлектрический преобразователь из титаната свинца или цирконата свинца (рис.2.44 ,а). При воздействии на пьезоэлектрический преобразователь переменного электрического напряжения он начинает изменять свои размеры с частотой электрического напряжения. И наоборот, при механическом давлении на пьезоэлектрический преобразователь на его обкладках образуется электрический заряд. Электростатический преобразователь представляет собой бороздчатую металлическую пластину и металлическую пленку, образующие конденсатор (рис.2.44, б). Приложение к пластине переменного напряжения приводит к вибрированию пленки относительно пластины и изменению емкости конденсатора. В мембранном преобразователе (рис.2.44, в) колеблющаяся мембрана заставляет колебаться керамический диск.

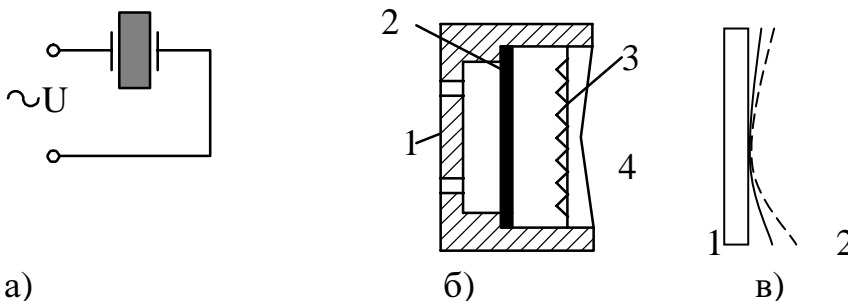


Рис. 2.44 . Виды ультразвуковых преобразователей: а- пьезоэлектрический преобразователь ; б- электростатический преобразователь (1-перфорированная пластина; 2- металлопластиковая пленка; 3- пластина с бороздками; 4- плоская пружина); в- мембранный преобразователь (1- керамический диск; 2- металлическая мембрана)

На скорость распространения звука в среде влияют температура, давление, влажность, состав среды. Для повышения точности измерения вводят эталонный датчик или корректируют показания одного датчика в зависимости от температуры среды. Интеллектуальные ультразвуковые измерители запоминают отраженный сигнал при пустом резервуаре со всеми отражениями от технологической оснастки, а затем корректируют результат измерения степени заполнения резервуара. Современные ультразвуковые датчики размещены в корпусе диаметром 12-18 мм и длиной 70-75 мм. Они реализуют функции предварительного обучения, синхронизации с другими датчиками, температурную компенсацию, связь с промышленной шиной.

В практике автоматизации ультразвуковые датчики хорошо обнаруживают гладкие и твердые объекты, расположенные перпендикулярно к продольной оси датчика, твердые шероховатые объекты и поверхности жидкостей, параллельные торцу датчика. На результаты не влияют прозрачность, цвет или гляцевитость поверхности. В зависимости от степени неоднородности объекта отражение может быть направленным или диффузным. При направленном отражении отраженный луч возвращается точно в датчик. При диффузном отражении отраженный луч рассеивается в пространстве и лишь часть его возвращается в датчик. Считается, что при высоте неоднородностей больше длины волны ультразвуковых колебаний (более 5 мм) отражение становится диффузным.

Ультразвуковая локация не позволяет точно измерять расстояния до звукопоглощающих материалов (войлока, ваты, шерсти, пенопласта), а также материалов, нагретых до температуры более 100°. При заполнении емкости крупнокусковыми материалами результаты измерения искажаются из-за диффузного отражения, если поверхность кусков отклоняется более чем на 45° от положения, перпендикулярного к оси датчика.

Ультразвуковые датчики измеряют расстояния до 6 000 мм с точностью 2% и разрешающей способностью 0,35 мм. С их помощью измеряют не только расстояние до объекта, но и скорость его перемещения. Если разность последовательных измерений равна нулю, то объект неподвижен. Если эта разность постоянна, то объект движется с постоянной скоростью. Если разность меняется, то скорость объекта непостоянна.

Оптический способ локации часто применяют для обнаружения движущихся объектов. Излучатель 1 и приемник 2 света, расположенные под углом друг к другу, могут обнаруживать объекты 3 на расстоянии  $L$  по отраженному свету (рис. 2.45, а). На качество обнаружения влияют свойства отражающей поверхности. При ближней локации (рис. 2.45, б) измеряется расстояние  $\Delta x$  между торцами световодов 4 и объектом 3.

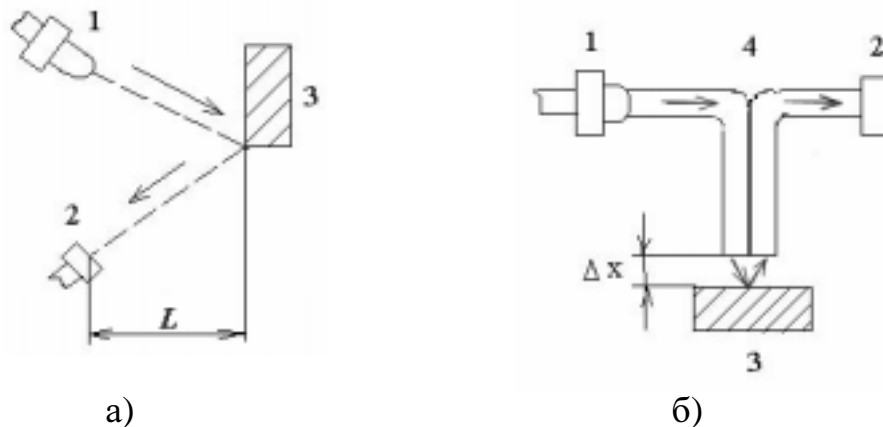


Рис. 2.45. Оптические датчики:  
 а – дальней локации; б – ближней локации;  
 1 – излучатель, 2 – приемник, 3 – объект, 4 – световод

При измерении расстояний трехлучевым методом излучатель передает узконаправленный луч света на объект (рис. 2. 4б). Отраженные лучи попадают на два линейных фотоприемника. Расстояние между крайними точками попадания лучей зависит от расстояния до объекта.

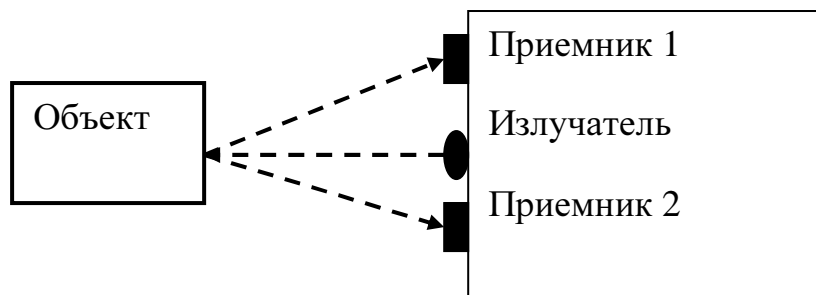


Рис.2.46 . Схема измерения расстояний трехлучевым методом

Лазерные дальномеры определяют время прохождения или сдвиг по фазе прямого и отраженного импульсов. Короткие импульсы излучения лазера 1 передают на объект (рис. 2.47, а). Отраженные импульсы через фотоумножитель 2 поступают в видеоусилитель 3. Расстояние до объекта определяют по числу импульсов, поступивших в счетчик 4 за время между прямым и отраженным импульсами. Результат измерения не зависит от цвета и формы поверхности объекта. Дистанция измерения составляет: без отражателя- 300-3700 мм, с отражателем- 300-40 000 мм.

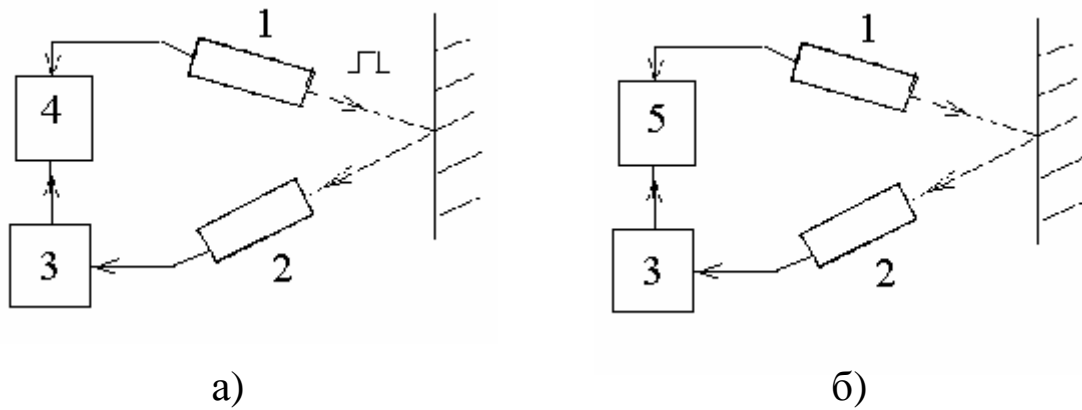


Рис. 2.47. Схема лазерных дальномеров в режимах:  
 а – импульсного излучения; б – непрерывного излучения;  
 1 – лазер, 2 – фотоприемник, 3 – видеоусилитель,  
 4 – счетчик импульсов, 5 – фазометр

Для расстояний менее 3 м время между прямым и отраженным импульсами соизмеримо с длительностью импульса, поэтому применяют фазовый метод (рис. 2.47, б). Непрерывное излучение лазера 1 подают на объект. Отраженный от объекта луч поступает в фотоприемник 2. После его обработки видеоусилителем 3 фазометр 5 сравнивает фазы излучаемого и отраженного лучей. Расстояние до объекта оценивается по разности фаз.

Лазерный измеритель расстояний от 20 до 400 мм работает по принципу триангуляции (рис. 2.48). Прямой луч лазерного диода 1 отражается от поверхности объекта 2 и поступает в фотоприемную матрицу 3. Сигнал соответствующего элемента матрицы показывает расстояние до объекта.

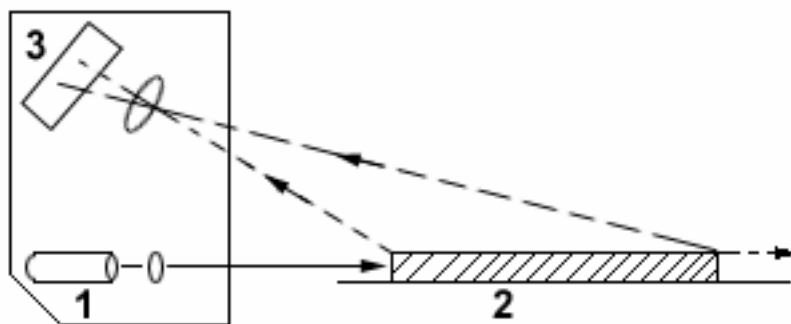


Рис. 2.48. Работа лазерного дальномера в режиме триангуляции: 1- источник света; 2- объект; 3- приемник света

Лазерный локационный датчик может применяться для измерения времени движения объекта в зоне чувствительности датчика (рис. 2.49). Короткие световые импульсы передаются лазерным диодом ЛД на объект. Отраженные импульсы поступают в фотоприемник ФП. Время  $\Delta t$  между прямым и отраженным импульсами преобразуется в напряжение  $U$ , которое подается на выход датчика и вход компаратора К, где сравнивается с напряжением, заданным резистором R.

Результат сравнения показывает, находится ли объект на расстоянии  $L$ , заданном резистором  $R$ . Сигнал датчика может использоваться для контроля скорости движения объекта.

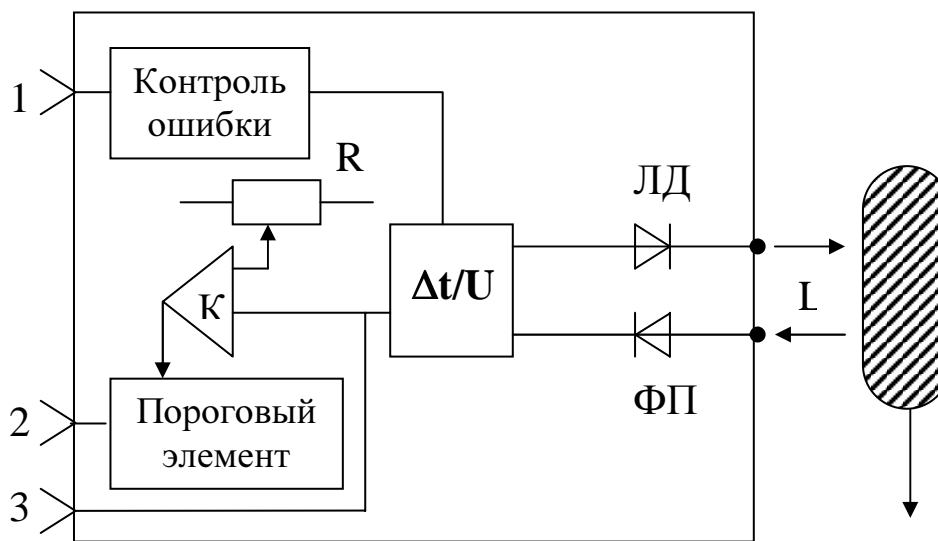


Рис. 2. 49. Применение лазерного локационного датчика для контроля движения объекта

Сверхвысокочастотные (около 4 ГГц) дальномеры нечувствительны к шуму, вибрации, запыленности и влажности. С их помощью измеряют расстояния до 1500 м с относительной погрешностью до 10 %. Расстояние оценивают по времени задержки отраженного сигнала относительно прямого. В отличие от других дальномеров они могут работать через непрозрачное неметаллическое окно.

Для ближней локации, когда требуется измерять расстояния в несколько сантиметров, используют емкостные, вихретоковые, электромагнитные, струйные датчики. Емкостные датчики основаны на возбуждении генератором с емкостной цепочкой колебаний с частотой, зависящей от диэлектрической проницаемости и расстояния до объекта в чувствительной зоне. При вихретоковом методе используют расположенные вблизи объекта или охватывающие весь объект катушки, питаемые переменным током частотой  $2 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^7$  Гц. Вихретоковые датчики работают в агрессивных средах, например при измерении отклонения сварочной головки от шва. Они позволяют обнаружить металлические предметы с размерами не менее 0,01 размера преобразователя на расстоянии, не превышающем половину линейного размера преобразователя. Метод позволяет измерять расстояние до объекта, в диапазоне от единиц до десятков сантиметров с погрешностью 3-10 %; толщину электропроводящих покрытий от  $10^{-3}$  до 1 м с погрешностью 10-20 %.

В электромагнитных методах измеряют напряженность постоянного или низкочастотного магнитного поля с помощью индукционных катушек, магнитомодуляционных преобразователей (феррозондов), датчиков Холла, магнитодиодов и магнитотриодов, а также изменение интенсивности, амплитуды, фазы, частоты и других параметров излучения волн длиной 1-100 мм при взаимодействии с объектом.

Струйные датчики используют прерывание струи, турбулизацию ламинарной струи, изменение давления в камере, обработку импульсов прерывания струи. С их помощью можно определить линейное перемещение на расстоянии от 0 до 4 мм с погрешностью 0,5-3 % и чувствительностью 200 Па/мкм; наличие объекта на расстоянии до 20 мм с погрешностью 2-8 %; усилие в диапазонах 0,1-10 Н и 1-100 Н с погрешностью 5 % и быстродействием 0,2 с.

### 2.1.7. Системы технического зрения

Системы технического зрения (СТЗ) предоставляют 80 – 90 % информации о внешней среде. Их используют для распознавания и сортировки деталей, разбора деталей из навала и укладки в кассеты, измерения координат движущихся объектов, определения характерных точек и ориентации деталей при сборке, контроле качества обработки и покрытия деталей, контроле изделий. Выделяют распознающие, измерительные и обзорно-информационные СТЗ. Распознающие СТЗ применяют для контроля качества, классификации и сортировки объектов по геометрическим параметрам. Измерительные СТЗ по геометрическим параметрам объектов вычисляют расстояния, преобразуют координаты, определяют ориентацию объектов. Обзорно-информационные СТЗ служат для организации технологического процесса путем анализа сцен в рабочей зоне.

СТЗ содержит видеодатчик 1, информация с которого проходит предварительную обработку в блоке 2 и фиксируется в буферном запоминающем устройстве 3 на время обработки изображения в ЭВМ 4 (рис. 2.50).

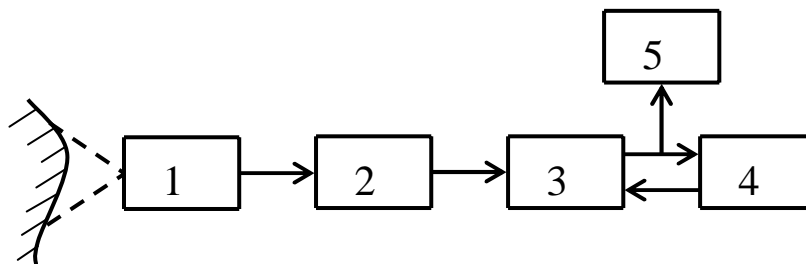


Рис. 2.50 Система технического зрения:  
 1 – видеодатчик, 2 – блок предварительной обработки информации, 3 – буферный регистр, 4 – ЭВМ,  
 5 – видеоконтрольное устройство

В режиме настройки видеодатчик наводят на рабочую сцену, фокусируют изображение, задают пороги градации распознаваемых признаков (например, черный и белый). В режиме обучения перед видеодатчиком помещают эталонные объекты и задают в ЭВМ функцию принадлежности эталона к определенному классу. В режиме распознавания ЭВМ обрабатывает видеoinформацию об объекте по сложным алгоритмам распознавания образов и определяет его принадлежность к тому или иному классу. В качестве видеодатчиков для оптических СТЗ применяют диссекторы, видиконы, приборы с зарядовой связью (ПЗС), полупро-

водниковые матричные фотоприемники. В последние годы системы технического зрения вышли на уровень широкого внедрения в промышленности [10]. Появились СТЗ, способные обрабатывать до 300 изображений в секунду. Измерительные СТЗ постепенно вытесняют традиционные средства контроля геометрических параметров деталей с помощью координатно-измерительных машин.

Обзорно-информационные СТЗ определяют взаимное расположение объектов на рабочей сцене. Такие задачи часто решают при сборке изделий с помощью роботов, когда сначала требуется определить расположение объектов, распознать каждый объект, а затем собрать объекты в изделие.

Система технического восприятия должна обладать константностью – способностью выделять целостный образ объекта при изменении расстояния, ракурса или условий освещения, а также избирательностью – способностью выделять только те свойства объекта, которые необходимы для решения поставленной задачи.

Зрительное восприятие объектов реализуется по одной из следующих схем:

- обработка полного изображения объекта на некотором фоне;
- выделение структурных элементов изображения объекта и их преобразование в сеть с вершинами (элементами изображения) и дугами (отношениями между элементами);
- выделение элементов изображения по их яркости и отдельная обработка элементов.

Для работы в оптически непрозрачных средах разрабатывают радиационные, тепловые, радиоволновые и акустические СТЗ.

Радиационные СТЗ просвечивают объект рентгеновскими лучами и преобразуют рентгеновское излучение в светотеневое или электронное. В томографии получают объемное изображение внутренности объекта путем обработки плотности слоев на ЭВМ. Тепловые СТЗ воспринимают электромагнитное излучение поверхности нагретого тела. Тепловое поле преобразуют в электрические сигналы с помощью тепловизора. Радиоволновые СТЗ используют матрицы излучателей и приемников радиоволн длиной 1-100 мкм, что позволяет определить геометрические размеры объектов, расстояние, скорость движения, механические напряжения. Акустические СТЗ отличаются построчным сканированием объекта и обработкой отраженных сигналов на ЭВМ. В устройстве сопряжения видеодатчика с ЭВМ поле зрения разбивается на отдельные элементы, для каждого из которых оценивается уровень яркости (обычно черный или белый). В ЭВМ передается матрица изображения из нулей и единиц. Алгоритмические методы обработки изображений сводятся к одному из трех подходов: к сопоставлению с эталоном, классификации (принятию решения) и синтаксическому анализу структуры.

В **эталонных** методах изображение по точкам сравнивают с эталонами и отыскивают ближайший эталон. Методы **классификации** описывают изображение некоторыми количественными характеристиками, например геометрическими. После статистической обработки характеристик оценивается условная вероятность принадлежности изображения к одному из классов объектов. **Синтакси-**

**ческие** методы описывают объекты на языке формальной грамматики и классифицируют объект путем синтаксического анализа предложений.

Программное обеспечение СТЗ довольно сложно и включает модули:

- связи с технологическим оборудованием и отладочным комплексом;
- управления работой видеодатчика (преобразование изображения);
- вычисления признаков (описание детали стандартным набором параметров);
- распознавания (построение решающего правила, позволяющего путем сопоставления полученных параметров с имеющимися отнести деталь к известному классу);
- обучения (подготовка СТЗ к работе с новыми деталями).

Для распознавания объекта используют интегральный или структурный методы. В интегральном методе изображение сканируют по строкам. Форму объекта определяют по значениям элементов в строках матрицы (рис. 2.51,а). В структурном методе используют топологические признаки: число отверстий, площадь или периметр объекта (рис. 2.51,б). В обоих методах изображение объекта сопоставляют с эталоном, введенным при обучении.

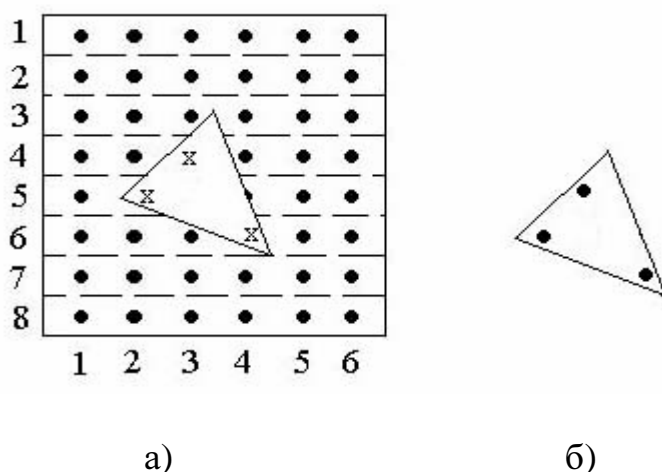


Рис. 2. 51 . Обработка изображения в СТЗ:  
а – интегральная; б – структурная

В отличие от человека, системе технического зрения трудно распознавать известные объекты, касающиеся друг друга. Такое изображение воспринимается как неизвестный объект.

Сложность распознавания увеличивается в следующем порядке:

- определение плоских координат известных объектов;
- распознавание отдельных двухмерных объектов;
- распознавание касающихся двухмерных объектов;
- распознавание отдельных трехмерных объектов;
- распознавание и анализ взаимного расположения групп трехмерных объектов (анализ сцен);
- распознавание трехмерных объектов, лежащих в беспорядке.

Применение разных датчиков покажем на примере измерения уровня жидкости (рис. 2.52). Для емкостного датчика два плоских электрода, образующих обкладки конденсатора, опускают в жидкость (рис. 2.52, а). Изменение уровня жидкости  $h$  изменяет диэлектрическую постоянную между обкладками конденсатора  $C$ . Для резисторного датчика в емкость опускают два линейных сопротивления (рис. 2.52, б). В зависимости от уровня жидкости замыкаются участки сопротивления  $R$ . Если жидкость не проводит электрический ток, применяют поплавков, соединенный с измерителем перемещений. При фотоэлектрическом преобразовании на противоположных стенках резервуара устанавливают источники света и фотоприемники (рис. 2.52, в). Световой поток от источника к приемнику перекрывается в зависимости от уровня жидкости. Ультразвуковой датчик не имеет прямого контакта с жидкостью и измеряет разность фаз прямого и отраженного от границы газовой и жидкой сред импульсов (рис. 2.52, г).

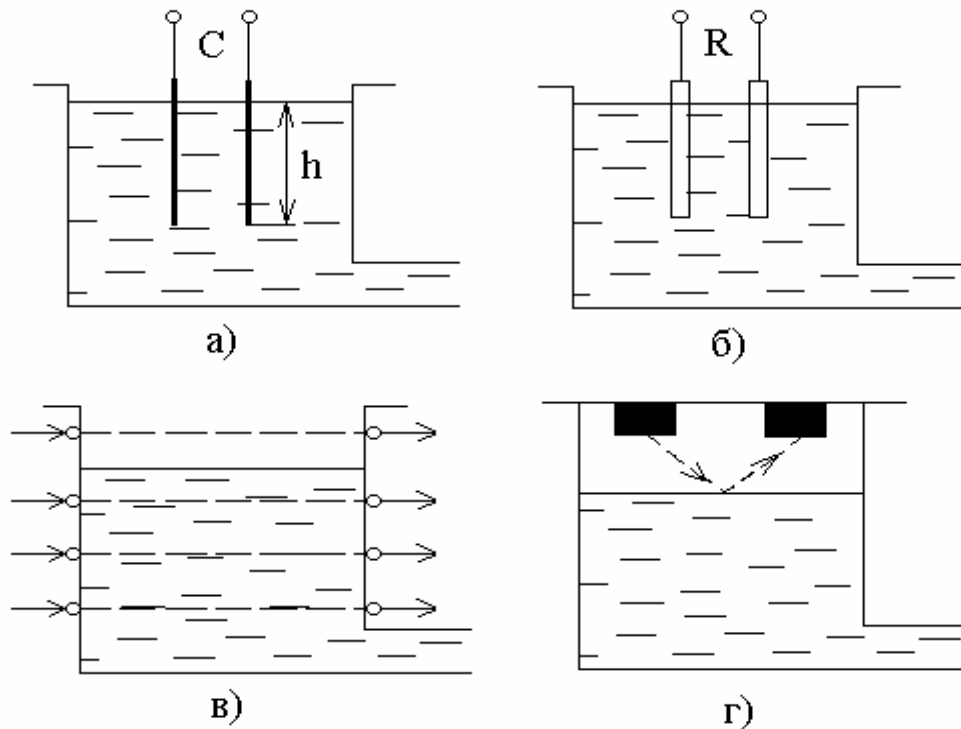


Рис. 2.52. Определение уровня жидкости:  
 а – емкостным датчиком; б – резистивным датчиком;  
 в – фотоэлектрическим датчиком; г – ультразвуковым датчиком

В современные датчики встраивают микропроцессор, выполняющий интеллектуальные функции, такие как переключение датчиков при работе на общий канал, внутреннее масштабирование, фильтрация и линеаризация сигнала, совмещение с протоколом промышленной шины, определение максимума и минимума сигналов, преобразование выходного сигнала в стандартную цифровую форму, срабатывание при заданном расстоянии до объекта, распознавание заданных материала, цвета и формы объекта, гальваническая развязка и нормализация сигнала.

## 2.2. Исполнительные устройства

Предназначены для управления приводами перемещения механических устройств объекта управления в зависимости от электрических команд управляющего устройства (рис. 2.53).

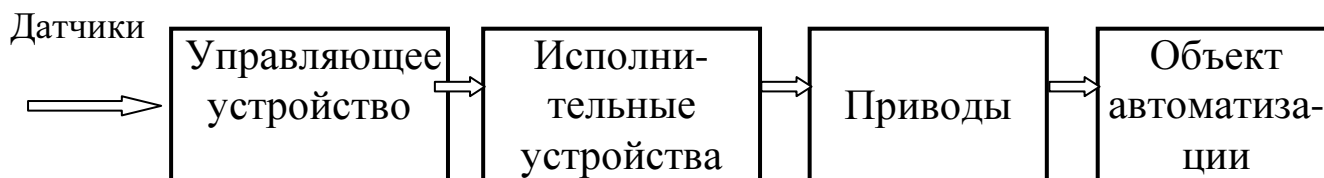


Рис. 2.53. Передача команд управления на объект автоматизации

Дискретные исполнительные устройства имеют два состояния: открыто или закрыто; включено или отключено. В технике автоматизации чаще всего применяют электрические, пневматические или гидравлические исполнительные устройства (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Сопоставление дискретных исполнительных устройств

Характеристики	Электротехника	Пневматика	Гидравлика
Обозначение			
Тип	Реле	Электропневмоклапан	Электрогидро-распределитель
Действие	Замыкание контактов	Подача воздуха	Подача жидкости
Привод	Электродвигатель	Пневмоцилиндр	Гидроцилиндр
Достоинства	Простота работы и обслуживания, дешевизна, высокий коэффициент усиления, нечувствительность к температуре	Доступность воздуха, нечувствительность к перегрузкам и температуре, безопасность, экологичность	Высокий коэффициент усиления, точное позиционирование, хорошая управляемость, унификация
Недостатки	Необходимость регулировки, обгорание и залипание контактов, чувствительность к пыли и влажности	Чувствительность к пыли, нестабильность скорости, малые нагрузки, шум, потери в воздухопроводе	Зависимость от температуры, утечек и загрязнений, особые требования к изготовлению, колебания при остановке
Применение	Локомотивы, текстильная индустрия, электростанции, насосы, прокатные станы, станки	Монтаж, металлообработка, деревообработка, переработка пластмасс, строительство, транспорт	Станки, строительство и транспорт, гидроподъемники, корабельная техника

Самым распространенным дискретным исполнительным устройством является реле, содержащее катушку 1 на металлическом сердечнике 2, якорь 3 и контактную группу 4 с нормально открытыми и нормально закрытыми контактами (рис. 2. 54).

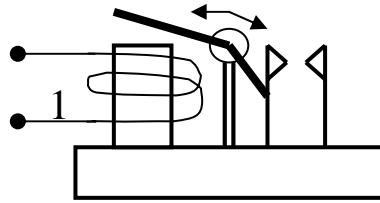


Рис. 2.54 .Устройство реле: 1-обмотка, 2-сердечник, 3-якорь, 4- контактная группа

При подаче напряжения на обмотку реле якорь притягивается к сердечнику одним концом, а другим механически воздействует на контактную группу, включающую или отключающую приводы или другие реле. По такому же принципу работает контактор, отличаясь от реле повышенным током обмотки и наличием дугогасительной камеры на контактной группе.

Электропневматический клапан прямого или обратного типов применяют для подачи воздуха в полость пневмоцилиндра или мембранной камеры (рис. 2.55).

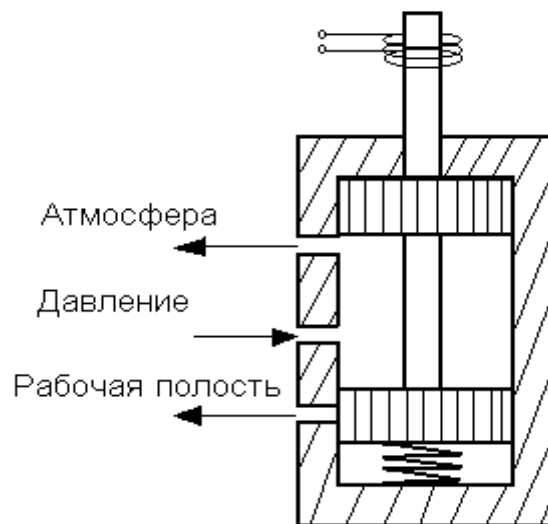


Рис. 2.55. Электропневматический клапан

Электропневмоклапан прямого типа выполнен в виде подпружиненного вала с двумя цилиндрическими насадками (золотника), который перемещается в цилиндрическом корпусе с тремя отверстиями. Нижнее отверстие соединено с одной из полостей пневмопривода. Верхнее отверстие соединено с атмосферой. К

среднему отверстию подводят сжатый воздух. При подаче напряжения в обмотку золотник перемещается вниз, и воздух через нижнее отверстие поступает в рабочую полость пневмопривода.

Электрогидрораспределитель представляет собой цилиндрический корпус 1 с 5 отверстиями, внутри которого под действием электромагнитов 2 перемещается золотник 3, представляющий собой вал с двумя цилиндрическими насадками (рис. 2.56).

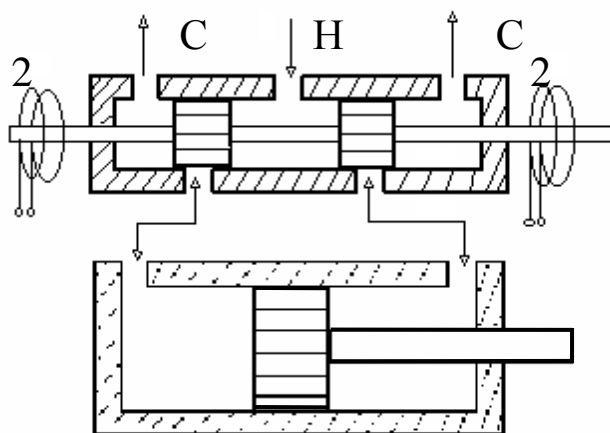


Рис. 2.56. Устройство электрогидрораспределителя:  
1-корпус, 2- обмотки электромагнитов, 3- золотник

Напорная магистраль Н присоединена к среднему верхнему отверстию, а сливная С – к двум крайним. Если ни в одну из обмоток не подаётся напряжения, золотник находится в нейтральном положении и рабочая жидкость не поступает ни в одну из полостей гидроцилиндра. При подаче напряжения в левую обмотку золотник перемещается влево и жидкость из напорной магистрали подаётся в поршневую полость. Штоковая полость при этом соединяется со сливной магистралью. При подаче напряжения в правую обмотку золотник перемещается вправо, и жидкость под давлением подаётся в штоковую полость, а из поршневой через гидрораспределитель поступает в сливную магистраль.

Аналоговые исполнительные устройства имеют бесконечное множество промежуточных состояний, зависящих от величины приложенного напряжения. Для управления непрерывными перемещениями элементов применяют следящий пневмопривод, электрический сервопривод или электрогидравлический усилитель. В следящем пневмоприводе фактическое положение штока пневмоцилиндра измеряют потенциометрическим измерителем перемещений. Его выходное напряжение подают в одну обмотку сопла струйного электропневмопреобразователя, а заданное напряжение – в другую. В зависимости от рассогласования заданного и фактического положений штока сопло поворачивается и направляет струю воздуха в соответствующую полость пневмоцилиндра до тех пор, пока рассогласование напряжений не снизится до нуля.

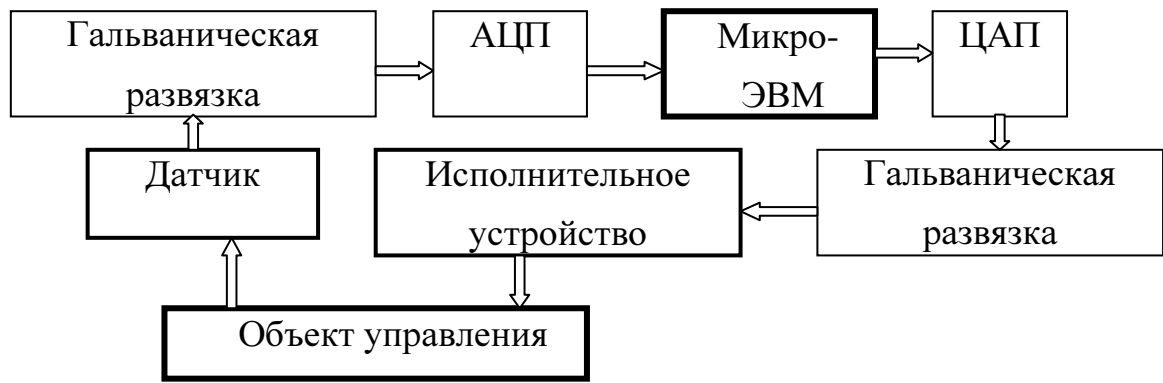


Рис. 2.58. Сопряжение аналоговых датчиков и исполнительных устройств с микроЭВМ

В отличие от электродвигателей вращения вал серводвигателя поворачивается на определенный угол, например при перекрытии трубопровода заслонкой. Электрогидравлический усилитель преобразует управляющее напряжение в изменение потока рабочей жидкости.

### 2.3. Преобразование сигналов

Систему управления можно представить в виде устройства, на входы I (Input) которого подаются аналоговые AI и дискретные DI сигналы от датчиков, а с выхода O (Output) снимаются аналоговые AO и дискретные DO команды (рис.2.57).

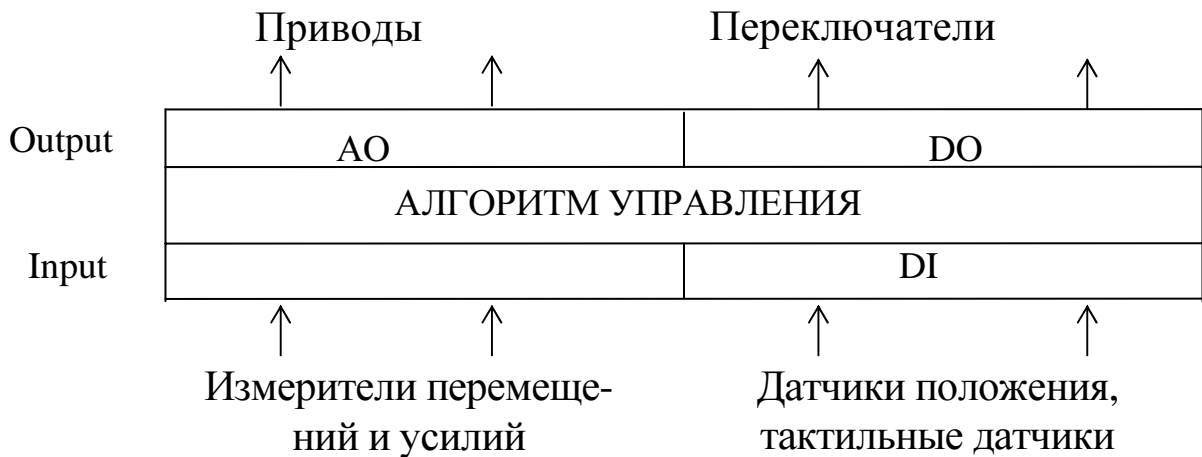


Рис. 2.57. Схема управления объектом

Для подключения датчиков и исполнительных устройств к быстродействующему микропроцессорному устройству управления необходимы: защита от дребезга контактов на входе устройства, гальваническая развязка входных и выходных сигналов, преобразование импульсов напряжения входных устройств в форму внутренних сигналов микропроцессора, преобразование выходных сигнала-

лов в напряжения управления исполнительными устройствами, аналого-цифровое (АЦП) и цифро-аналоговое (ЦАП) преобразования (рис. 2.58).

Дребезг контактов – это кратковременное отскакивание контактов датчика друг от друга после их первого замыкания. Продолжительность отскакивания достаточна для перехода быстродействующего устройства управления, к которому подключен датчик, в непредусмотренное алгоритмом состояние. Для защиты

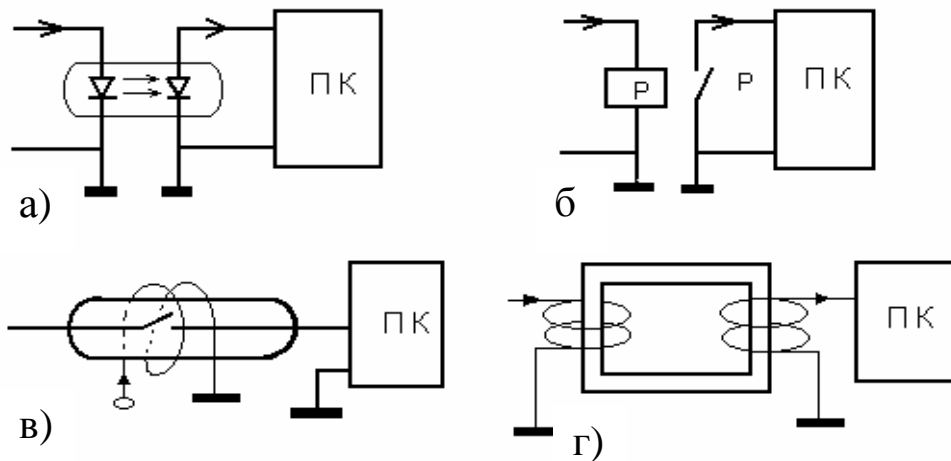


Рис. 2.60 . Способы гальванической развязки на входе программируемого контроллера ПК:

а – оптическая пара; б – реле;

в – магнитоуправляемый контакт; г – трансформатор

от дребезга контактов вводят инерционные элементы на входе (а) или специальные подпрограммы (б) в программе работы порта ввода (рис. 2.59).

Гальваническая развязка между датчиками и устройством управления необходима для защиты микроЭВМ бросков напряжения на входе, например при попадании высокого напряжения в линию связи, а также для исключения связи датчиков через устройство управления. В качестве устройств гальванической развязки применяют оптическую пару, реле, трансформатор или геркон, не имеющие электрического контакта между входом и выходом (рис.2.60). Эти устройства часто дополняют индикаторами сигнала. Гальваническая развязка требуется также для выходов микроЭВМ .

Формирование искаженных линий связи сигналов от разнообразных датчиков в уровень внутреннего напряжения устройства управления осуществляют с помощью триггера (рис. 2.61). При повышении напряжения на входе выше заданного уровня триггер переходит в состояние “1”, при снижении – в состояние “0”.

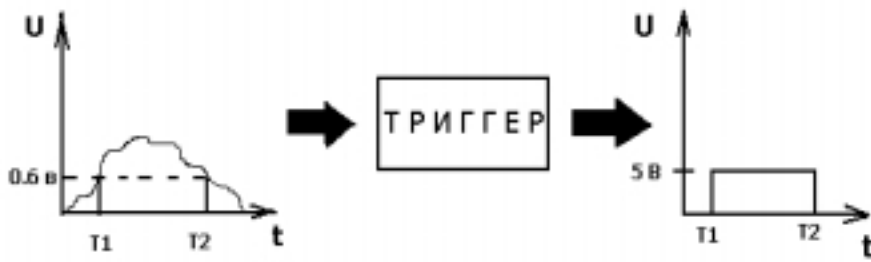


Рис. 2.61. Преобразование произвольного сигнала датчика на входе устройства управления в стандартный вид

Для защиты от импульсных помех в линии связи применяют интегратор (рис. 2.62). При появлении импульсной помехи в интеграторе происходит заряд и разряд конденсатора.

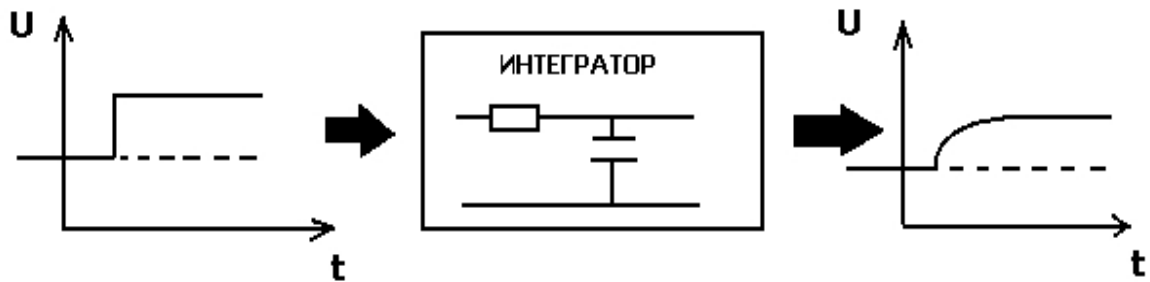


Рис. 2.62 .Фильтрация импульсных помех в линии связи микроЭВМ с датчиком

Особенно трудно ввести в цифровое устройство управления аналоговые сиг-

### Преобразование быстрых аналоговых символов

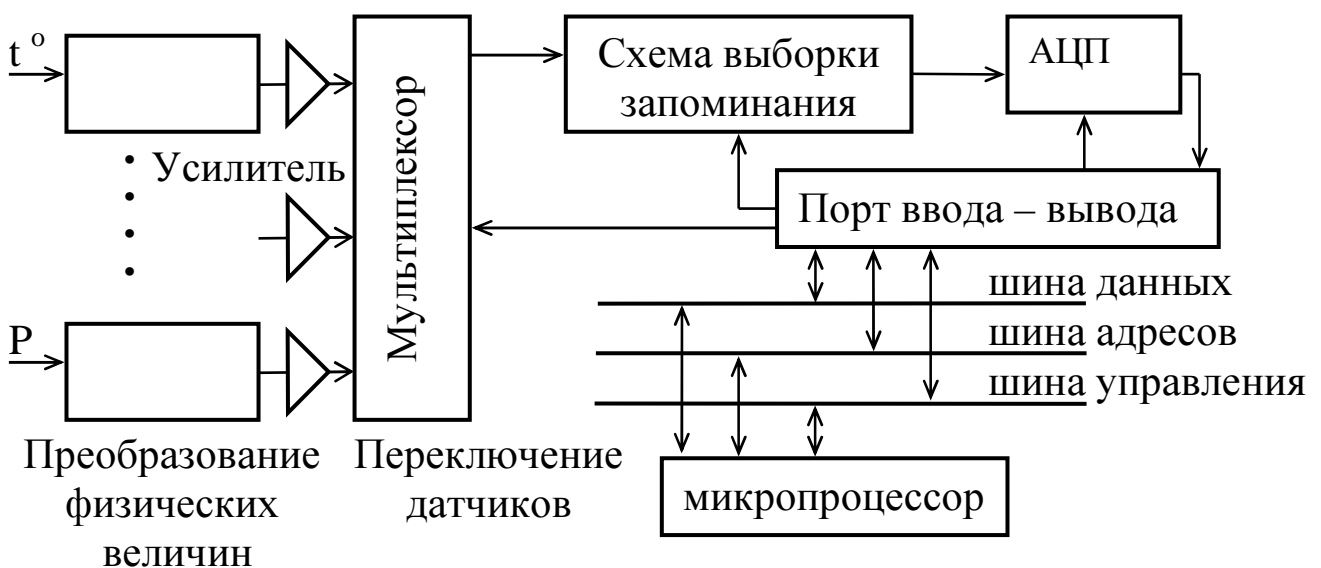


Рис.2.63. Ввод аналоговых сигналов в микропроцессорное устройство управления

налы датчиков. Чтобы уменьшить стоимость входных устройств, применяют поочередную обработку сигналов нескольких датчиков на одном входе устройства управления с помощью мультиплексора, схемы выборки-запоминания, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и порта ввода-вывода (рис.2.63).

Порт ввода-вывода управляет мультиплексором, поочередно подключающим датчики к входу управляющего устройства, и схемой выборки-запоминания, сохраняющей сигнал на время его преобразования в цифровую форму с помощью АЦП. Для исключения потерь информации при преобразовании аналогового сигнала датчика в цифровую форму преобразование сигнала надо проводить как можно чаще, но это потребует увеличения быстродействия АЦП. Поэтому частоту выборки сигнала задают по правилу Котельникова: аналоговый сигнал восстанавливается полностью, если частота выборки его значений вдвое больше максимальной частоты в спектре сигнала. Цифровой сигнал поступает в порт ввода – вывода, который выводит его на шины микропроцессора, а затем включает мультиплексор, схему выборки – запоминания и АЦП для приема сигнала следующего датчика.

Простой аналого – цифровой преобразователь параллельного типа состоит из нескольких параллельно включенных компараторов (сравнивающих устройств)  $K_1, \dots, K_n$ , каждый из которых с помощью резисторов  $R_1, \dots, R_n$  настроен на определенный уровень входного напряжения  $U_{вх}$  (рис. 2.64). Выходы компараторов соединены с входом шифратора Ш, преобразующего набор двухпозиционных состояний компараторов в цифровой код выходного напряжения. Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) формирует аналоговое напряжение в зависимости от цифрового кода на входе. Он может быть в виде усилителя  $У$ , вход которого соединен с делителями напряжения, число которых равно числу разрядов входного кода (рис.2. 65).

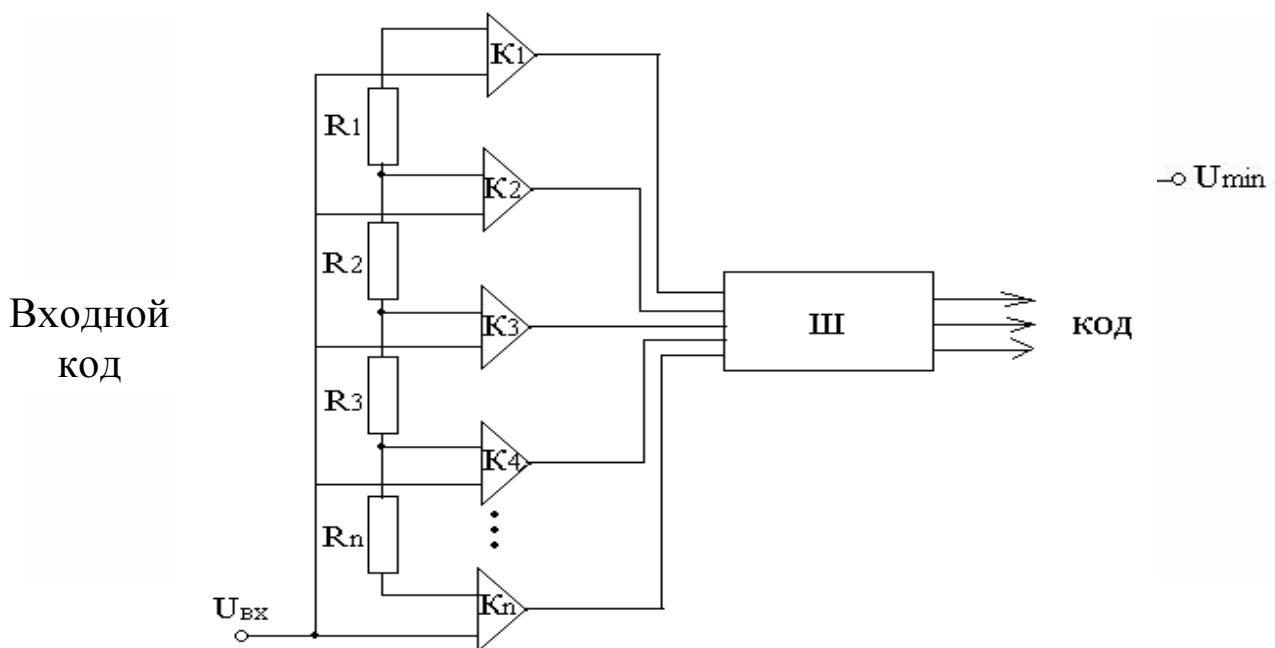


Рис. 2.64 Параллельный аналого-цифровой преобразователь АЦП:  
 $K$  – компаратор; Ш – шифратор;  $R$  – резистор

### 2.4. Линии и каналы связи

Линия связи устройства управления с объектом управления представляет собой физическую среду, через которую передается информация. Она должна обеспечивать: высокую пропускную способность, так как информацией обмениваются десятки и сотни устройств автоматизации одновременно; высокую скорость передачи информации, поскольку управление идет в режиме реального времени; устойчивость к внешней среде; помехозащищенность; возможность подключения устройств в любом месте линии связи. К линиям связи относят витую пару проводов с пропускной способностью до 1 Мбит в секунду, коаксиальный кабель (до 10 Мбит в секунду), оптические волокна (более 150 Мбит в секунду) или атмосферу, через которую передают радио- или инфракрасные сигналы. Самой дешевой линией связи является витая пара проводов.

Каналом связи называют линию связи, к началу которой подключен передатчик, а к концу – приемник сигналов. Протокол обмена информацией – это стандартный порядок обмена и вид информационных сообщений между абонентами, подключенными к каналу связи. Передача информации от одного абонента к другому осуществляется параллельным или последовательным способами (рис. 2.66).

При параллельной передаче (параллельном интерфейсе) значение каждого разряда кода информации передается от передатчика А по отдельному проводу к соответствующему разряду приемника В (рис. 2.66, а). Параллельный интерфейс прост и надежен, но требует многопроводного соединения передатчика с приемником. Его применяют при малых расстояниях между передатчиком и приемником. При последовательной передаче (последовательном интерфейсе) приемник и передатчик соединяют одним проводом, который с помощью синхронных коммутаторов  $C_1$ ,  $C_2$  подключают к одинаковым разрядам передатчика А и приемника В (рис. 2.66, б).

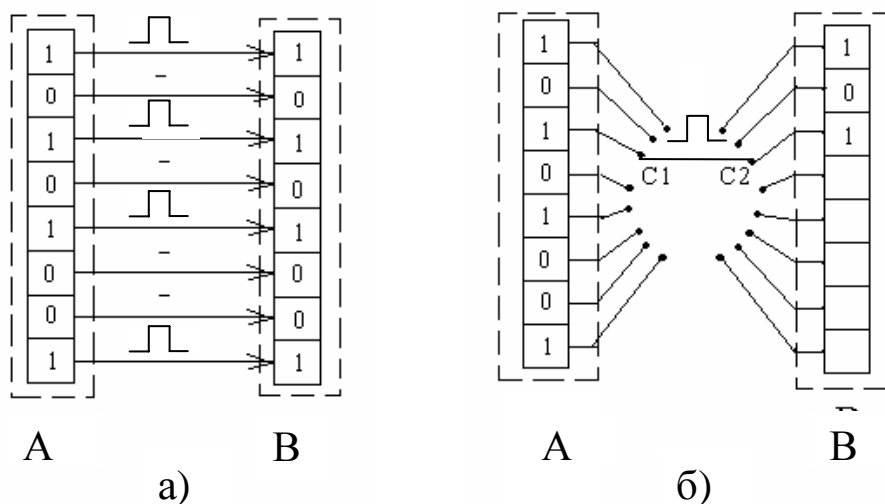


Рис. 2.66. Схемы передачи информации от передатчика А к приемнику В:  
а – параллельный интерфейс; б – последовательный интерфейс

оследовательный интерфейс обеспечивает передачу информации по одному проводу при обеспечении надежной синхронизации коммутаторов  $C_1, C_2$ .

Стандарт обмена информацией RS-232 предназначен для передачи цифровой информации между двумя устройствами (рис.2.67). В нем предусмотрено подтверждение правильного приема каждого разряда сообщения. Стандартная длина линии связи составляет 15 м при скорости передачи 19,2 Кбит/с.

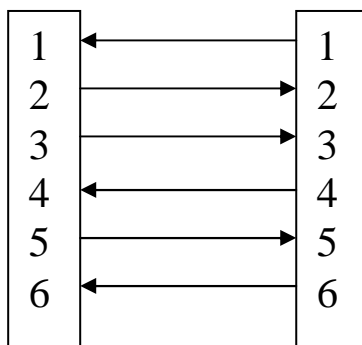


Рис. 2.67. Схема интерфейса RS-232

Стандарт обмена информацией RS-485 обеспечивает двунаправленный обмен данными по двухпроводной линии связи с числом абонентов до 32 и протяженностью линии до 1,2 км. Скорость передачи достигает 10 Мбит/с. Устройства автоматики могут быть распределены на расстоянии до 1200 м. Для более протяженных линий между сегментами по 1200м устанавливают повторители, усиливающие сигналы. Для передачи информации между двухточечным интерфейсом RS-232 и многоточечным интерфейсом RS-485 применяют преобразователи интерфейса, оснащенные микропроцессором для предварительной обработки данных, синхронизации работы передатчика и приемника, согласования скоростей обмена информацией. Кроме того, преобразователи обеспечивают подавление помех и контроль линии связи.

Развитие систем обмена информацией для мобильной телефонной связи привело к применению радиообмена цифровой информацией между распределенными средствами автоматизации, особенно подвижными. Для радиообмена при компьютерной автоматизации разработали радиомодемы (модуляторы/демодуляторы), обеспечивающие обмен данными со скоростью 115,2 Кбит/с на частоте 2,4 ГГц в распределенных системах управления. Такую связь называют WLAN (Wireless Local Area Network- беспроводная локальная сеть). Часто применяют сокращение M2M – от машины к машине. Расстояние обмена информацией со штыревой антенной – до 150 м, с внешней направленной антенной – до 20 км (рис.2.68).

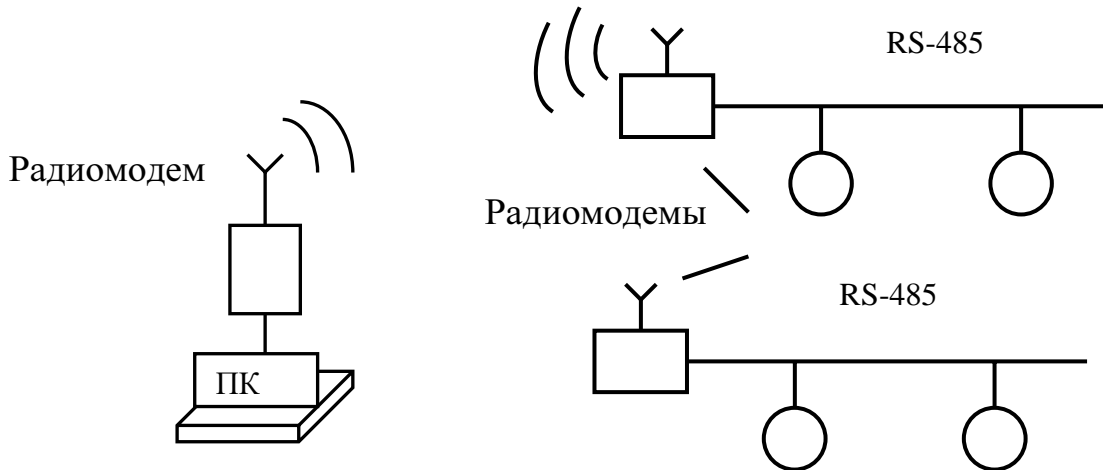


Рис. 2.68. Беспроводной обмен данными между распределенными устройствами автоматизации

На расстояниях до 300 м применяют протоколы IrDA, DECT, Bluetooth. Протокол IrDA разработан для передачи данных между двумя объектами (ноутбуками, мобильными телефонами) по инфракрасному каналу в пределах прямой видимости. Протокол DECT предназначен для связи мобильной трубки телефона со стационарной базой в домашних условиях. Оба этих протокола почти не применяют в промышленной автоматике. Протокол Bluetooth обеспечивает обмен данными на частоте 2,4 ГГц между офисными устройствами при прямой видимости на расстоянии 15 м.

Для расстояний до 50 км разработан протокол ISM, обеспечивающий передачу данных от передатчика мощностью 10 mW на расстояние до 800 м. При пакетной передаче и мощности передатчика 6 W расстояние увеличивается до 50 км. Для расстояний более 50 км применяют стандарты мобильной связи GSM, HCSД, GPRS.

Распространенный стандарт GSM обеспечивает передачу голосовых и цифровых данных на несущей частоте 900 и 1900 МГц со скоростью 9,6 Кбит/с. С его помощью можно передавать движущиеся изображения и рисунки, согласовывать радиообмен с протоколом TCP/IP, принятым в сети Интернет. Стандарт GSM применяют в распределенных системах учета расхода энергии, для управления перекачивающими станциями на газо- и нефтепроводах. Информация передается с помощью SMS-сообщений или путем прямого соединения. Длина SMS-сообщения не превышает 160 символов. При прямом соединении информацию передают по обычной телефонной линии со скоростью до 9,6 Кбит / с.

Стандарт HCSД (High Speed Circuit Switched Data- высокоскоростное циркулирование данных) позволяет передавать данные со скоростью 28,8 Кбит/с.

В стандарте GPRS (General Packed Radio Service – универсальное пакетное обслуживание по радио) обеспечивается пакетная передача данных со скоростью 14 Кбит/с и прием со скоростью 64 Кбит/с. Предусмотрены соединения: от точки к точке (РТР); от точки к многим точкам заданного местоположения или заданной

группы (PTM). Терминалы в системе GPRS могут быть трех видов: А- передача голосовой информации и цифровых данных; В- передача либо голосовой информации, либо цифровых данных; С- передача только цифровых данных. Каждый из них может находиться в одном из трех состояний: нахождение вне зоны действия сети; ожидание; точное местонахождение с готовностью к работе.

Датчики и исполнительные устройства распределены по объекту автоматизации. Они связаны с управляющим устройством через длинные линии связи, на которые воздействуют помехи, искажая сигналы датчиков. Взаимные помехи рядом расположенных объектов образуются за счет их емкостной или индуктивной связи. В первом случае металлические корпуса источника и приемника помех (в данном случае, линии связи), сообщаемые через воздух, образуют конденсатор (рис. 2.69, а), через который в линию связи проходят помехи переменного тока. Во втором случае индуктивность источника образует электромагнитное поле, изменяющее индуктивность приемника. Помехи проникают к приемнику через такой трансформатор связи (рис. 2.69, б).

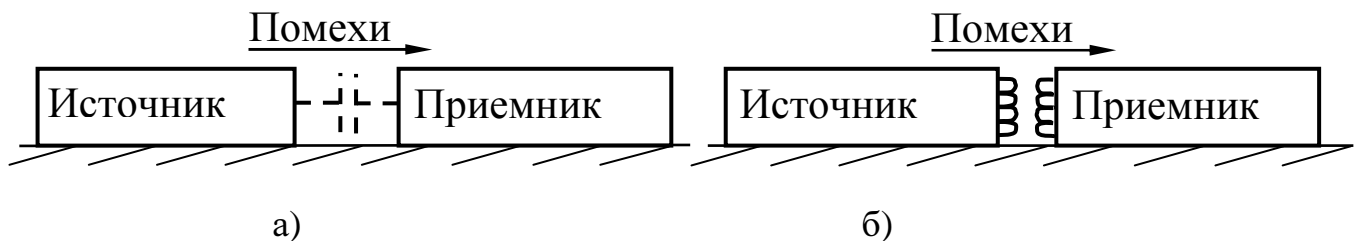


Рис. 2. 69 . Связь двух близкорасположенных объектов:  
а – ёмкостная; б – индуктивная

Для подавления взаимных помех отдаленное устройство П и вход устройства управления УУ соединяют коаксиальным кабелем К, представляющим собой провод внутри экранирующей оплетки (рис. 2.70). Экран заземляют в одной точке, обычно на входе устройства управления.

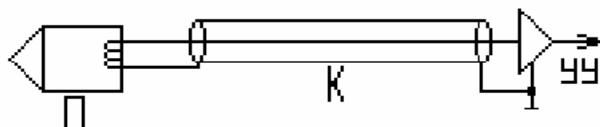


Рис. 2.70 . Соединение преобразователя П и устройства управления УУ коаксиальным кабелем К

Самым дешевым способом подавления помех является скручивание пары проводов от отдаленного устройства П к устройству управления УУ (рис. 2. 71). В каждой точке пересечения проводов помехи взаимно уничтожаются, что приводит к подавлению помех на входе устройства управления УУ. Если уровень помехи близок к сигналу датчика, то к выходу датчика подключают усилитель, соединенный с началом линии связи.

Для повышения помехоустойчивости передаваемую информацию кодируют Манчестерским кодом, при котором снижение напряжения импульса соответствует логический "0", рост напряжения – логическая "1". Импульсы Манчестерского кода начинаются и заканчиваются в середине импульса информации.

Поскольку линия передачи имеет собственную емкость, прямоугольные импульсы информации в процессе передачи теряют форму. Для восстановления формы импульсов в линию передают синхронизирующие импульсы. Если значение сигнала (0 или 1) совпадает со значением синхронизирующего импульса, то на входе приемника образуется логическая "1".

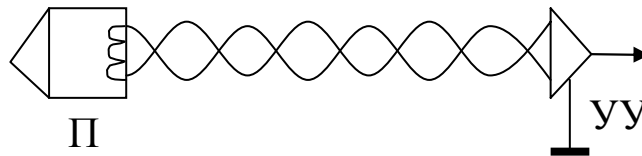


Рис. 2.71. Соединение преобразователя П и устройства управления УУ скрученными проводами

Самыми высокими пропускной способностью и помехоустойчивостью обладает волоконно-оптическая линия связи. В ней электрические сигналы преобразуют в оптические импульсы, которые передают по оптическому волокну, а затем снова преобразуют в электрические сигналы (рис. 2. 72).

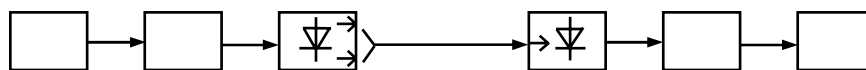


Рис. 2.72 . Схема волоконно-оптической линии связи:  
1- оптическое волокно, 2 – модулятор, 3 – преобразователь "электричество-свет", 4 – передатчик, 5 – преобразователь "свет-электричество", 6 – демодулятор, 7 – приёмник

Она представляет собой оптическое волокно 1, к началу которого через модулятор 2 и преобразователь "электричество – свет" 3 подключен передатчик 4. Конец волокна через преобразователь "свет – электричество" 5 и демодулятор 6 соединен с приемником 7. Свет – это оптическое излучение в инфракрасном диапазоне. Оптическое волокно содержит сердцевину 1, оболочку 2 и внешнее покрытие 3 (рис. 2. 73).

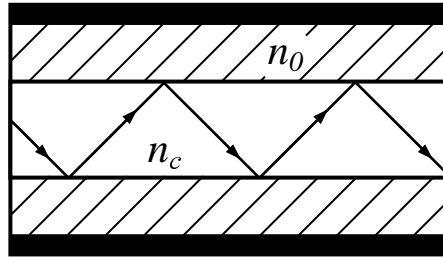
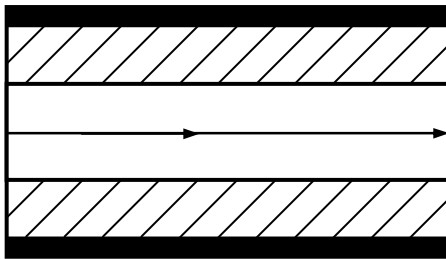
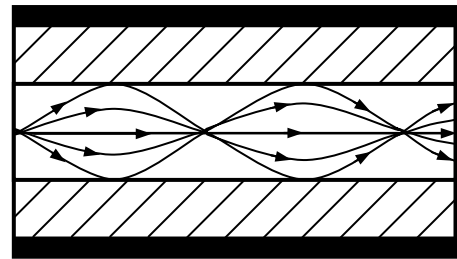


Рис. 2.73. Передача сигнала по оптическому волокну:  
1 – сердцевина; 2 – оболочка; 3 – внешнее покрытие

Ядро и оболочка выполнены из кварцевого стекла, причем показатель преломления у оболочки  $n_0$  выше, чем у сердцевины  $n_c$ . Оптический луч, введенный в сердцевину, проходит большие расстояния, многократно отражаясь от границы сердцевины и оболочки. Диаметр оптического волокна без покрытия составляет около 1 мм, радиус изгиба до излома – 5 – 10 мм.



а)



б)

Рис. 2.74. Оптические волокна:  
а – одномодовое; б – многомодовое

Различают одномодовое и многомодовое оптические волокна (рис.2.74). Мода – это длина волны, проходящей через волокно под определенным углом отражения. Световая волна имеет 2500 мод. В одномодовом волокне вводится луч с одной длиной волны (рис. 2.74, а), в многомодовом волокне одновременно передаются лучи разной длины волны (рис. 2.74, б). Одномодовое волокно имеет полосу пропускания более 10 ГГц и применяется для передачи сигналов на расстояния более 100 км. Многомодовое волокно с полосой пропускания 1 – 10 ГГц применяют для расстояний 1 – 100 км. Стоимость многомодового волокна в три раза меньше, чем одномодового. Ослабление оптического сигнала в одномодовом волокне составляет 0,2 – 0,3 дВ/км, в многомодовом – около 0,9 дВ/км. Ослабление сигнала в два раза соответствует уровню 3дВ. Масса километра оптического кабеля для передачи 100 тыс. телефонных разговоров не превышает 300 г.

Информацию одновременно передают по нескольким тысячам каналов. В качестве передатчика световых импульсов применяют лазер или лазерный диод на арсениде галлия с длиной волны 0,84 мкм и мощностью до 10 мВт. Оптические сигналы принимают фотодиодом. Толщина оптического волокна составляет де-

сятые доли миллиметра, поэтому приходится покрывать его защитной оболочкой и объединять несколько волокон в оптический кабель с прочной сердцевиной и оболочкой, устойчивой к механическим воздействиям. Волоконно-оптические кабели намного легче медных, могут изгибаться, искровзрывобезопасны, не подвержены электромагнитным помехам. Они отличаются малыми потерями сигнала и чрезвычайно высокой пропускной способностью. Вместе с тем, для соединения двух оптических волокон необходим высокоточный оптический разъем, обеспечивающий совмещение осей волокон. Кроме того, к оптическому волокну невозможно в любом месте подключать дополнительные устройства автоматизации.

В современной автоматике с распределенными на большой площади объектами управления чаще всего применяют витую пару проводов, как самую дешевую линию связи. На нижнем уровне, где требуется часто подключать и отключать датчики и исполнительные устройства, используют плоский двухпроводный кабель. Датчики и исполнительные устройства подключают к нему путем прокалывания изоляции треугольными ножевыми направляющими [11]. Специальный материал оболочки позволяет затягиваться месту прокола после снятия подключаемого устройства. Для обмена информацией между двумя из сотен устройств, подключенных к витой паре, разрабатывают протоколы промышленных шин.

### *ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 2*

1. Чем отличаются виды сигналов на входе и выходе устройства управления?
2. Что такое погрешность измерения, разрешающая способность, чувствительность, линейность, гистерезис, повторяемость, время отклика, полоса преобразования датчика ?
3. Чем относительный отсчет сигналов датчика отличается от абсолютного?
4. Чем датчик положения отличается от измерителя перемещений?
5. Что такое зона чувствительности, дифференциал хода, время срабатывания и рабочий зазор датчика положения?
6. Виды датчиков положения.
7. Как кодируются перемещения объекта в измерителях перемещений?
8. Чем отличаются преобразователи приращений от преобразователей считывания в измерителях перемещений?
9. Два типа тактильных датчиков.
10. По какому принципу работает тензорезистор?
11. Какие физические эффекты использованы в магнитоупругом и вихретоковом датчиках усилий?
12. Как локационные датчики измеряют расстояния?
13. Из каких элементов состоит система технического зрения?
14. Чем структурный метод распознавания объектов отличается от интегрального?
15. Почему распознавать касающиеся объекты сложнее, чем лежащие отдельно?

16. Достоинства и недостатки электрических, пневматических и гидравлических исполнительных устройств.
17. Как работают электропневматический клапан и электрогидрораспределитель?
18. Для чего нужны гальваническая развязка, нормализация сигналов, защита от дребезга, мультиплексор, АЦП и ЦАП?
19. Чем канал связи отличается от линии связи?
20. Как подавить помехи в проводной линии связи?
21. Как работает волоконно-оптическая линия связи?

## Глава 3. Локальная автоматика

### 3.1. Мехатроника

Возможность управления перемещением механических элементов с помощью микроэлектронных устройств привела к появлению новой области техники – мехатроники. Впервые термин “мехатроника“ был применен японскими разработчиками роботов в 1971 г. Мехатроника объединяет термины "механика" и "электроника", что означает механику, управляемую электроникой. Это могут быть принтеры, физиотерапевтические аппараты, автоматические тележки. К устройствам мехатроники относятся промышленные роботы, станки с числовым программным управлением, комплектные приводы для точных перемещений механических элементов. Как новая область техники, мехатроника находится на стыке микроэлектронного управления, информационных систем и механических систем (рис. 3.1).

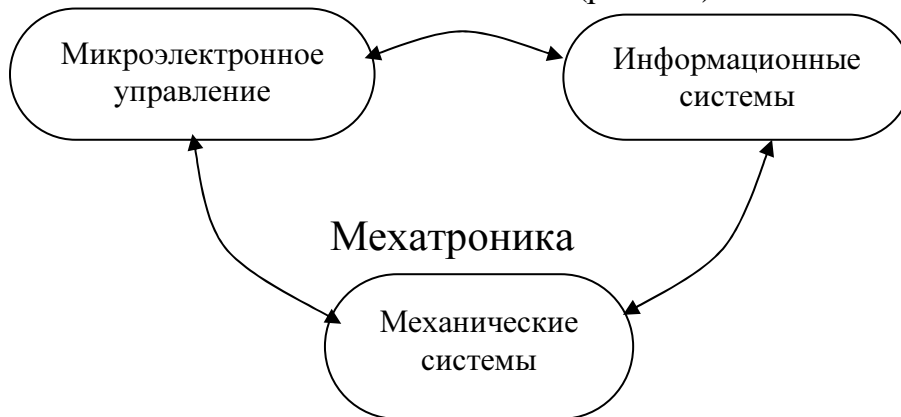


Рис. 3.1. Мехатроника как междисциплинарная область

Мехатронная система состоит из механических элементов с приводами перемещений, датчиков, исполнительных устройств и перепрограммируемого устройства управления (рис. 3.2).

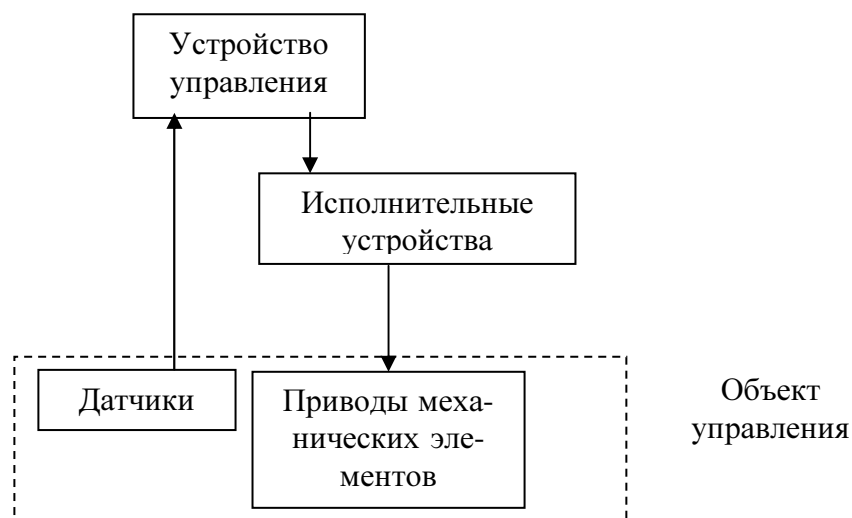


Рис.3.2. Структура мехатронной системы

Датчики контролируют состояние объекта управления. Их сигналы поступают на вход устройства управления и перерабатываются по заданному алгоритму в команды управления исполнительными устройствами. Мехатронная система обеспечивает перемещение механических элементов с погрешностью позиционирования до  $10^{-9}$  м. Перемещение осуществляют в режиме реального времени в соответствии с особыми требованиями:

- своевременности – выполнению цикла управления без задержки технологического цикла;
- одновременности – согласованию времени перемещения нескольких механических элементов;
- устойчивости к внешним воздействиям – адаптации управления к изменениям внешней среды.

Для этого устройство управления должно учитывать приоритеты задач, решать несколько задач одновременно, прерывать решение задачи на время адаптации к внешнему воздействию. Время реакции на внешние воздействия должно составлять микросекунды. Примером мехатронной системы является высокоточный металлорежущий станок с числовым программным управлением (рис.3.3).

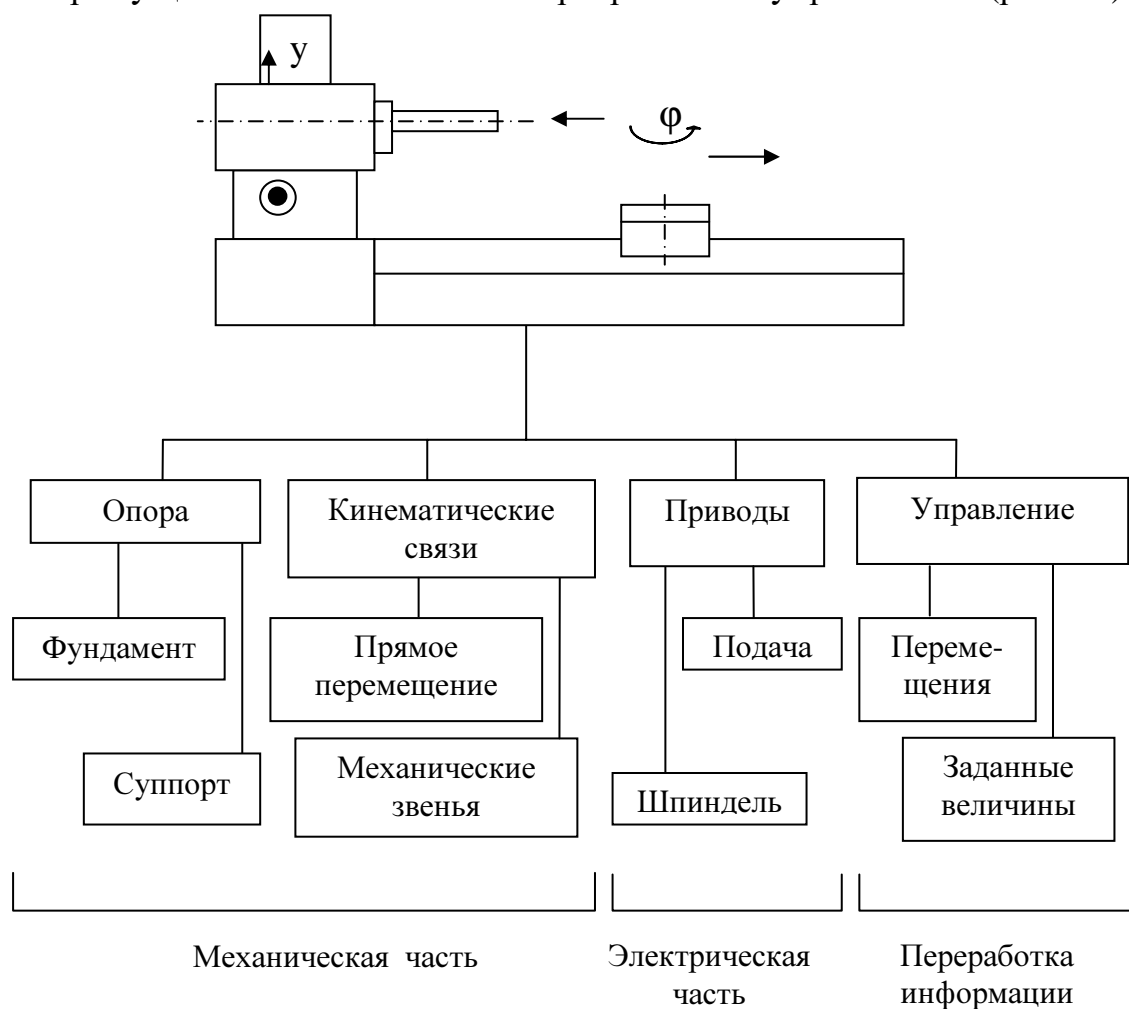


Рис.3.3 .Металлорежущий станок как мехатронная система

Суппорт станка установлен на фундаменте. На нем имеются два механических элемента, которые с помощью электроприводов перемещаются по степеням подвижности на величины  $x, y, z, \varphi$ . Управление электроприводами ведется от управляющих устройств, стоимость которых достигает 40% стоимости станка.

Полнее всего идеи мехатроники воплощены в робототехнике. От других механических устройств робот отличается многофункциональной механической базой, управляемой от перепрограммируемого устройства управления (рис.3.4).

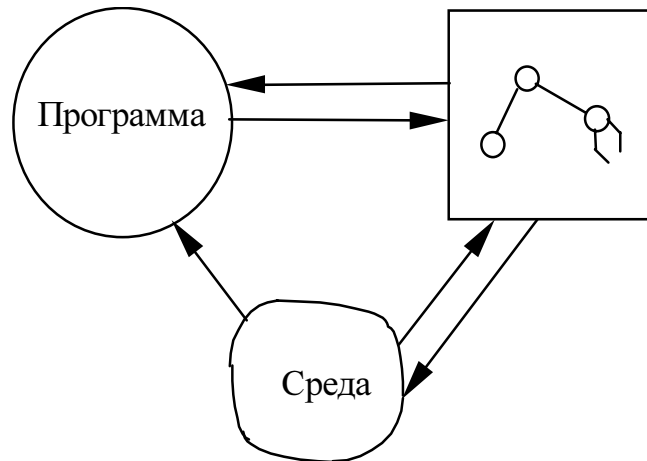


Рис. 3.4. Схема работы промышленного робота

Распространенной механической базой робота является манипулятор, представляющий собой последовательное соединение механических элементов [12]. В местах соединений смежных элементов (звеньев манипулятора) установлены приводы перемещений. Они обеспечивают вращательное или поступательное перемещения звеньев друг относительно друга. Начало манипулятора неподвижно, а конец перемещается в пространстве под действием приводов в соединениях звеньев. Конец последнего звена манипулятора оснащен рабочим органом. Рабочий орган перемещается в пространстве за счет перепрограммируемых перемещений звеньев манипулятора. Окружающая среда воздействует как на выбор программы, так и на характер перемещений звеньев манипулятора. Например, при захвате рабочим органом тяжелого объекта звенья манипулятора перемещаются медленнее, чем без объекта. При изменении вида объекта выбирается другая программа работы робота.

Промышленные роботы могут быть трех поколений:

- **п р о г р а м м н ы е** – датчики отсутствуют, устройство управления действует по жестко заданной программе, которая может быть легко перестроена на другие операции в пределах возможностей данного робота;
- **а д а п т и в н ы е** – робот с помощью датчиков осязания воспринимает обстановку и приспосабливается к ней путем выбора подходящей программы из имеющегося набора;
- **и н т е л л е к т н ы е** – робот с помощью развитой системы осязания распознает обстановку и строит упрощенную модель среды, которая корректируется в процессе управления для достижения заданной цели.

Поколения роботов не сменяют друг друга, а развиваются одновременно. Применение робота того или иного поколения в технологическом процессе определяется сложностью и изменчивостью среды функционирования (табл. 3. 1).

Таблица 3.1. Что могут выполнять роботы

ПРОГРАММНЫЕ	АДАПТИВНЫЕ	ИНТЕЛЛЕКТНЫЕ
Загружать или разгружать технологическое оборудование. Окрашивать изделия простой формы. Резать плоские материалы. Манипулировать рабочим инструментом. Вести точечную сварку. Играть на пианино.	Собирать детали в изделие. Контролировать качество изготовления. Вести дуговую сварку. Вести зачистку и шлифование. Наносить покрытия на изделия сложной формы. Сортировать изделия. Перемещаться по заданной траектории. Резать материалы сложной формы. Переносить хрупкие предметы. Мыть окна. Выполнять заказы в кафе.	Перемещаться по неизвестной местности. Отыскивать заданные предметы. Находить наружные и внутренние дефекты. Распознавать препятствия. Зачерпывать горную массу.

Программные роботы могут работать при фиксированном состоянии среды. Адаптивные роботы применяются в тех случаях, когда можно перечислить возможные состояния среды и для каждого состояния задать программу управления. Интеллектуальные роботы строят модель незнакомой среды путем обучения, поэтому их применение будет оправдано в тех случаях, когда невозможно предусмотреть изменения среды при выполнении технологических операций.

В зависимости от выполняемых задач различают *манипуляционные, мобильные, информационные и управляющие* роботы.

*Манипуляционный* робот предназначен для выполнения механических операций, подобных тем, которые выполняются человеком вручную, но с возможным изменением масштаба, размеров и усилий (например, взятие и перенос предмета, перемещение по сложным траекториям, работа с любыми инструментами, захватными устройствами, сварочными или красящими головками). Большинство промышленных роботов – это автоматические манипуляторы грузоподъемностью до 10 кг с 3-6 степенями подвижности. В них отсутствуют датчики осязания, позволяющие контролировать состояние робота и внешней среды.

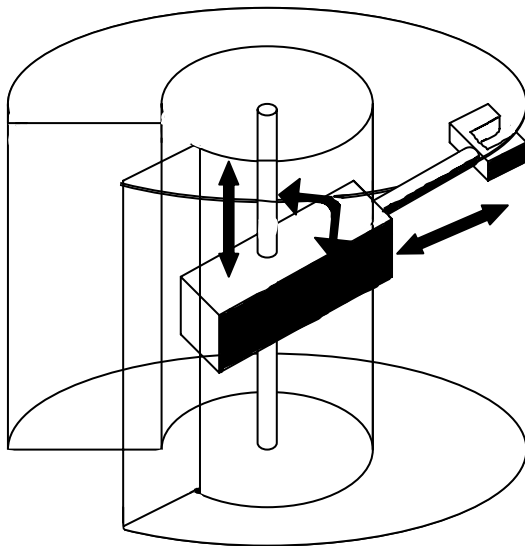
*Мобильный* робот предназначен для перемещения грузов по заданной траектории. Различают исследовательские (доставка проб из недоступных мест), аварийно – спасательные (вывоз людей в аварийных ситуациях), специализированные (доставка взрывчатого материала к месту взрыва) и технологические (выполнение производственных операций) мобильные роботы. Создание технологических роботов для перевозки грузов между единицами автоматизированного обо-

рудования позволило перейти к гибкому автоматизированному производству [13]. Транспортный робот или робокар представляет собой тележку с автономным питанием и бортовой системой управления, движущуюся между станками и автоматизированным складом. В местах остановки робокара манипуляторы загружают или разгружают его платформу. Траекторию движения робокара задают механической трассой, излучающим проводником или светоотражающей полосой. Для движения по заданному маршруту используют также автономную навигацию с помощью установленных на борту робокара дальномеров или системы технического зрения.

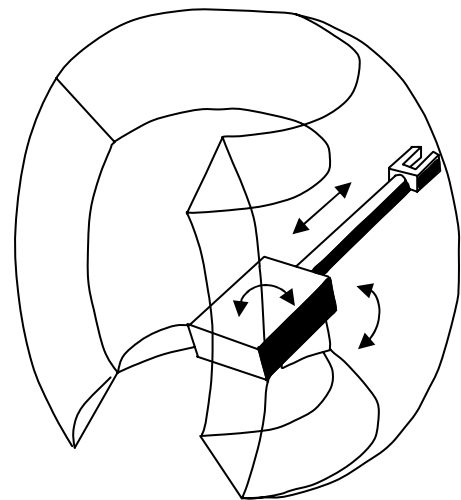
*Информационный* робот расширяет возможности органов чувств человека. Он представляет собой самоходную дистанционно управляемую тележку с бортовыми телекамерами, пробоотборниками, измерительными приборами. Недоступные человеку возможности открываются при установке на робокаре тепловизоров, отображающих распределение теплового поля, или интроскопов, способных наблюдать объекты через непрозрачные преграды.

*Управляющий* робот имитирует умственную деятельность человека при управлении технологическим оборудованием. Его применение особенно эффективно при ограничении технологических возможностей оборудования психофизиологическими особенностями человека, например, плохой способностью воспринимать и анализировать быстрые изменения ситуаций.

Кинематика манипуляторов строится в цилиндрической, сферической, угловой или прямоугольной системах координат [14] (рис. 3.5). С развитием робототехники появляются принципиально новые компоновки манипуляторов, такие как SCARA, SPINE, FlexPicker.



а)



б)

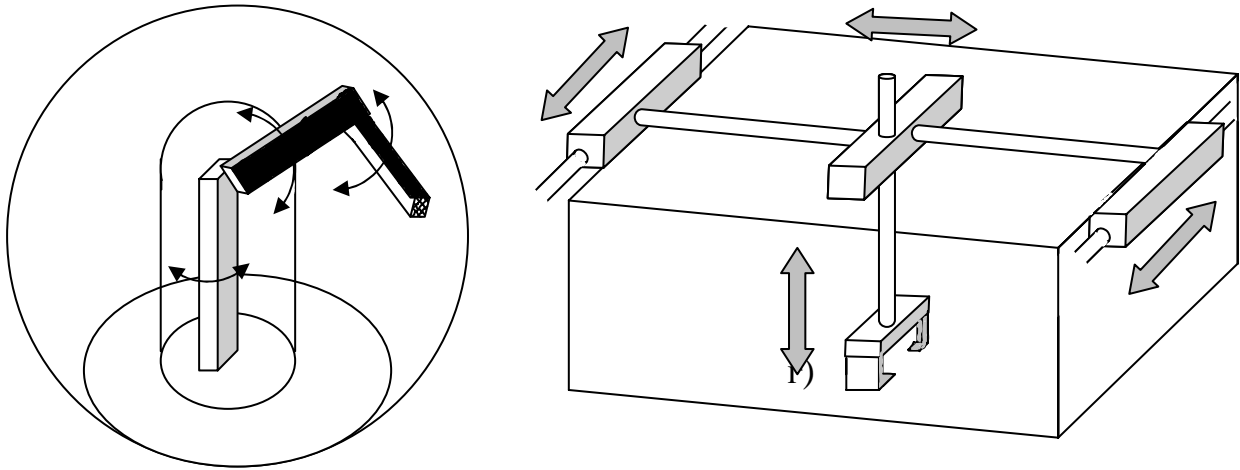


Рис. 3.5. Системы координат промышленных роботов:  
 а – цилиндрическая; б – сферическая; в – угловая; г – прямоугольная

Управление движением механического элемента между начальной А и конечной В точками возможно тремя способами (рис. 3. б):

- цикловое (от начала к концу), при котором не контролируются промежуточные точки траектории движения;
- позиционное (от точки к точке), при котором контролируется прохождение звена через заданные точки на траектории движения;
- контурное (непрерывный путь), при котором контролируется прохождение звена через все точки траектории движения.

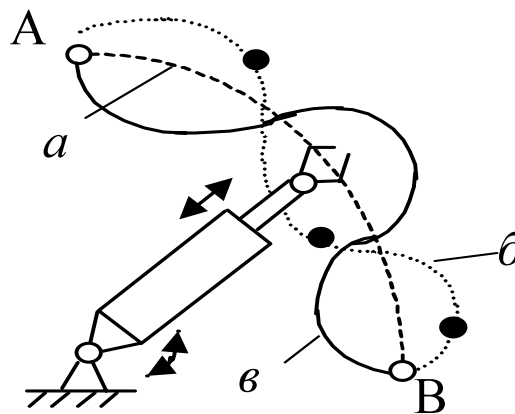


Рис. 3.б. Управление движением механического элемента  
 в мехатронике:  
 а- цикловое, б- позиционное, в- контурное

Перемещение механического элемента с помощью микроэлектронного устройства управления характеризуется следующими показателями:

- числом степеней подвижности – числом плоскостей координат, в которых может перемещаться механический элемент;

- погрешностью позиционирования – максимальным отклонением механического элемента после его перемещения от положения, заданного управляющей программой;
- погрешностью отработки траектории – максимальным отклонением траектории движения механического элемента от траектории, заданной программой управления;
- рабочей зоной – пространством, в котором может находиться движущийся механический элемент;
- зоной обслуживания – частью рабочей зоны, в которой механический элемент выполняет технологические операции.

При управлении механическим элементом различают прямую и обратную задачи кинематики. В прямой задаче задают взаимные перемещения в соединениях звеньев механического элемента, для которых рассчитывают положение, скорость и ускорение рабочего органа. Цель расчета – определение геометрических характеристик рабочей зоны механического элемента при конструктивных ограничениях на изменения координат звеньев, оценка погрешности позиционирования и отработки траектории при заданных погрешностях перемещений звеньев. В обратной задаче задают положение, скорость и ускорение рабочего органа, а затем рассчитывают перемещения в соединениях звеньев механического элемента.

Обратная задача встречается в мехатронике чаще, поскольку на практике сначала определяют положение рабочего органа, а затем находят взаимные перемещения звеньев для вывода рабочего органа в заданное положение. Сложность прямой и обратной задач кинематики состоит в привязке системы координат каждого соединения звеньев к общей системе координат и расчете динамики движения звеньев с учетом переменных нагрузок, сил инерции и трения. Решение прямой и обратной задач кинематики в режиме реального времени с целью формирования команд управления приводами звеньев часто невозможно из-за большой размерности системы дифференциальных уравнений.

Для перемещения механических звеньев используют пневматические, гидравлические или электрические приводы. При цикловом управлении перемещениями элементов используют пневмопривод, отличающийся простотой и надежностью, высоким быстродействием, точным позиционированием по механическим упорам в конце движения, возможностью работы в агрессивных средах, дешевизной. Его недостатки: зависимость скорости перемещения от нагрузки вследствие сжимаемости воздуха, невозможность остановки в промежуточных точках позиционирования, удары звена об упор в конце перемещения, шум при работе.

При позиционном управлении применяют гидропривод дроссельного или объемного управления. Его достоинства: высокое быстродействие при малой инерционности; стабильность скорости при изменении нагрузки благодаря несжимаемости рабочей жидкости; бесступенчатое регулирование скорости; высокий коэффициент усиления мощности; малая масса гидродвигателей. Недостатками гидропривода являются сложность расчета, утечки рабочей жидкости в уплотнениях, зависимость скорости от температуры жидкости.

Для контурного управления удобен электропривод, который вытесняет пневмо – и гидропривод. Электропривод имеет малые габариты, хорошую управляемость и высокую точность отработки траектории. В мехатронике обычно применяют легкоуправляемые электродвигатели постоянного тока, состоящие из ротора и статора. На статоре имеются постоянные магниты или обмотка электромагнитного возбуждения. Обмотка возбуждения на статоре может не соединяться с обмоткой ротора (двигатель независимого возбуждения), соединяться последовательно с обмоткой ротора (двигатель последовательного возбуждения) или соединяться параллельно – последовательно с обмоткой ротора (двигатель смешанного возбуждения). Электродвигатели переменного тока делят на асинхронные и синхронные. Асинхронные двигатели бывают двухфазными и трехфазными. Скорость двухфазного двигателя регулируется напряжением в обмотке управления, смещенной на 90 градусов относительно обмотки возбуждения. Скорость синхронного двигателя зависит от частоты напряжения питания. Недостаток электродвигателей вращения – высокая скорость, требующая преобразования в медленные перемещения механических звеньев. В качестве устройств снижения скорости применяют шестеренчатые, червячные или волновые редукторы. Шестеренчатые и червячные редукторы недостаточно снижают скорость и имеют большие потери мощности. Для устройств мехатроники с электроприводом изобретен волновой редуктор, состоящий из генератора волн 1 эллиптического сечения и гибкого зубчатого колеса 2, которые устанавливаются внутри жесткого зубчатого колеса 3 (рис.3. 7).

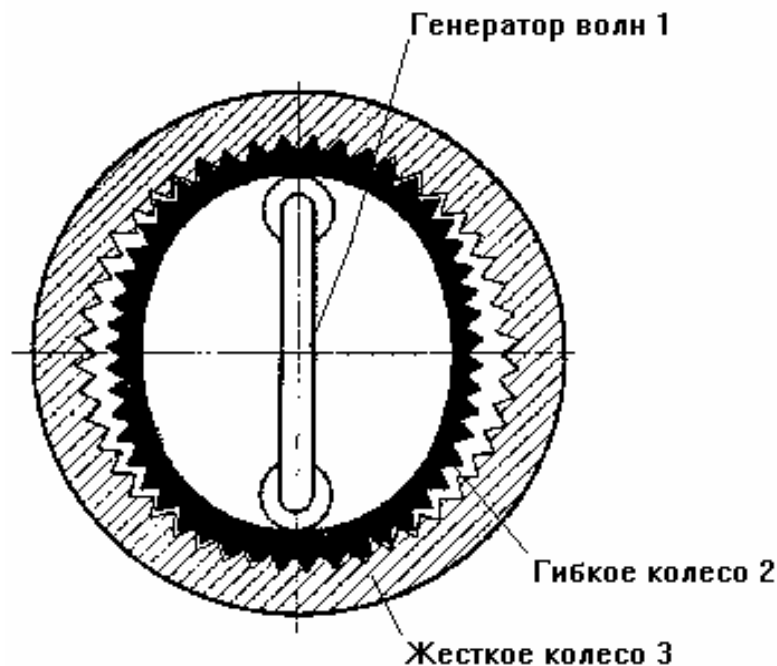


Рис. 3. 7. Устройство волнового редуктора

Гибкое колесо, будучи связанным с генератором волн, принимает форму эллипса. Поэтому его зубцы полностью входят во впадины между зубцами жесткого колеса 3 в двух точках по главной оси эллипса. Оно имеет на несколько зубцов меньше, чем жесткое колесо. Через каждый оборот генератора гибкое ко-

лесо поворачивает жесткое колесо на эти несколько зубцов. Если генератор волн соединить с входным валом, а жесткое колесо – с выходным, то обеспечивается очень высокое передаточное отношение. По степени управляемости различают приводы:

- нерегулируемые, обеспечивающие движение элемента с одной рабочей скоростью;
- регулируемые, обеспечивающие заданную скорость движения элемента в изменяющейся среде;
- следящие, обеспечивающие перемещение элемента с заданной точностью при произвольном задающем сигнале;
- адаптивные, автоматически выбирающие оптимальные параметры управления при изменении условий работы.

Для уменьшения габаритов электродвигателя его расчетную мощность

$$N = K \cdot M \cdot n(\text{ПВ}) \quad (3.1)$$

выбирают с учетом относительной продолжительности включения:

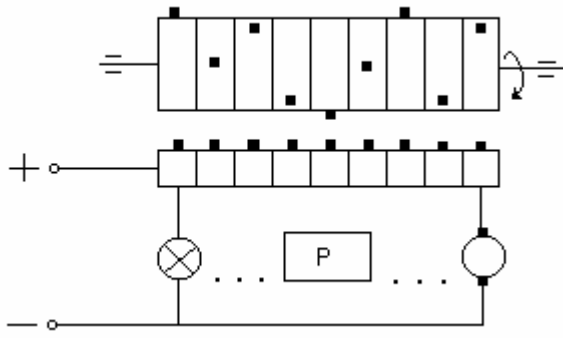
$$\text{ПВ} = t_p / t_{\text{ц}}, \quad (3.2)$$

где  $M$  – крутящий момент;  $n$  – частота вращения;  $K$  – коэффициент потерь в передачах;  $t_p$  – время работы;  $t_{\text{ц}} = t_p + t_o$  – время цикла;  $t_o$  – время отключения.

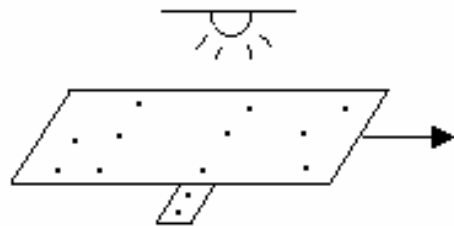
Весьма перспективны в мехатронике шаговые двигатели. На роторе двигателя закреплен постоянный магнит, взаимодействующий с большим числом обмоток электромагнитов на статоре. Бесконтактное переключение комбинации обмоток статора приводит к повороту его магнитодвижущей силы на определенный угол. На такой же угол поворачивается ротор. Положение ротора соответствует комбинации включенных обмоток.

### 3.2. Программноносители

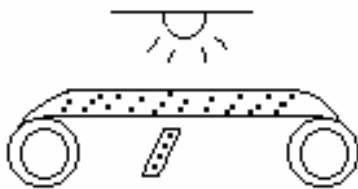
Переход от жесткой к программируемой логике управления объектом принципиально изменил устройства автоматики. Вместо устройства управления, изготавливаемого под определенный объект автоматизации, стали применять универсальное устройство управления с программноносителем. Приспособление устройства к управлению объектом осуществляют путем записи соответствующего алгоритма управления в программноноситель. Первыми программноносителями были кулачковые командоаппараты, представляющие собой набор дисков с кулачками, укрепленных на общей оси (рис. 3.8,а). При повороте оси кулачки входили в зону чувствительности датчиков положения, которые переключали исполнительные устройства объекта. Для изменения программы меняли угол поворота диска относительно оси. Затем появились перфокарты (рис. 3.8,б), которые перемещались между источниками и приемниками света.



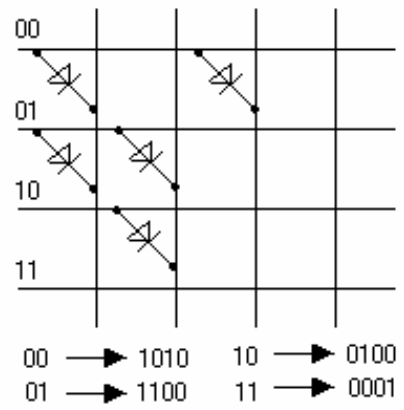
а)



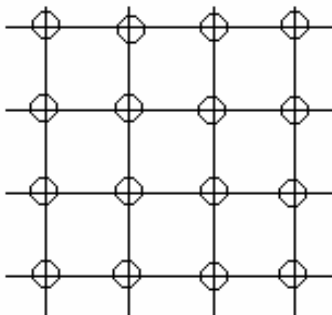
б)



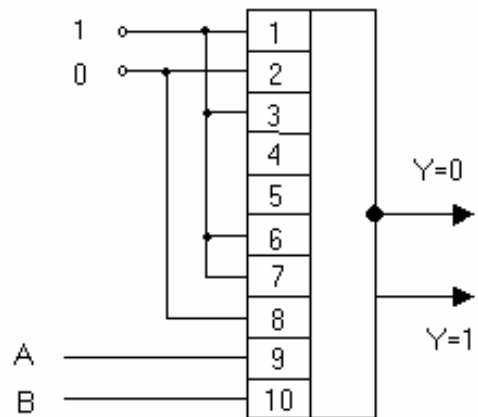
в)



г)



д)



е)

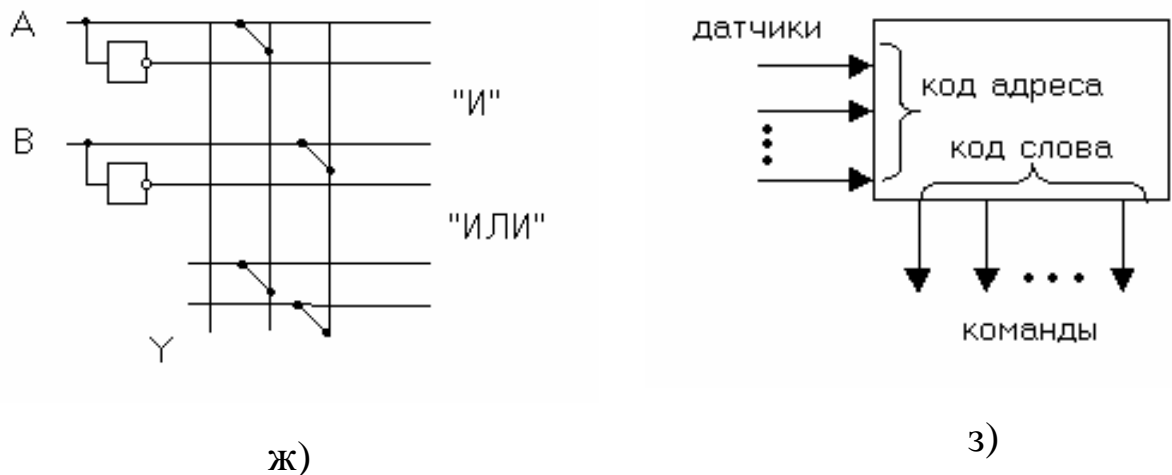


Рис. 3.8. Виды программносителей:  
 а- кулачковые командоаппараты; б- перфокарты; в- перфоленты;  
 г- диодные матрицы; д- матрица на ферритовых кольцах;  
 е- мультиплексор; ж- программируемая логическая матрица (ПЛМ);  
 з- перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ)

При попадании на фотоприемники света через отверстия в перфокарте, пробитые согласно программе управления, формировались команды переключения исполнительных устройств. Одновременно развивались перфоленты, имеющие меньшие габариты и более высокую емкость (рис.3.8,в). Следующим шагом стали диодные матрицы. Их программирование сводится к установке диодов на пересечениях горизонтальной и вертикальной шин там, где нужно записать логическую "1" (рис. 3.8,г). Горизонтальные шины соответствуют адресу слова, а вертикальные – кодовой комбинации слова по данному адресу. Число горизонтальных шин равно числу разрядов адреса, а число вертикальных шин – числу разрядов слова. Программноноситель на ферритовых кольцах использует свойство феррита переходить из одного состояния насыщения в другое и сохранять его после отключения питания (рис. 3.8, д). Через кольца пропускают провода вертикальной и горизонтальной шин. Информация записывается путем подачи напряжения на провода по вертикали и по горизонтали. Кольцо переходит в состояние насыщения, которое распознается при управлении объектом. Аналогичный принцип использовался в магнитных лентах. Появление микросхем привело к созданию мультиплексора – программируемого коммутатора каналов с несколькими входами и одним выходом (рис. 3.8,е). Сигналы датчиков подавали на входы А и В. Алгоритм управления задавали настроечным соединением входов мультиплексора, соответствующих тем номерам строк автоматной таблицы, для которых выход У принимал значения "1" и "0". Последним типом программносителя, размеры которого зависели от объема программы управления, стала программируемая логическая матрица ПЛМ (рис.3.8, ж). Она состоит из матриц И и ИЛИ. В матрицу И вводят диодные переключки, формирующие набор состояний входных переменных А, В.

В матрице ИЛИ переключки ставят там, где выходная переменная  $Y$  принимает единичное значение.

С появлением перепрограммируемых запоминающих устройств с электрической записью и электрическим или ультрафиолетовым стиранием информации (ППЗУ) начался нынешний этап развития программносителей. Это твердотельные диски (SSD – Solid State Disk) – устройства для хранения записанных данных в полупроводниковом элементе памяти. В отличие от устройств памяти с механическим приводом, твердотельные диски устойчивы к жестким условиям эксплуатации. Сначала набор состояний датчиков вводили как код адреса в перепрограммируемом постоянном запоминающем устройстве (ППЗУ). В ячейке памяти с этим адресом записывали код команд на исполнительные устройства (рис.3.8,з). Затем такие программносители стали применять в программируемых контроллерах с микропроцессорной организацией взаимодействия состояний датчиков и выходных команд.

В последнее время развиваются программносители в виде быстросменных флэш-дисков. Флэш-диск представляет собой энергонезависимое устройство с электрической записью и электрическим стиранием больших объемов информации, изготовленное по технологии Flash® (ф. "Интел"). Его используют для долговременного хранения сотен мегабайт информации. В отличие от обычных микросхем памяти число циклов стирания и записи превышает 1 миллион. Флэш-диск отличается от жестких дисков (винчестеров) отсутствием подвижных частей, невосприимчивостью к ударам и вибрациям, устойчивой работой при изменении температуры от  $-40$  до  $+85$  °С, средним временем наработки на отказ более 100 лет. Флэш-диск весит несколько граммов, бесшумен и в режимах чтения/записи потребляет мощность до 200 мВт. Скорость записи и считывания составляет 1-5 Мбайт/с. Флэш-диски емкостью 2-200 Мбайт, которые выполнены в виде печатных плат и могут устанавливаться в слоты материнской платы компьютера, называют фиксированными. На них часто реализуют системные диски компьютеров повышенной надежности с высокой скоростью загрузки. Некоторые флэш-диски размещают в корпусах для микросхем ПЗУ и ставят в гнезда материнской платы. Флэш-диски, которые применяют для хранения и переноса информации в мобильных устройствах, называют сменными. Они выполнены в виде карточек толщиной от 1,5 до 10 мм, которые могут устанавливаться в разъем под напряжением без отключения.

Первые флэш-диски применяли для замены микросхем ПЗУ. По мере роста скорости обмена информацией их начинают применять как встроенные контроллеры бытовых устройств и заменители жестких дисков в персональных компьютерах. Высокая надежность и низкая стоимость флэш-дисков позволяют использовать их в качестве программносителей емкостью до десятков мегабайт внутри кассовых аппаратов, мобильных компьютеров, станков с ЧПУ, цифровых фотоаппаратов, радиотелефонов. Например, на флэш-диске емкостью 2 Мб для сотового телефона может быть записан телефонный справочник большого города или 30 мин разговора.

### 3.3. Программируемый контроллер

Программируемый контроллер представляет собой микропроцессорное управляющее устройство, входы которого связаны с датчиками, а выходы- с исполнительными устройствами объекта управления. Контроллер изготавливают универсальным и приспособляют к управлению конкретным объектом управления путём записи и хранения алгоритма управления в запоминающем устройстве. Сначала программируемые контроллеры создавали для замены громоздких и ненадежных релейно- контактных систем управления. Первый программируемый контроллер установили в 1969 г. на автоматизированном конвейере автозавода в США. Его назвали “Модикон” (Modular Digital Controller – модульный цифровой контроллер). Необходимо было быстро перестраивать линию на выпуск разных моделей автомобилей и часто совершенствовать технологический процесс. Перестройка имеющейся релейно – контактной аппаратуры была долгой и дорогой. Требования устойчивости к промышленной среде, доступности обслуживания промышленным персоналом и низкой стоимости, множество разнообразных входов и выходов не позволяли применить для управления существовавшие ЭВМ.

Как и персональный компьютер, программируемый контроллер содержит микропроцессор, оперативное и постоянное запоминающее устройства, предназначенные для обработки информации по заданной программе. Он встраивается в объект управления и не имеет монитора, клавиатуры, устройств для чтения информации с дисков. Имеются и другие отличия программируемого контроллера от персонального компьютера (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Отличия программируемого контроллера от персонального компьютера

<i>Свойство</i>	<i>Контроллер</i>	<i>Компьютер</i>
Выполняемая задача	Обработка сигналов датчиков и выдача команд	Последовательность вычислений
Время решения	Ограничено динамикой объекта управления	Не ограничено
Выполнение программы	Многократное	Однократное
Программирование	По особенностям управления объектом	По особенностям решаемой задачи
Язык программирования	Созданный специально для данного контроллера	Универсальный
Подключение	К объекту управления	К питающей сети
Ввод программы	От временно присоединяемого устройства	От встроенного устройства
Результаты работы	Не выводятся	Выводятся на монитор
Время цикла	Меньше периода изменения ситуации	Не ограничено
Подключаемые устройства	Датчики и исполнительные устройства	Монитор, принтер, клавиатура

Эти отличия объясняются тем, что программируемый контроллер предназначен для управления промышленным объектом в реальном времени. Поэтому он должен иметь развитые устройства преобразования входных и выходных сигналов, доступное технологу программирование, удобство диагностики и контроля, повышенную надёжность. Программируемый контроллер может быть трёх типов:

- логический контроллер для замены релейно-контактной логики при управлении дискретными процессами;
- регулирующий контроллер для управления непрерывными процессами;
- универсальный контроллер для дискретных и непрерывных процессов.

Первые два типа со временем объединились в третий, имеющий как логические, так и аналоговые входы и выходы для управления дискретными и непрерывными процессами. Программируемый контроллер содержит модули входных (Вход) и выходных (Выход) сигналов, центральный процессор (ЦП), оперативное (ОЗУ) и перепрограммируемое постоянное (ППЗУ) запоминающие устройства (рис.3.9).

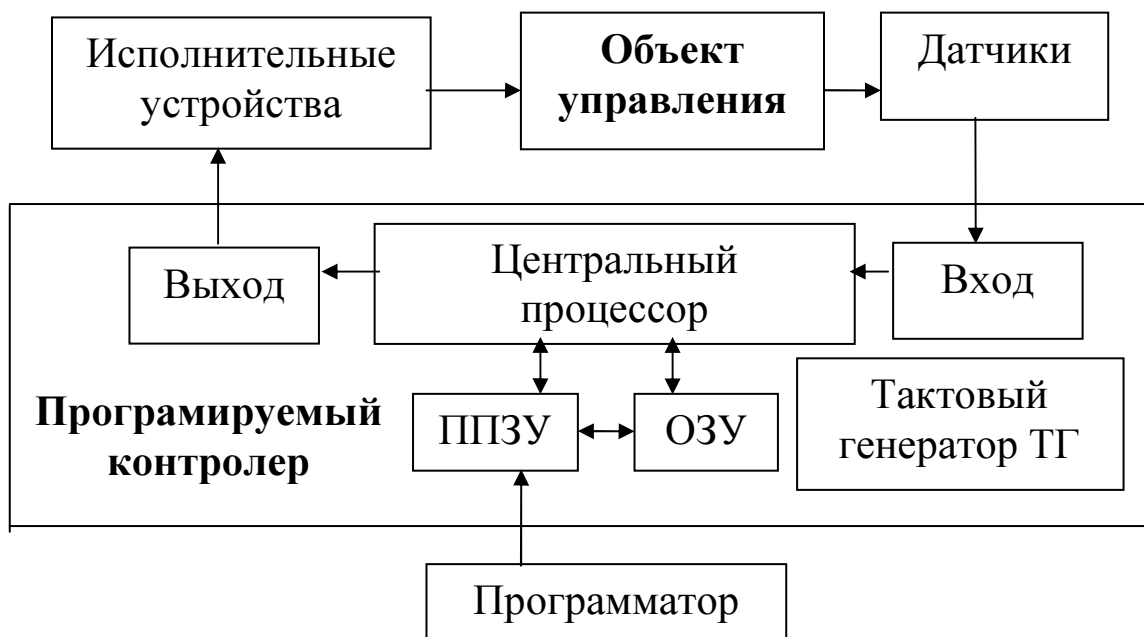


Рис. 3.9. Структура программируемого контроллера

Работа внутренних устройств синхронизируется тактовым генератором (ТГ). Программу управления записывают в ППЗУ с помощью программатора, в качестве которого можно применять либо персональный компьютер со специальным программным обеспечением, либо специализированное устройство с дисплеем. Программа сообщает процессору, какие операции, когда и с какими сигналами он должен выполнять. Команда управления процессором содержит код операции и

адрес операнда. Код операции указывает, что надо делать. Адрес операнда показывает, с чем надо выполнить операцию. Например, логическая функция

$$y = u_1 + u_2 \cdot u_3 \quad (3.3)$$

реализуется в виде программы из четырёх команд (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Команды программируемого контроллера

Адрес	Команда		Комментарий
	код операции	адрес операнда	
0	Загрузить	$U_2$	Переслать содержимое ячейки памяти с адресом $U_2$ в аккумулятор А
1	И	$U_3$	Выполнить операцию И с содержимым ячейки $U_3$ и аккумулятора А ; результат поместить в А
2	ИЛИ	$U_1$	Выполнить операцию ИЛИ с содержимым ячейки $U_1$ и А ; результат поместить в А
3	Поместить	Y	Переслать содержимое А в ячейку с адресом Y, где в итоге должно быть Y

В отличие от релейно-контактных систем с параллельной обработкой входной информации контроллер опрашивает входы последовательно, а затем формирует на выходе команды управления объектом. При этом цикл последовательного опроса осуществляется во много раз быстрее изменений в объекте управления.

Около половины стоимости контроллера приходится на устройства входа и выхода. Один и тот же контроллер может применяться для тысяч разновидностей датчиков и исполнительных устройств. Для их подключения к контроллеру присоединяют разнообразные модули преобразования разных сигналов во внутренние сигналы контроллера.

В большинстве приложений число сигналов о состоянии объекта намного превышает число физических входов контроллера. Поэтому прибегают к поочерёднему подключению сигналов к одному входу контроллера с помощью мультиплексора (рис. 3.10). Поочерёдная подача команд 1`, 2`, 3` на входы мультиплексора приводит к подключению датчиков 1, 2, 3 к одному входу контроллера.

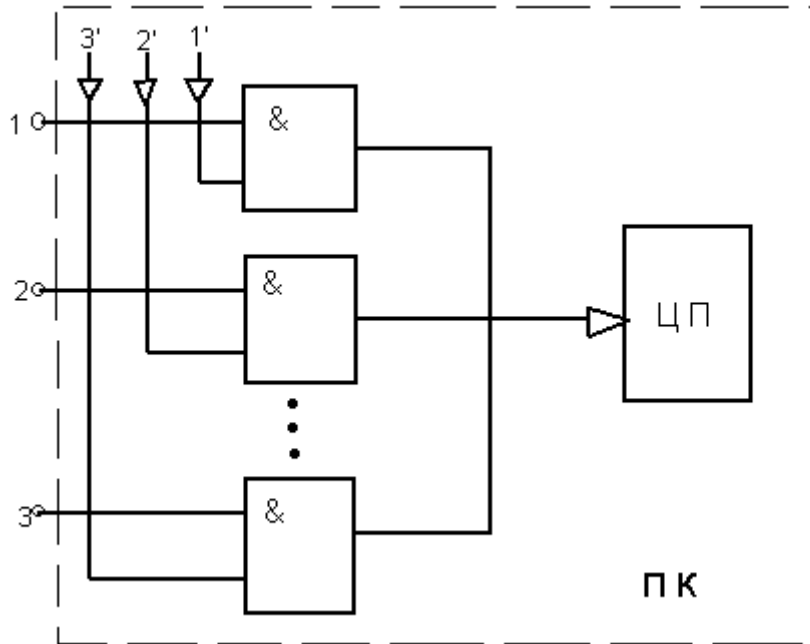


Рис. 3.10. Мультиплексирование входов контроллера

Для увеличения числа команд на исполнительные устройства при ограниченном числе физических выходов контроллера прибегают к демultipлексированию – подключению разных исполнительных устройств к одному выходу контроллера (рис. 3.11). При выходном сигнале  $y_n$  выбор между  $y_i$  и  $y_j$  зависит от состояния  $y_k$ .

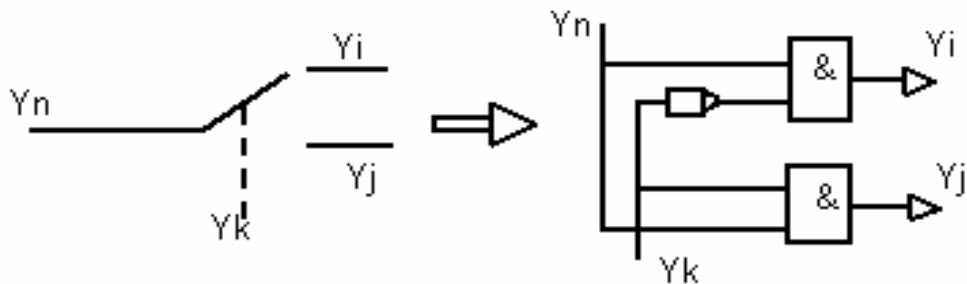



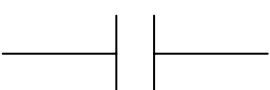
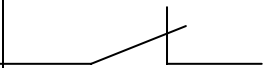
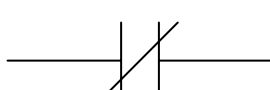
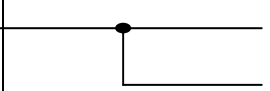
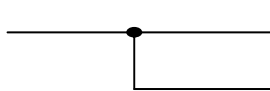
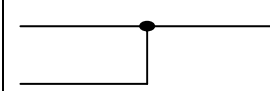
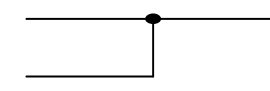
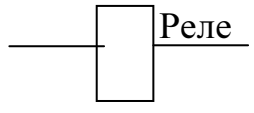
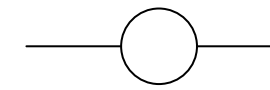
Рис. 3.11. Демultipлексирование выходов контроллера

На некоторых входах контроллера реализуются стандартные функции, такие как счёт импульсов, временная выдержка, регулируемый порог входного напряжения. Ведущими мировыми производителями программируемых контроллеров и систем автоматизации на их основе являются фирмы “Аллен Брэдли” (США) и “Модикон” (США). Кроме них, программируемые контроллеры выпускаются десятками фирм.

Первые программируемые контроллеры были логическими и разрабатывались для замены шкафов с релейно-контактной автоматикой. Поэтому проектировщики стремились приблизить язык их программирования к понятному для

технолога языку релейно-контактных схем. Для программирования контроллеров был разработан язык лестничной логики. Он включает пять компонентов, подобных элементам релейно-контактных схем (табл. 3.4): переменная (нормально открытый контакт), дополнение переменной (нормально закрытый контакт), начало или конец ветвления параллельной цепи и символ присвоения результата (обмотка реле).

Таблица 3.4. Соответствие компонентов релейных схем и языка лестничной логики

Элемент	Релейная схема	Лестничная логика
Нормально открытый контакт		
Нормально закрытый контакт		
Начало ветвления		
Конец ветвления		
 Реле		

Программу записывают по строкам, похожим на перекладины лестницы, между двумя вертикальными шинами питания. С позиции релейно-контактной схемы строка представляет собой цепь контактов, соединённую с реле. С позиции программируемого контроллера строка представляет собой последовательность команд, приводящую к изменению выходной переменной. Компоненты нумеруются четырёхразрядными кодовыми комбинациями. Комбинации входов начинаются с 1, а выходов и промежуточных переменных – с 0. Запись фрагмента программы контроллера на языке лестничной логики показана на рис.3.12.

Позиции А, В, С, D показывают состояние входов или промежуточных переменных. Цепь с символом присвоения 0100 устанавливает ячейку памяти с номером 0100 в состояние 1, если входы 1010 и 1011 находятся в состоянии 1 и 0 или 1012 находится в состоянии 1, причём 1013 должна быть в состоянии 1. Это соответствует булеву уравнению:

$$(A\bar{B} + C)D = [0100]. \quad (3.4)$$

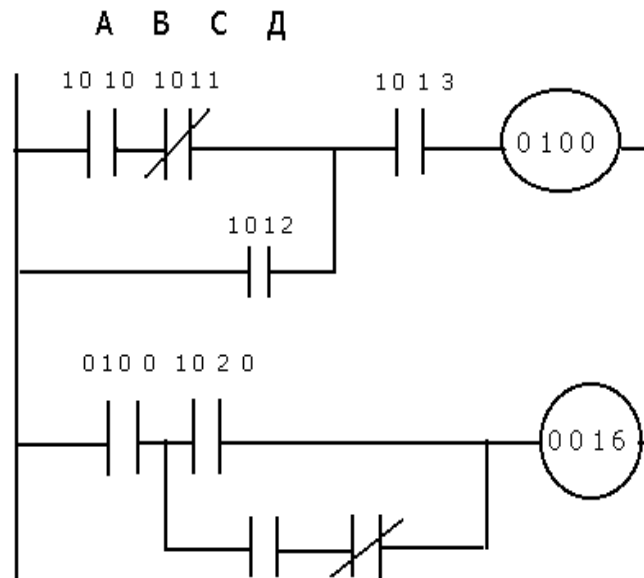


Рис. 3.12 . Фрагмент программы логического контроллера на языке лестничной логики

В цепи, ограниченной вертикальными шинами, допускается не более пяти компонентов. Если число переменных больше четырёх, то символ присвоения считают промежуточной переменной, которую переносят в следующую цепь. Выход 0016 принимает единичное значение, если входы 0100 и 1020 находятся в состоянии 1, а 1021 – в состоянии 0:

$$A(C\bar{D} + B) = [0016] . \quad (3.5)$$

Входы датчиков обозначают переменными X, выходные команды – переменными Y, промежуточные команды – переменными S. Технолог набирает комбинацию сигналов датчиков, приводящую к подаче выходной или промежуточной команды, как строку лестничной диаграммы. После набора всех строк, отображающих логические связи входных, промежуточных и выходных сигналов, программатор преобразует лестничную диаграмму в совокупность внутренних команд, которая записывается в память контроллера. Затем контроллер отсоединяют от программатора и подключают к датчикам и исполнительным устройствам объекта управления. Если алгоритм управления объектом требует корректировки, технолог снова подключает программатор к контроллеру и изменяет логические зависимости выходных команд от входных сигналов.

Адаптация специализированных релейно-контактных устройств автоматики к особенностям объекта, росту производительности или повышению уровня автоматизации требует больших затрат на переделку аппаратной части. В отличие от них, один и тот же контроллер может программно перестраиваться на разные задачи и виды оборудования. Массовое производство контроллеров для разнообразных

технологических приложений повышает их надёжность и снижает стоимость. Считают, что применение контроллера целесообразно при замене более 10 реле.

Для программируемого регулирующего контроллера, управляющего непрерывными процессами, программу составляли путём соединения типовых блоков автоматического регулирования.

Недостатком контроллера является высокая скорость микропроцессорной обработки сигналов, что приводит к формированию ложных команд при появлении входных помех. Для его устранения на входах контроллера вводят реле или другие инерционные элементы.

По мере развития контроллеров их стали связывать высокоскоростными информационными линиями и объединять в распределённую сеть управления. Особенностью такой сети является открытость – возможность подключения персональных компьютеров (ПК), устройств ввода – вывода (УВВ) и дополнительных контроллеров (ПЛК) в любом месте сети (рис. 3.13).

Ввод алгоритма управления в выбранный контроллер сети осуществляют с помощью специального программного комплекса, позволяющего дистанционно выбирать и перепрограммировать контроллеры с персонального компьютера. С его помощью пользователь может создавать и согласовывать программы работы контроллеров, интегрировать распределенные устройства в сеть автоматизации, вести учет работы и диагностику оборудования.

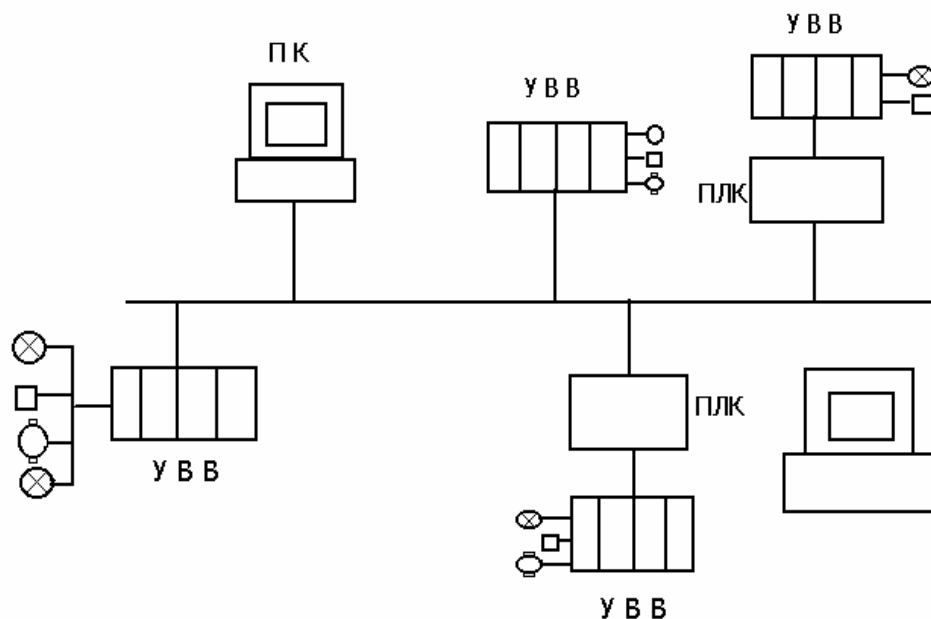


Рис. 3.13. Открытая сеть программируемых контроллеров:

ПК – персональный компьютер, УВВ – устройства ввода – вывода, ПЛК – программируемый логический контроллер

### *3.4. Промышленный компьютер*

Обычный персональный компьютер ориентирован на решение разовых задач пользователя и не приспособлен для повторения циклов управления. Промышленные компьютеры разработаны для автоматического управления технологическим оборудованием при неблагоприятных воздействиях среды: запыленности, влажности, вибрациях, грязи, ударах, колебаниях энергии и окружающей температуры. Примененные в них конструктивные решения обеспечивают повышенную устойчивость к неблагоприятной среде. В отличие от персонального компьютера промышленный компьютер не имеет материнской платы с процессором, в которую вставляют модули. Процессорный модуль, как и остальные модули, вставляют в общую плату (кросс-плату) с количеством гнезд до 20. Это позволяет быстро заменять модули, поскольку простой технологического оборудования во время ремонта устройств автоматики приносит большие убытки. На кросс-плату устанавливают разнообразные платы связи с датчиками и исполнительными устройствами.

Для защиты от пыли в системном блоке создают избыточное давление с помощью вентиляторов. Воздух всасывается через сменные фильтры. Шасси, корпус и кросс-плату защищают от вибрации амортизирующими подвесками. В клавиатуре предусматривают защиту от пыли и влажности с помощью плёночной технологии. Для мониторов применяют сенсорные экраны.

Часто промышленный компьютер вместе с монитором и клавиатурой встраивают в вертикальную панель прямо на рабочем месте. Его называют панельным компьютером. Он имеет плоский жидкокристаллический экран, процессор Pentium, ОЗУ объемом более 32 Мб, накопитель на базе программируемого Flash, контроллер связи с промышленной шиной. Панельный компьютер устанавливают на столе или поворотном кронштейне, крепят на стене. В отличие от офисного жидкокристаллического дисплея промышленный дисплей панельного компьютера обладает устойчивостью к внешним воздействиям, повышенной надежностью, большим углом обзора, упрощенным обслуживанием. Панельный промышленный компьютер отличается компактностью, низким потреблением энергии, низким уровнем излучения, наличием сторожевого таймера, сенсорным экраном. Сенсорным экраном называют такую конструкцию монитора, в которой выбор объекта осуществляется путем касания точки экрана специальной указкой или пальцем. В отличие от выбора объекта курсором мыши такое решение позволяет производителю ускорить работу с промышленным компьютером. Распознавание места касания точки экрана осуществляется резистивным, емкостным или инфракрасным методами, а также с помощью поверхностно-акустических волн или датчиков давления (табл. 5.4).

Чаще всего в промышленной автоматизации применяют резистивный и емкостный сенсорные экраны.

Таблица 5.4. Характеристики типов сенсорного экрана

Характеристика	Резистивный	Емкостный	Инфракрасный	Поверхностно-акустические волны	Датчик давления
Время отклика, мс	10	10-20	25-35	20	150-250
Ресурс касаний, млн.	35	20	Без ограничений	20	-
Пропускание света, %	75	85	100	90	100
Разрешающая способность, пиксель/дюйм	300	100	8	30	40

Емкостный сенсорный монитор имеет стекло 1, на поверхность которого нанесено тонкое прозрачное проводящее покрытие (рис. 3.14). Поверх проводящего покрытия наносят защитное покрытие 3. Вдоль краев стекла размещены печатные электроды, равномерно распределяющие низковольтное электрическое поле по покрытию. При прикосновении к защитному покрытию в точке касания образуется емкость между пальцем и проводящим покрытием, что приводит к появлению импульса тока в данной точке.



Рис.3.14. Сечение емкостного сенсорного экрана: 1 – стекло; 2 – проводящее покрытие; 3 – защитное покрытие.

Величина токов пропорциональна расстоянию от угла экрана до точки касания. Специальный контроллер отыскивает точку касания путем сравнения токов  $I_1 - I_4$ .

Технические решения, ориентированные на экстремальные условия эксплуатации, приводят к увеличению стоимости промышленных компьютеров в два-три раза по сравнению с персональными компьютерами такого же класса. Однако для многих практических задач автоматизации достаточно довольно ограниченных возможностей промышленных компьютеров. Часто все устройства промышленного компьютера размещают на одной плате, которую называют одноплатным компьютером.

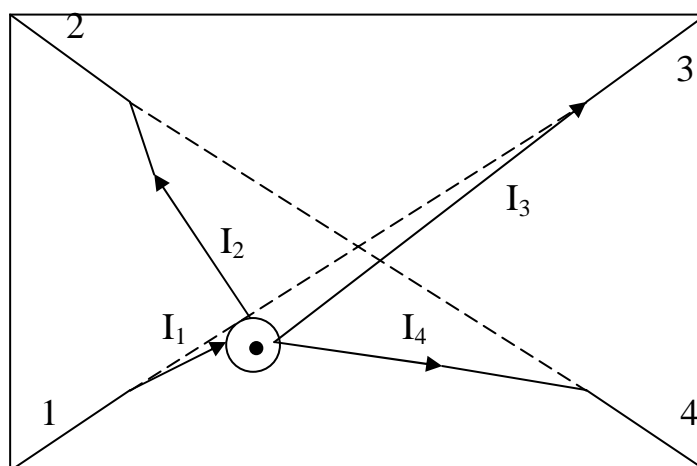


Рис. 3.15. Отыскание точки касания емкостного сенсорного экрана

Кроме конструктивных особенностей, промышленные компьютеры отличаются от персональных компьютеров некоторыми функциональными особенностями. Они должны управлять объектом в режиме реального времени, поэтому цикл управления не должен превышать интервала между изменениями параметров объекта. В компьютер встраивают развитые устройства связи с датчиками и исполнительными устройствами объекта управления. Обычное для персонального компьютера зависание может привести к катастрофическим последствиям для оборудования, управляемого промышленным компьютером. Поэтому в промышленный компьютер вводят сторожевой таймер, автоматически перезагружающий компьютер при остановке программы управления. Интервал между проверками работы промышленного компьютера сторожевым таймером устанавливают от 1 до 60 с, в зависимости от инерционности объекта управления. Для сокращения убытков от простоев производства при отказе автоматики введены многократное резервирование, защитные блокировки и автоматическая диагностика отказов. Предусмотрены программы и устройства связи с промышленными шинами верхнего и нижнего уровней.

### 3.5. Универсальный логический модуль

Перепрограммируемые логические модули появились не так давно. Они занимают промежуточное положение между релейно-контактными системами автоматики и программируемыми логическими контроллерами. В отличие от релейно-контактной системы модуль представляет собой законченную конструкцию, которая перепрограммируется на разные алгоритмы управления. С другой стороны, в отличие от программируемых контроллеров перепрограммирование модуля не требует специальной подготовки пользователя.

Программа вводится от встроенных в модуль клавиатуры и индикатора. Программу составляют из программно реализованных функциональных блоков типа И,

ИЛИ, НЕ, задержек на включение и отключение, реле с самоблокировкой и т.п. Программирование сводится к выбору блоков, заданию их характеристик и соединению в систему управления. Составленная программа управления сохраняется в энергонезависимом запоминающем устройстве. Ее можно переносить в другой модуль с помощью сменного модуля памяти. Помимо набора программы управления на встроенной в модуль клавиатуре можно составить программу в графической форме на компьютере. Для этого применяют специальное программное обеспечение и имитатор модуля. После проверки программы в имитаторе модуля ее переносят в реальный модуль.

Последние образцы универсальных модулей рассчитаны на десятки аналоговых и дискретных входов, непосредственное подключение мощных исполнительных устройств к выходам модуля. Число функциональных блоков достигает более сотни. В качестве примера применения известного универсального модуля LOGO! фирмы Siemens рассмотрим управление некоторой смесительной установкой [15]. После нажатия кнопки пуска открывается клапан V1 и резервуар начинает заполняться первым компонентом (рис. 3.16).

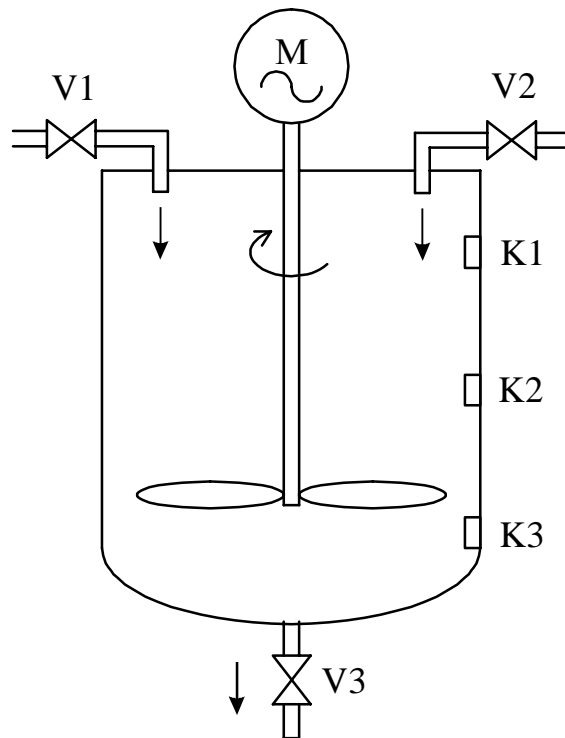
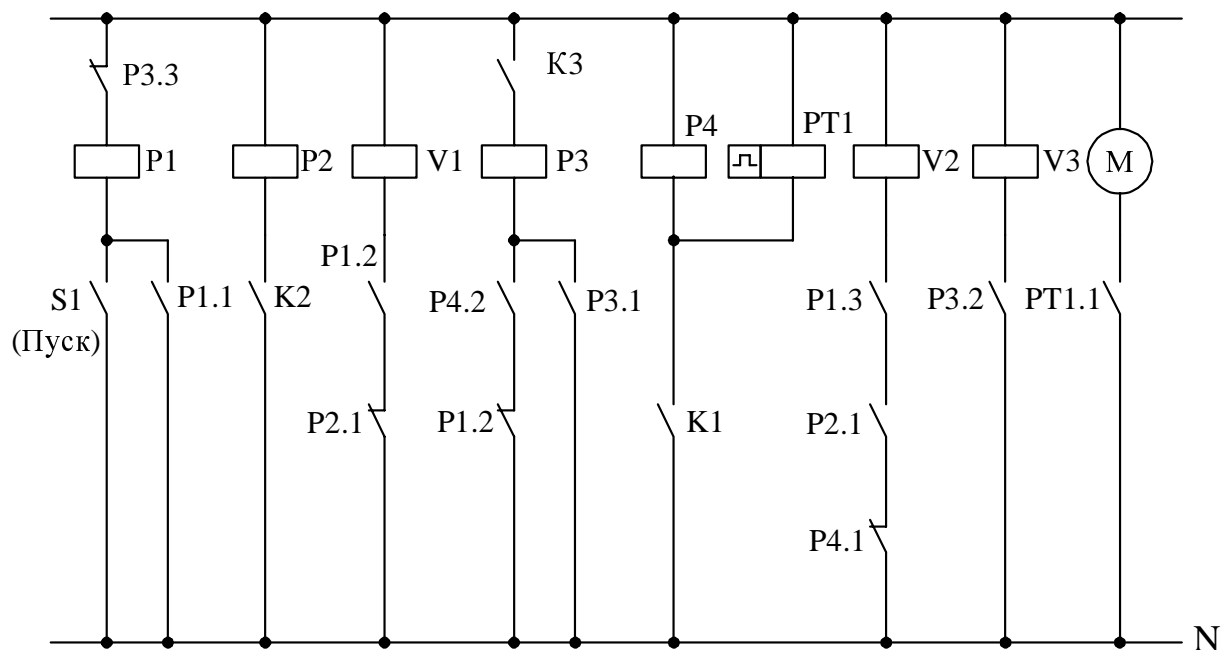


Рис. 3.16. Смесительная установка как объект логического управления

По достижении уровня 2 сигнализатор уровня K2 вырабатывает сигнал закрытия клапана V1 и открывания клапана V2. Резервуар заполняется вторым компонентом. По достижении уровня 1 сигнализатор уровня K1 подает сигнал закрытия клапана V2 и включения привода мешалки М. Через заданное время перемешивание заканчивается и открывается выпускной клапан V3. Выпуск смеси продолжается до появления сигнала на выходе сигнализатора уровня K3. Клапан V3 закрывается и начинается новый цикл приготовления смеси. Систему управления смесительной

установкой можно построить на реле (рис. 3.17). Но как изменить ее для разных рецептов и времени перемешивания?

L



N

Рис. 3.17. Релейно-контактная система управления смесительной установкой

Применение универсального логического модуля позволяет ввести в него легко изменяемую программу управления смесительной установкой. После записи программы управления к входам модуля подключают выходы сигнализаторов уровня K1, K2, K3, кнопку пуска S1 и источник питания L, N (рис. 3.18). К выходам модуля подключают контакторы включения клапанов V1, V2, V3 и привода мешалки M. Теперь можно изменять программу управления в зависимости от технологической задачи.

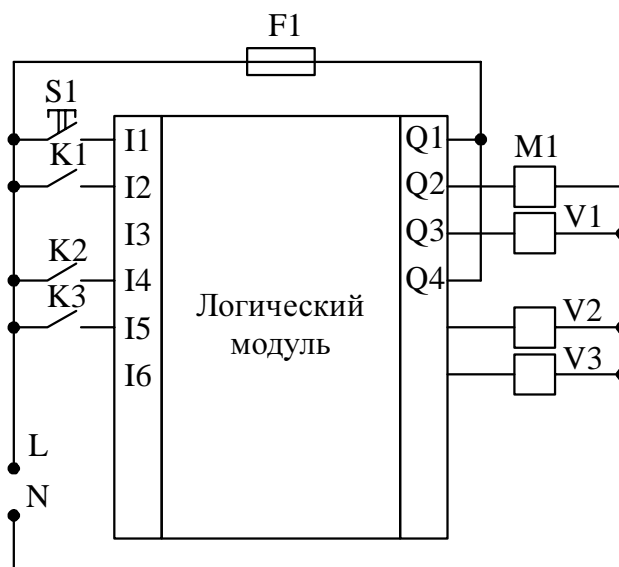


Рис. 3.18. Подключение датчиков и исполнительных устройств смесительной установки к универсальному логическому модулю

Применение универсальных модулей позволяет менять программу управления смесительной установкой в зависимости от числа, расхода, уровня и физико-химических свойств компонентов, температуры компонентов и внешней среды. Можно легко изменять рецептуру смеси и время перемешивания. Универсальный модуль можно применять для временной замены отказавших устройств автоматики с целью сокращения убытков от простоев оборудования.

### *3.5. Программирование управляющих устройств*

Для промышленных объектов автоматизации необходимы как автоматическое регулирование непрерывных процессов, так и логическое управление дискретными процессами. При переходе от аппаратных к программным устройствам управления потребовалось описание программы управления объектом на языке, понятном технологу и автоматчику. Технолог знает все особенности технологического процесса, для которого автоматчик будет составлять программу управления.

Применявшийся для дискретных процессов язык релейно-контактных схем не позволял описывать разветвления и параллельную работу единиц оборудования, а язык функциональных блоков для непрерывных процессов становился громоздким при автоматизации сложных многоканальных объектов. Стали создавать универсальные языки программирования, пригодные для описания как для непрерывных, так и дискретных процессов. Появились компиляторы, переводящие программу с универсального языка типа на язык внутренних команд программируемого контроллера. В универсальный язык вводились “входы” и “выходы” контроллера и подпрограммы с типовыми алгоритмами управления. Однако само программирование оставалось сложным для технолога, не владеющего языками программирования.

Следующим шагом стало создание языка лестничной логики, прототипом которого был понятный технологом язык релейно-контактных схем. Для некоторых объектов, например промышленных роботов, применяли метод прямого обучения, при котором оператор перемещал механический элемент с одновременной записью перемещений в устройстве управления. В режиме управления воспроизводилась записанная программа перемещений. Но задачи автоматизации усложнялись, что приводило к усложнению программ.росло число производителей контроллеров, каждый из которых разрабатывал собственный язык программирования своих контроллеров. Конечно, технолог был не в состоянии освоить все эти языки программирования.

В 1998 году Международная электротехническая комиссия ИЕС ввела стандарт программирования управляющих систем ИЕС 61131-3, включающий пять языков: два вербальных, два графических и один комбинированный (рис.3. 19).



Программа состоит из последовательности инструкций, причем каждая инструкция начинается с отдельной строки. Каждая из строк является инструкцией для контроллера. В инструкции не указывают адрес. Инструкция начинается с оператора LD (записать отмеченный операнд и установить равный ему текущий результат) и может содержать операторы: ST (присоединить текущий результат к отмеченному), R (установить булев операнд равным 1, если текущий результат равен 1), AND (логическое “И”), OR (логическое “ИЛИ”), XOR (исключающее “ИЛИ”), ADD (дополнение), SUB (вычитание), MUL (умножение), DIV (деление), GT, GE, EQ, NE, LE, LT (разные виды сравнения), JMP (перейти к метке).

После оператора в инструкции записывают операнды или переменные: %IX, %OX (булев вход/выход); %IB, %OB (кодированный вход/выход); %IW, %OW (целочисленный вход/выход); %ID, %OD (реальный вход/выход). После операнда может следовать комментарий технолога (“нагрев закончен”, “нормально открытый контакт” и др.). На языке списка инструкций можно записывать извлечение корня, взятие логарифма и подобные им операции.

2. **Структурированный текст (ST – Structured Text)** является высокоуровневым текстовым языком программирования типа Pascal с широкими возможностями структуризации (рис. 3.21).

```

ST1
===== Structured Text Start =====
VAR
  TIMER : TON;
END_VAR

TIMER(IN := NOT pulse,
      PT := t#1s); (* Blink timer
pulse := TIMER.Q;

(* Count every pulse *)
IF pulse = 1 THEN
  count := count + 1;
END_IF;
(* Animate lights according to count
CASE count OF
  1: out1 := TRUE;

```

Рис.3.21. Пример программы на языке структурированного текста (ST)

Программу записывают в виде текста с возможностью редактирования стандартными средствами MS Word. Она описывает последовательность состояний, каждое из которых вводится несколькими линиями или набором состояний в одной линии. Применяют следующие виды состояний: назначение, вызов функции, вызов функционального блока, разветвление (IF – если, CASE – в случае), циклы (FOR – для, WHILE – пока, REPEAT -повторить, EXIT – выйти). Приведём примеры состояний.

Назначение:  $A := B$ ;  $CV := CV + 1$ ;  $Y := \cos(x)$   
 Разветвление: IF  $D < 0.0$  THEN Number\_Lsg:=0  
 CASE voltage OF  
   101...200 : View:= too large  
   20...100 : View:= large  
   2...19 1 TO 5 DO  
   sum:= s: View:= normal

Циклы: FOR I:= um + 1

Встроенный редактор позволяет выявлять ошибки, вводить элементы других стандартных языков.

**3. Функционально-блочная диаграмма (FBD – Function Block Diagram)** представляет работу контроллера в виде элементарных функциональных блоков, которые соединяют связями. Порядок работы блоков задает потоком данных через контроллер. Каждая часть контроллера может иметь любое число блоков, входов и выходов. Функциональный блок может быть трёх видов: элементарная функция (блок), порядок исполнения, назначение и исполнение (3.22.).

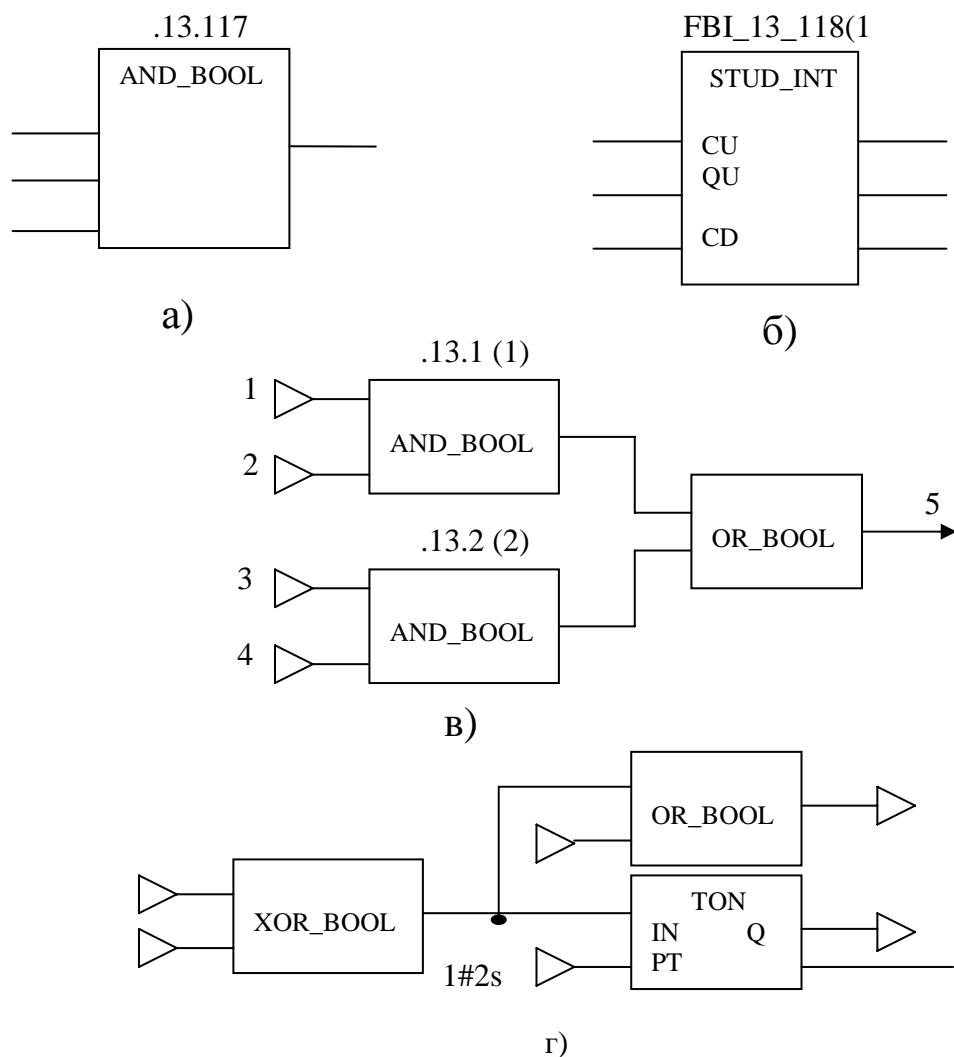


Рис. 3.22. Функциональные блоки:  
 а - элементарная функция; б - элементарный блок;  
 в - порядок исполнения; г - назначение и исполнение

Элементарной функцией EFB называют преобразователь с входами и выходами, не имеющий внутреннего состояния (рис.3.22,а). Внутри преобразователя указывают вид функции, вверху - номер преобразователя. Элементарная функция-блок имеет внутреннее состояние. Внутри блока указывают его тип, вверху - номер секции, затем номер объекта в секции (рис.3. 22 ,б).

Порядок исполнения описывает размещение элементарных блоков (рис. 3.22,в). Назначение и исполнение описывают включение или отключение отдельных порядков исполнения по командам в программе (рис.3.22,г) по принципу “не работающий сейчас блок не участвует в программе”.

Входы и выходы системы управления отмечают треугольниками.

Программу составляют на экране путем захвата и перетаскивания элементов из библиотеки на поле построения программы (рис. 3.23).

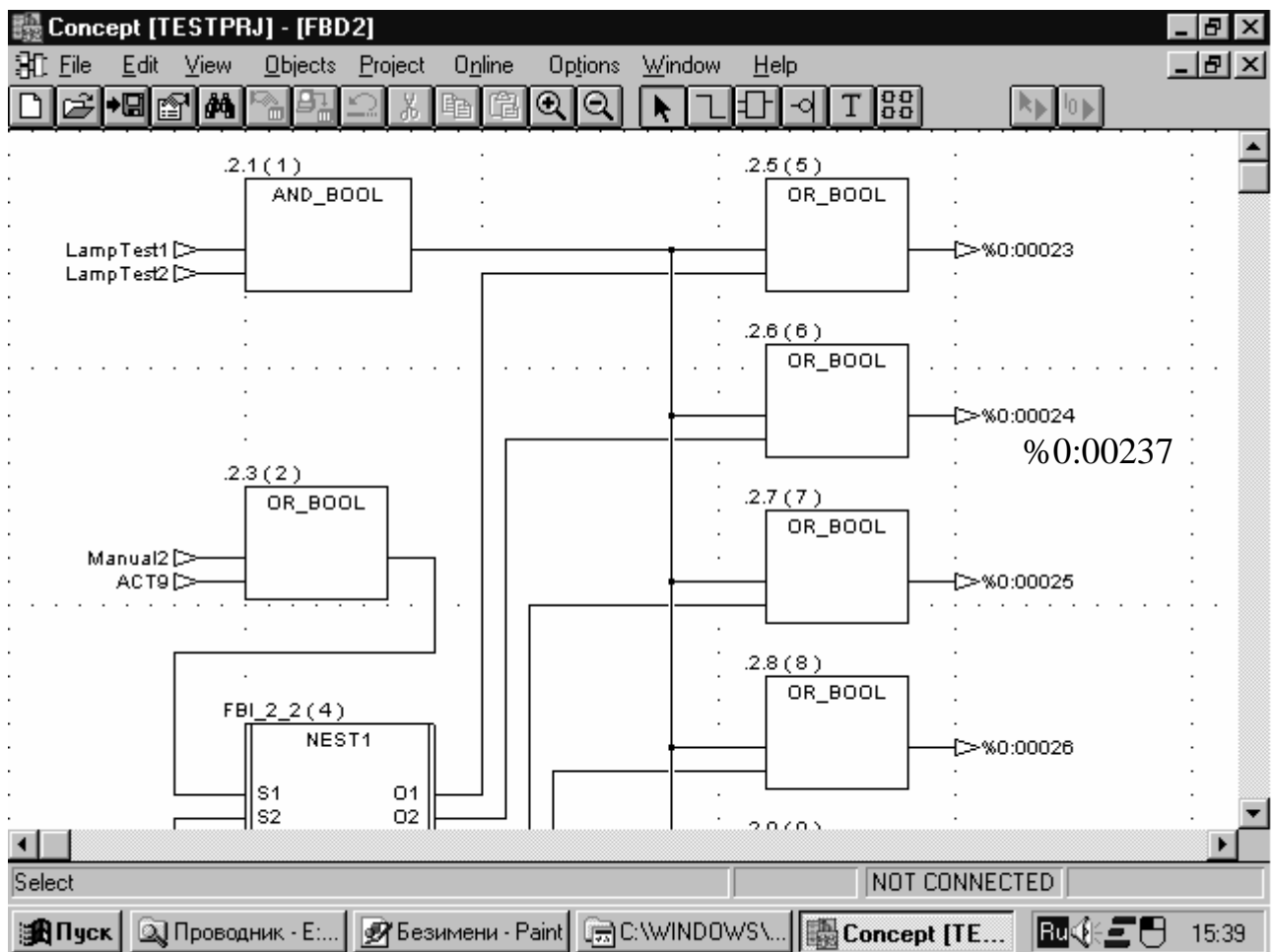


Рис. 3.23 . Пример программы на стандартном языке функционально-блочных диаграмм (FBD)

3. **Лестничная диаграмма (LD – Ladder Diagram)** развивает распространенный язык лестничной логики, в котором рисовали правую и левую шины пита-

ния, контакты, обмотки реле, функциональные блоки, горизонтальные и вертикальные линии. С левой стороны рисуют вертикальную шину. Можно представить, что к ней подводится один полюс напряжения. Последним элементом справа рисуют кружок, означающий исполнительный элемент (обмотка реле или электрогидрораспределителя, индикатор или сигнализатор). Вторая вертикальная шина не проводится.

На рис. 3.24 простая релейная схема представлена в виде лестничной диаграммы. Кнопкой  $S_1$  включают контактор  $K_1$ . Его контактами включается контактор  $K_3$ , который включает индикатор  $H_1$ . При повторном нажатии кнопки  $S_1$  включается контактор  $K_2$ . В этом случае контактор  $K_3$  и индикатор отключаются. На языке лестничной диаграммы элементам схемы присваивают номера согласно табл. 3.6.

Таблица 3.6. Соответствие элементов релейно-контактной схемы и лестничной диаграммы на рис. 3.24

Элемент	Номер	Комментарий
$S_1$	1:00001	Нормально разомкнутая кнопка
$K_1$	0:00304	Контактор 1
$K_2$	0:00305	Контактор 2
$K_3$	0:00306	Контактор 3
$H_1$	0:00307	Индикатор

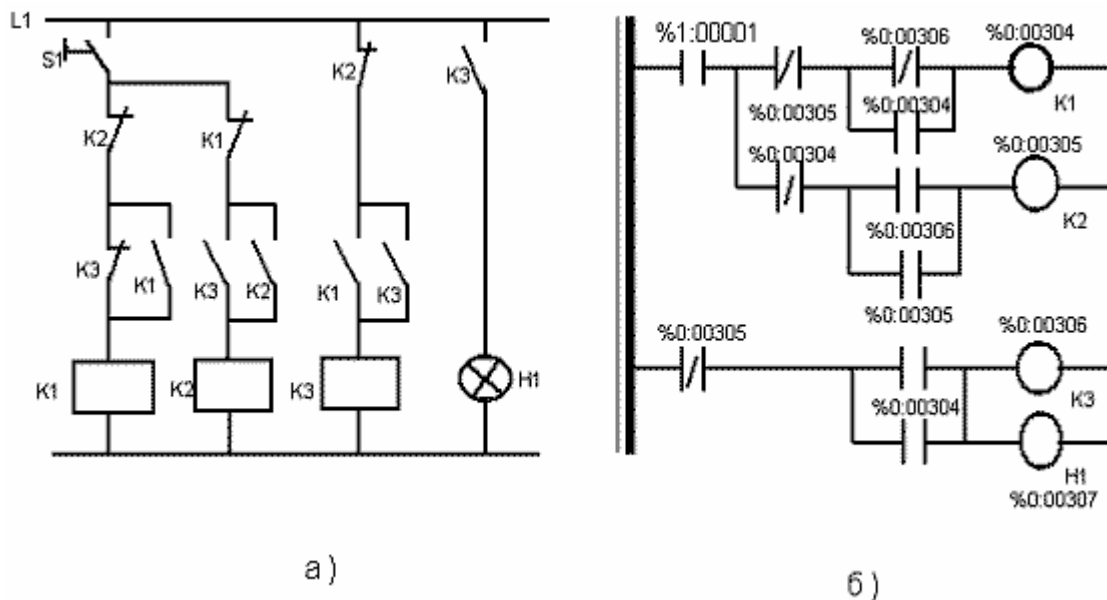


Рис. 3.24. Описание релейно-контактной схемы (а) в виде лестничной диаграммы (б)

В лестничной диаграмме могут быть 4 вида контактов (нормально открытый, нормально закрытый, с памятью на включение, с памятью на отключение) и 6 видов обмоток (простая, инверсная, с сохранением включенного или отключенного состояния, с памятью единичного или нулевого предыдущего сигнала). Лестничная

диаграмма может также содержать функциональные блоки, формирующие выход согласно своей функции или цепи подключённых к ним контактов (рис.3.25).

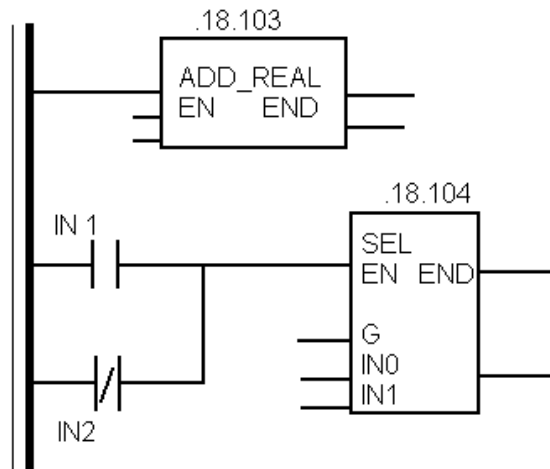


Рис. 3.25. Функциональные блоки в лестничной диаграмме

Как и в языке функционально-блочных диаграмм, программу на языке LD составляют путем перетаскивания элементов языка на поле построения программы (рис. 3.26).

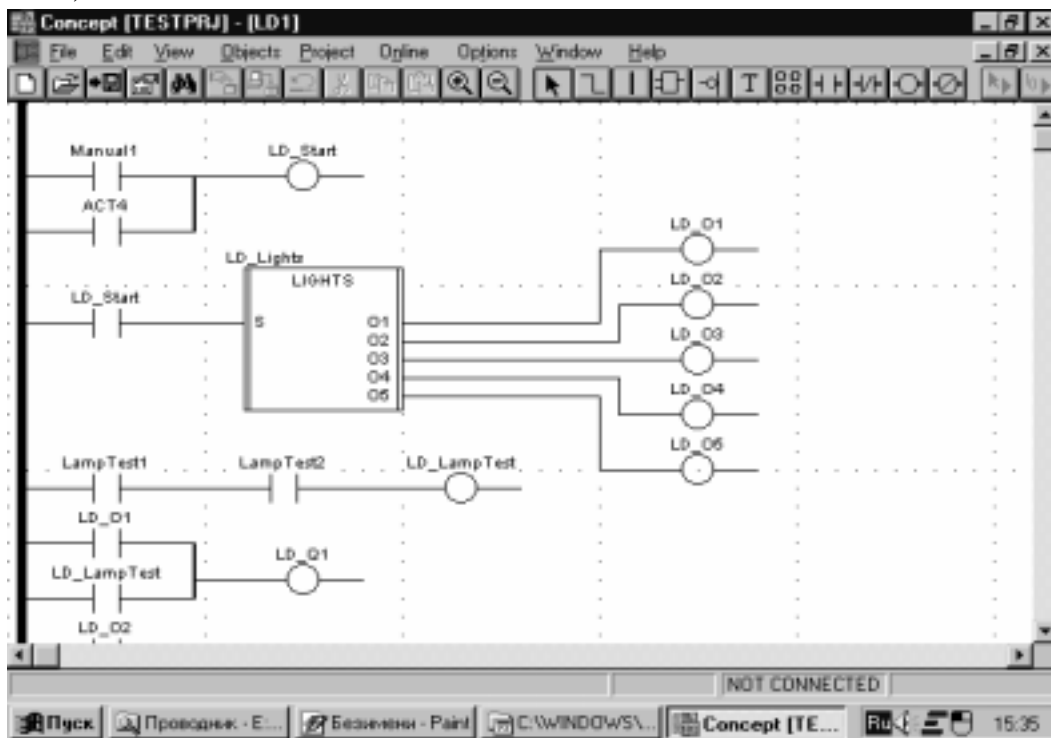


Рис. 3.26. Пример программы на языке лестничных диаграмм (LD)

5. **Диаграмма последовательных функций (SFC – Sequential Function Chart)** представляет процесс в виде последовательности шагов программы в со-

ответствии с шагами управляемого процесса. Для каждого шага можно задавать время исполнения. Между смежными шагами имеется переход, открываемый при выполнении некоторого логического условия, например после срабатывания датчика конечного положения. Шаги и переходы дополняются комментариями. Программа на языке SFC ориентирована на процесс и включает две составляющие:

- последовательность исполнения (линейная, с разветвлением, с переходом, с петлёй);
- выполняемые действия (незакрывающие, закрывающие, с временной задержкой, с ограничением времени, пульсирующее и т.д.).

Диаграмма последовательных функций содержит:

- шаги, показывающие состояние управления процессом;
- переходы, показывающие завершение операции;
- условные переходы, показывающие выполнение некоторого условия и разрешающие следующий шаг;
- механические связи, соединяющие шаги и переходы;
- альтернативные ответвления, удовлетворяющие логическому “ИЛИ”;
- параллельные ответвления, показывающие одновременное выполнение операций;
- пропуски шагов, петли и действия.

В качестве примера опишем процесс подачи заготовок на конвейер на языке SFC (рис.3.27).

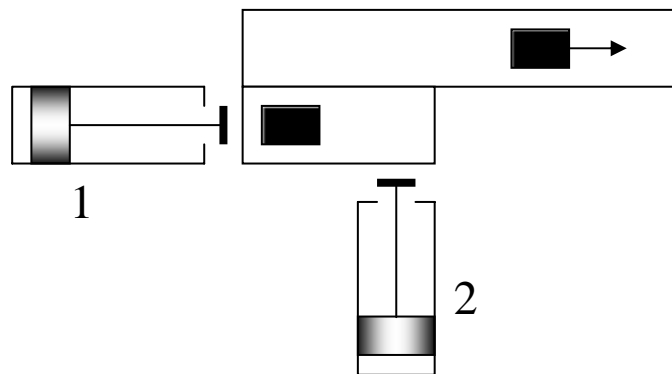


Рис.3.27. Процесс подачи заготовок на конвейер

Сначала заготовка находится в накопителе. Из накопителя её выталкивает шток гидроцилиндра 1, а шток гидроцилиндра 2 перемещает заготовку на конвейер. Затем этот шток вдвигается в корпус гидроцилиндра 2, после чего вдвигается шток гидроцилиндра 1.

Диаграмма последовательных функций содержит 8 шагов (рис.3.28). Справа от каждого шага показаны выполняемые действия

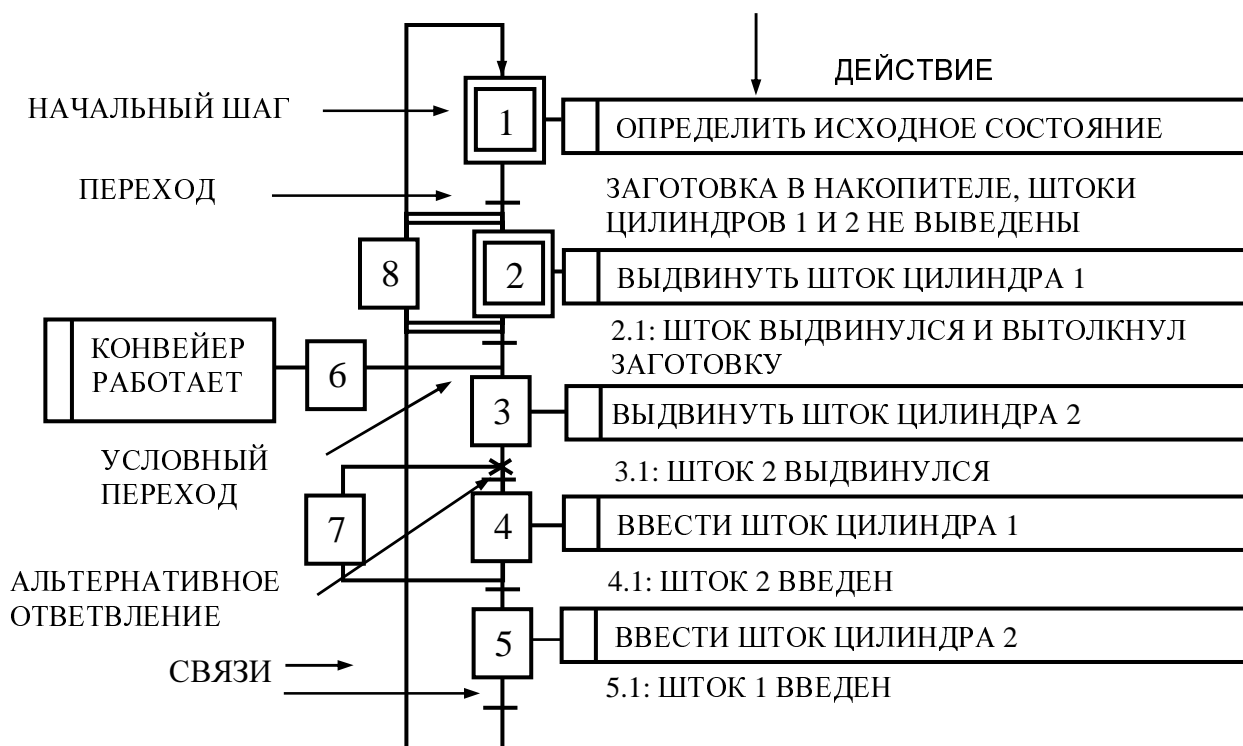


Рис.3.28. Программа управления подачей заготовок на языке диаграмм последовательных функций SFC

Пример программы, разработанной на языке SFC, показан на рис. 3.29.

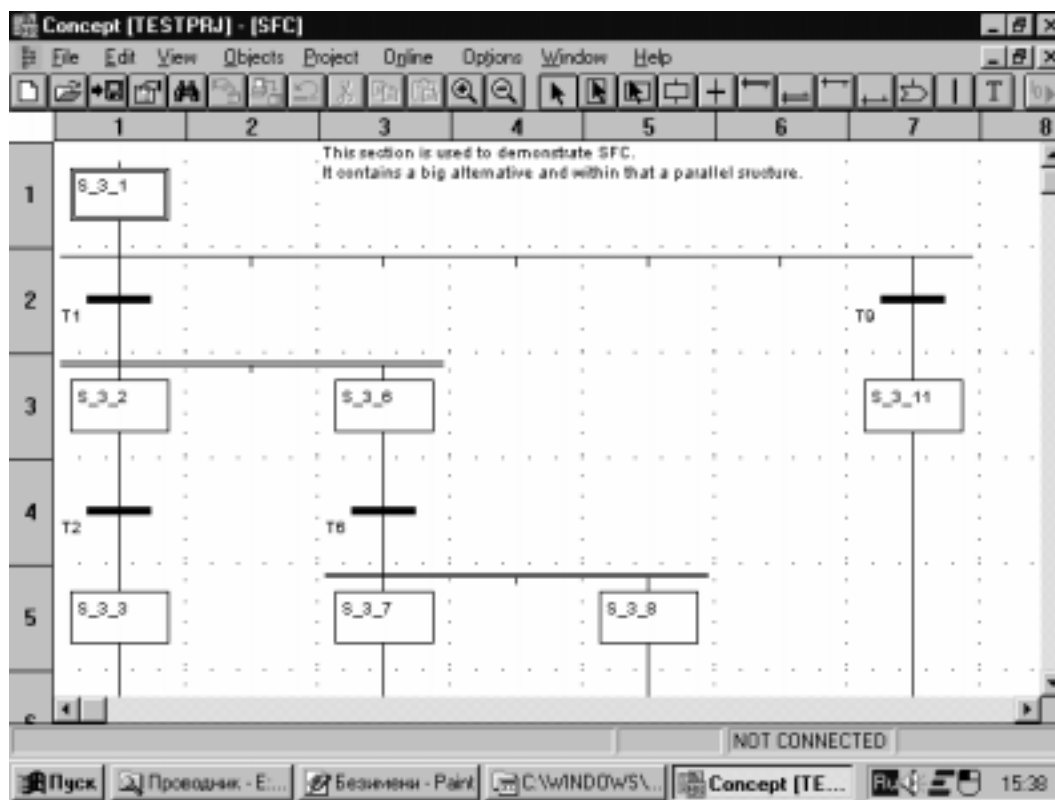


Рис. 3.29. Пример программы, разработанной на языке диаграмм последовательных функций (SFC)

Сопоставим возможности языков программирования управляющих систем стандарта IEC 61131-3. Язык диаграмм последовательных функций SFC применяют для структуризации процесса, в то время как другие языки отображают реализацию переходов и шагов. Графические языки функционально – блочных диаграмм FBD и лестничных диаграмм LD не позволяют непосредственно вводить обходы и условия. Кроме того, лестничные диаграммы ориентированы на описание дискретных процессов. Текстовые языки списка инструкций IL и структурированного текста ST не предусматривают ввод состояний на входах и выходах. В отличие от языка списка инструкций структурированный текст не позволяет вводить обходы позиций, в то время как список инструкций не предусматривает петлевых операций с операторами типа “для”, “пока”, “повторить”.

Для примера опишем простую релейно-контактную схему (рис. 3.30) на четырёх языках стандарта IEC 61131-3 (рис. 3.31). Если нажать кнопку  $S_1$ , то включается контактор  $K_1$ . Он замыкает свои нормально открытые контакты  $K_1$ , поэтому остаётся включённым, если кнопка  $S_1$  отпущена. Другой кнопкой  $S_2$  с нормально закрытым контактом контактор  $K_1$  отключается от сети. Элементы схемы обозначены в табл.3.7.

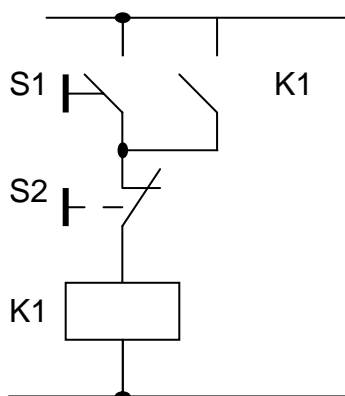


Рис. 3.30. Пример релейно-контактной схемы

Таблица 3.7. Обозначения элементов релейно-контактной схемы на рис. 3.20

Переменная	Обозначение		Комментарий
	по FBD и LD	по IL и ST	
S <sub>1</sub>	%1:1	%IX 1	Кнопка с нормально открытыми контактами
S <sub>2</sub>	%1:2	%IX 2	Кнопка с нормально закрытыми контактами
K <sub>1</sub>	%0:5	%QX 5	Контактор

При программировании контроллера технолог выбирает любой из пяти языков стандарта IEC 61131-3 и описывает на нем программу управления объектом автоматизации. Эту работу можно ускорить, если использовать специальное программное обеспечение, например Concept 2.0. После выбора языка технолог строит и редактирует программу управления объектом путем выбора элементов языка из встроенной библиотеки, переноса их на поле построения программы и соединения линиями. Он может вводить комментарии к работе алгоритма. Логические противоречия и другие ошибки выявляются встроенным редактором. Записанный алгоритм с помощью транслятора переводят на внутренний язык применяемого контроллера. В современные системы программирования встроены имитаторы программируемых логических контроллеров, на которых можно проверять алгоритмы управления до программирования реального контроллера. Предусмотрен свободный обмен базами данных, используемыми при программировании. После отладки алгоритма на имитаторе программу записывают в реальный контроллер.

Соединение контроллеров в распределенную сеть управления, к которой присоединен персональный компьютер технолога, позволяет реализовать дистанционное программирование удаленного контроллера.

Распространенный инструментальный пакет UltraLogik (рис.3.32) предназначен для программирования логических контроллеров, обеспечивающих сбор данных и управление технологическими процессами [16].

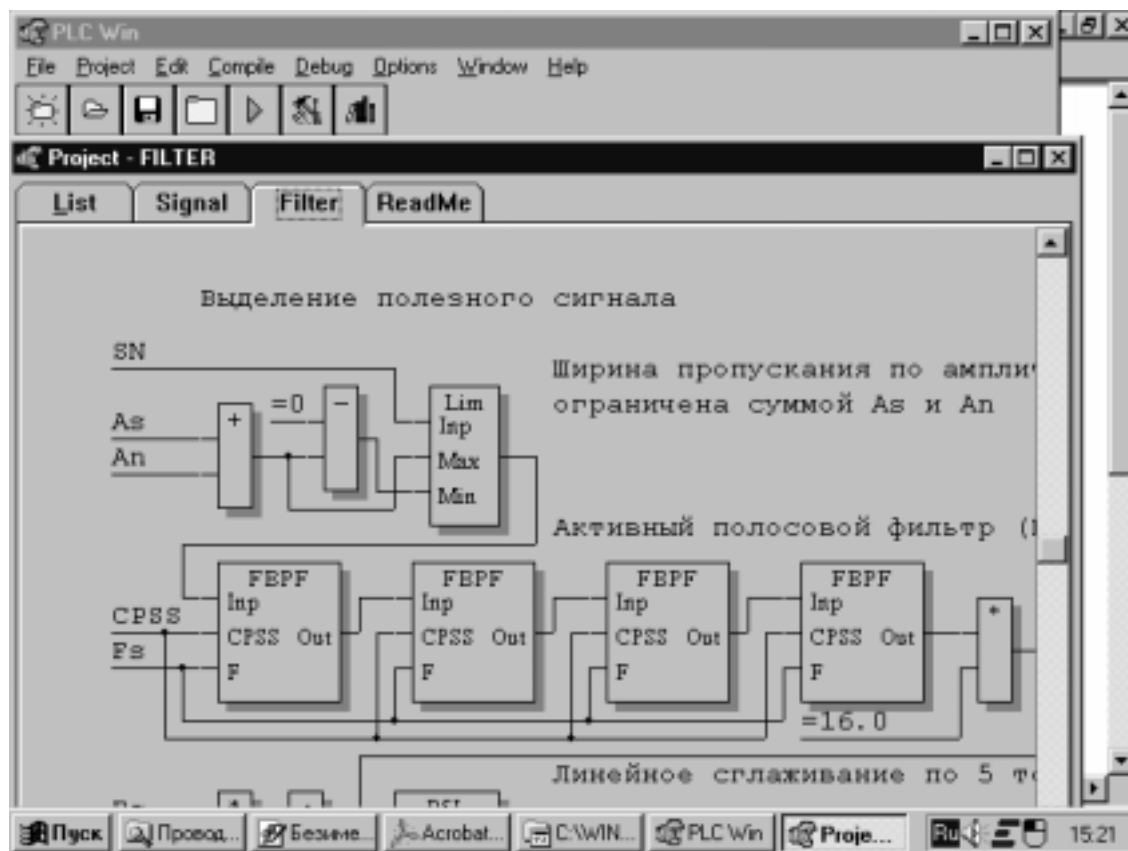


Рис. 3.32. Пример формирования программы работы контроллера в среде UltraLogik

В нём используется стандартный язык функциональных блочных диаграмм (FBD). Процесс дистанционного программирования состоит из этапов:

- выбор функциональных блоков из встроенной библиотеки и их размещение на экране;
- соединение входов и выходов блоков;
- конфигурация входов и выходов контроллера по условиям технологического процесса;
- проверка программы на встроенном имитаторе контроллера;
- корректировка алгоритма;
- пересылка программы к выбранному контроллеру.

В UltraLogik входят: библиотека модулей ввода / вывода контроллеров, библиотека алгоритмов сбора данных и управления, средства выхода в сети Archnet, Ethernet, RS-485, отладчик-осциллограф. UltraLogik использует взаимодействие ведущих и ведомых устройств управления через сеть с протоколом RS-485 с числом узлов до 255 (рис. 3.33).

Устройства визуализации отображают управление исполнительными устройствами, осуществляемое с помощью контроллеров. Они присоединены к сети че-

рез преобразователи протоколов RS-485/RS-232 и могут отображать текущие данные с любых устройств.

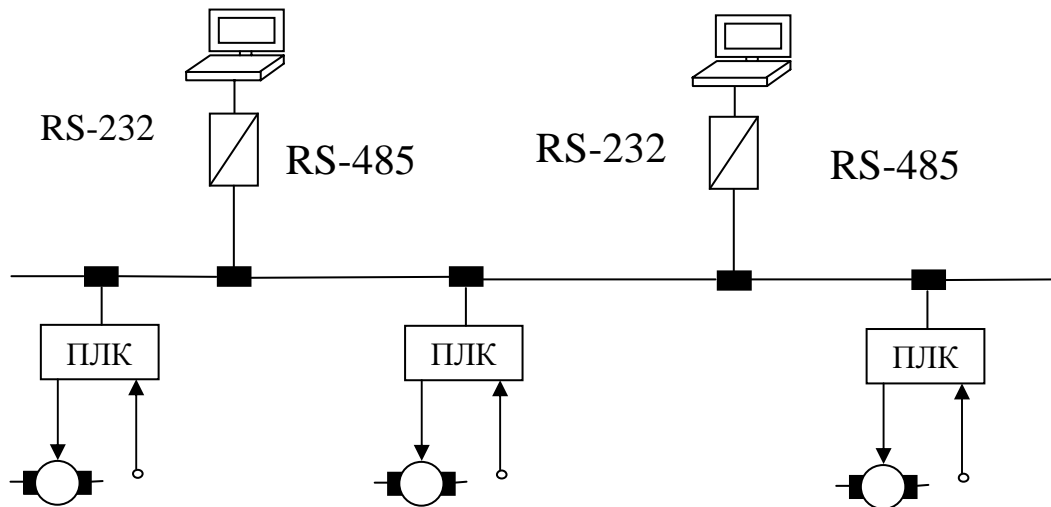


Рис. 3.33. Структура взаимодействия контроллеров ПЛК и средств визуализации данных

Программирование ведут в следующей последовательности.

1. *Заполнение таблиц переменных величин.*

Переменные делят на 4 вида:

- константа – устанавливается один раз;
- входная – привязана к входу контроллера;
- выходная – привязана к выходу контроллера;
- сетевая – передается другим контроллерам или на верхний уровень.

Через эти переменные выполняются команды: включить/выключить, принять сигнал датчика, передать информацию на верхний уровень и т.п.

2. *Конфигурирование контроллера.*

Осуществляется подобно заполнению анкеты. В появляющихся окнах пользователь отмечает то, что ему требуется от контроллера: тип модуля, наличие локальной сети и сторожевого таймера, номенклатуру модулей входа/выхода

3. *Привязка переменных к входам и выходам контроллера.*

Проектировщик присваивает имена переменных входам и выходам контроллера.

4. *Разработка алгоритмов управления.*

С помощью графического редактора пользователь вызывает из библиотеки и соединяет между собой функциональные блоки на языке FBD из IEC 61131-3. Предусмотрено отображение последовательности работы функциональных блоков в виде иерархического дерева.

5. *Компиляция проекта.*

Кнопкой на панели инструментов запускают компилятор, который преобразует соединение функциональных блоков в объектный файл. Одновременно компилятор проверяет наличие ошибок в написанной программе.

6. *Отладка программы*

Система имитирует работу контроллера в пошаговом и непрерывном режимах. Режим используется для первоначальной отладки алгоритма или обучения без реального объекта. Объект заменяется его моделью в виде программы. Модель принимает сигналы управления и имитирует поведение объекта.

7. *Загрузка программы в контроллер.*

Если контроллеры соединены в сеть, подключенную к компьютеру, то включается режим удалённой загрузки программ.

### *ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 3*

1. Что объединяет мехатроника? Приведите примеры мехатронных устройств.
2. Чем робот отличается от других механизмов?
3. Чем отличаются программные, адаптивные и интеллектуальные роботы?
4. Какие задачи выполняют манипуляционные, мобильные, информационные и управляющие роботы?
5. Как соединяют звенья манипулятора в цилиндрической, сферической, угловой и прямоугольной системах координат?
6. Как контролируют движение механического элемента при цикловом, позиционном и контурном управлении?
7. Дайте определения степени подвижности, погрешности позиционирования, погрешности обработки траектории, рабочей зоны и зоны обслуживания промышленного робота.
8. Чем прямая задача кинематики манипуляторов отличается от обратной задачи?
9. Как работает волновой редуктор?
10. Как пневмопривод, гидропривод и электропривод обеспечивают перемещение механических элементов?
11. Какую функцию выполняют программноносители? Как они развивались?
12. Чем программируемый контроллер отличается от персонального компьютера? Для чего его применяют?
13. Как устроен программируемый контроллер?
14. Зачем и каким образом преобразуются сигналы датчиков при вводе в контроллер?
15. Как описать релейно-контактную схему на языке лестничных диаграмм?
16. Для чего программируемые контроллеры объединяют в открытую сеть?
17. Чем промышленный компьютер отличается от персонального компьютера?
18. Какие языки программирования устройств управления входят в стандарт ИЕС 61131-3? Чем они отличаются от универсальных языков типа Фортран?
19. Чем вербальные языки программирования отличаются от графических?
20. Как технолог осуществляет дистанционное программирование контроллера ?

## Глава 4. Диспетчерское управление

### 4.1. Традиционная диспетчеризация и системы SCADA

В традиционных системах диспетчеризации перед оператором устанавливали большой щит с мнемосхемой технологического процесса (рис.4.1,а). Состояние каждой единицы оборудования отображалось световыми индикаторами, соединенными с датчиками на объекте. Анализируя работу оборудования, диспетчер подавал команды на исполнительные устройства объекта. Создание диспетчерского пульта и устройств связи с датчиками для каждого процесса, а также необходимость специального подбора и обучения диспетчеров требовали больших затрат. С целью снижения затрат пульт составляли из стандартных модулей, вели отбор диспетчеров, разрабатывали компьютерные системы поддержки решений диспетчера.

Датчики, распределенные на объекте управления, снимают информацию о состоянии объекта и передают ее локальным устройствам автоматического управления оборудованием. Появилась идея обобщить эту информацию и показать ее на мнемосхеме технологического процесса, нарисованной на экране персонального компьютера диспетчера (рис.4.1,б). Стали развиваться графические редакторы, с помощью которых сигналы датчиков отображаются на компьютерной мнемосхеме процесса в виде текущего состояния оборудования. Эти же сигналы обобщают, архивируют и оценивают с позиции эффективности управления производством. Так появились и стали быстро развиваться системы обобщенного контроля и приобретения данных SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) [17]. Это специальное программное обеспечение, позволяющее:

- отображать весь технологический процесс и его части на мониторе диспетчера;
- представлять количественные данные о работе оборудования;
- архивировать данные о показателях процесса;
- распознавать предаварийные ситуации;
- рекомендовать диспетчеру последовательность действий в аварийной ситуации.

В SCADA-системах стало возможным детализировать данные о работе любого участка процесса, оценивать себестоимость продукции, распознавать начало аварии по совокупности признаков, перепрограммировать удаленные устройства управления, контролировать действия диспетчера, сопоставлять текущие и прошлые показатели процесса.

Под приобретением данных в SCADA-системе понимается преобразование сигналов датчиков с целью получения новой информации, которая не была нужна для управления оборудованием, но стала нужна для управления производством. Например, для контроля работы и управления единицей оборудования на уровне программируемых контроллеров (PLC) используется датчик включения некоторого двигателя. Сигнал датчика, выведенный на монитор, используется для суммирования времени включенного состояния единицы оборудования, кото-

рое необходимо для учета расхода энергии и выработанного ресурса оборудования. Эти данные не были нужны для управления единицей оборудования, но необходимы для оценки себестоимости продукции и планирования ремонтов оборудования.

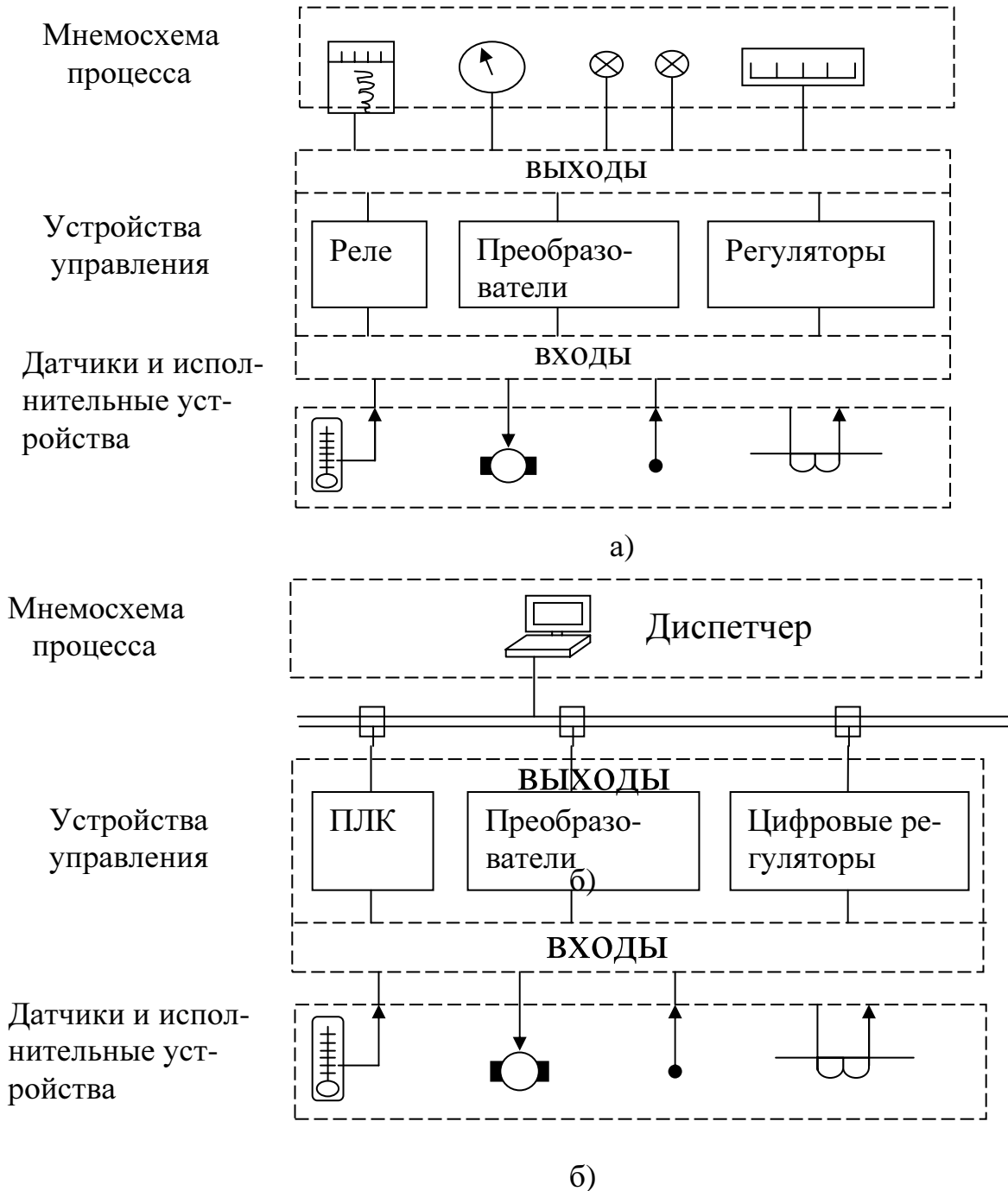


Рис.4.1. Системы диспетчеризации производства:  
а – традиционная; б – SCADA

Система SCADA содержит (рис. 4.2):

- удаленные терминалы RTU (Remote Terminal Units) – датчики состояния оборудования, исполнительные устройства и программируемые логические контроллеры (ПЛК), обеспечивающие управление оборудованием в реальном времени;
- главный терминал MTU (Master Terminal Unit) или диспетчерский пункт управления, осуществляющий обработку данных о процессе для диспетчера и преобразование команд диспетчера в сигналы управления объектом;
- коммуникационная система CS (Communication System) – канал связи главного и удаленных терминалов.

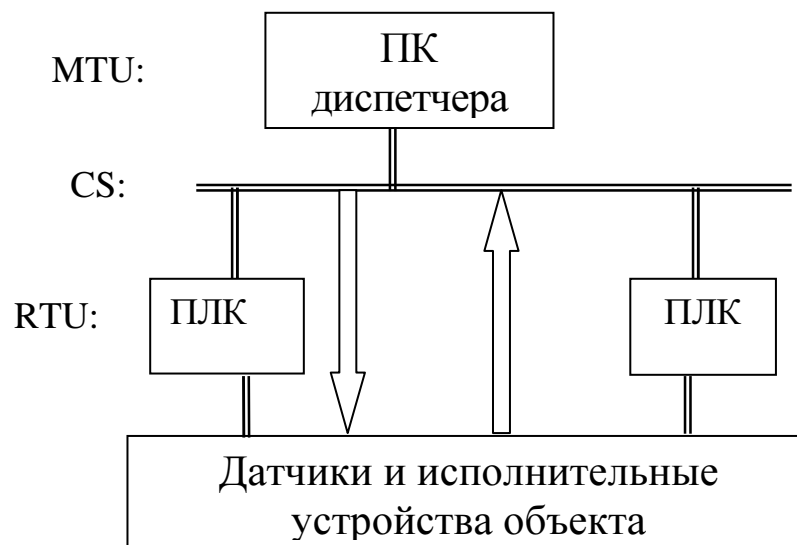


Рис. 4.2. Структура системы SCADA

Удаленный терминал RTU представляет собой программируемый логический контроллер или промышленный компьютер, управляющий единицей оборудования. Соединение главного и удаленных терминалов промышленными шинами позволило подключать компьютер к шине на любом участке предприятия с целью наблюдения за процессом, диагностики отказов оборудования, обмена информацией с менеджерами или поставщиками оборудования.

Главный терминал MTU содержит :

- человеко-машинный интерфейс MMI (Man-Machine Interface) , иногда называемый HMI (Human- Machine Interface);
- систему управления базами данных (Data Management);
- систему связи со стандартными промышленными шинами (Networking and Services);
- службы реального времени (Real-Time Service).

Коммуникационная система CS представляет собой стандартную промышленную шину с передачей информации на расстояние до 90 км со скоростью до 12 Мбит/с.

Отображение состояния оборудования на мнемосхеме технологического процесса требует предварительного преобразования электрического сигнала датчиков на единице оборудования в команды управления визуальным отображением. Сначала для этого использовали стандартный протокол DDE (Dynamic Data Exchange) или собственный протокол разработчика. Стандартный протокол имеет ограничения по производительности и надежности при работе в режиме реального времени, а протокол разработчика делает систему автоматизации непригодной для подключения устройств других фирм. Для решения этих проблем был разработан стандарт OPC (OLE for Process Control), регламентирующий процедуру обмена данными между техническими устройствами автоматизации и программой отображения технологической информации на мониторе диспетчера. Он представляет собой известный стандарт связывания и внедрения объектов OLE (Object Linking and Embedding), ориентированный на диспетчеризацию процесса. Различают OPC-сервер и OPC-клиент. OPC-клиент – это одно из приложений системы SCADA, которое может получать информацию от устройств автоматизации разных производителей, совместимых со стандартом OPC. OPC-сервер представляет собой преобразователь электрического сигнала технического устройства в информационное сообщение, пересылаемое по каналу связи OPC-клиенту (рис. 4.3). Разработчики технических устройств автоматизации стараются оснащать их OPC- серверами для использования в системах SCADA. Благодаря этому система становится открытой – способной работать с любыми присоединяемыми устройствами и программами пользователя. В некоторые системы SCADA введены средства написания OPC- интерфейса для связи с периферийными устройствами и возможности встраивания прикладных программ (ActiveX).

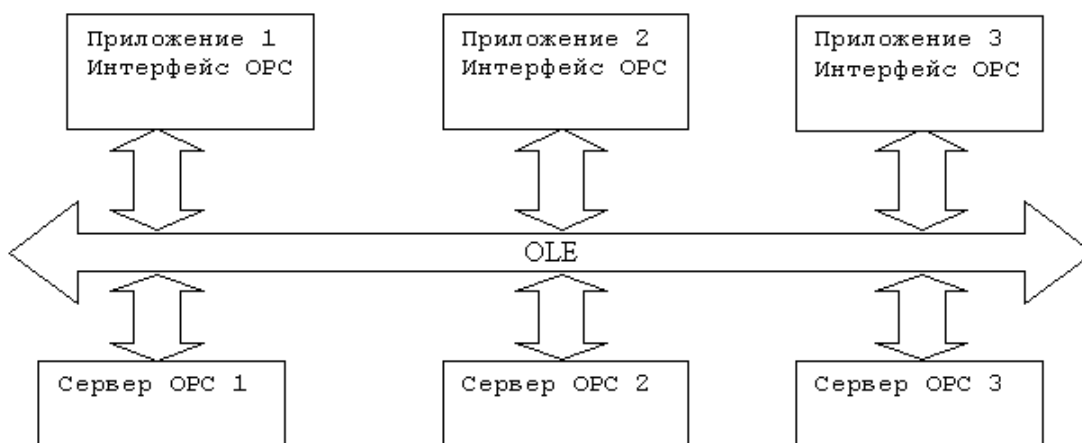


Рис. 4.3. Взаимодействие серверов и приложений по стандарту OPC в системе SCADA

Общими для всех систем SCADA функциями являются :

- сбор текущей информации о работе оборудования с датчиков и контроллеров;
- первичное преобразование собранной информации;
- сохранение текущей информации;
- представление текущей и хранящейся информации в виде гистограмм, таблиц, графиков;
- печать отчетов и протоколов о работе единиц оборудования;
- передача и ввод в устройства управления команд диспетчера;
- использование текущей информации для решения задач управления производством;
- организация связи с устройствами, подключенными к информационной сети.

Для обеспечения безопасности и надежности диспетчерского управления процессом SCADA – система должна удовлетворять требованиям:

- никакой единичный отказ оборудования не должен приводить к выдаче ложной команды управления;
- никакая единичная ошибка оператора не должна приводить к выдаче ложной команды управления;
- все операции управления должны быть интуитивно понятны диспетчеру.

Особенно эффективно применение систем SCADA для объектов, в которых технологические процессы должны контролироваться человеком, неправильное воздействие на объект может привести к катастрофическим последствиям, в нормальных условиях иногда требуется корректировать управление оборудованием, оператор несет ответственность за ход производства, но его вмешательство в процесс происходит редко, за исключением непредвиденных ситуаций, в непредвиденных ситуациях время принятия решений оператором ограничено секундами и минутами. К ним относятся: управление энергосистемами, машиностроение, выработка электроэнергии, водозабор, водоочистка и водораспределение, добыча, транспортировка и распределение нефти и газа, управление космическими объектами, управление воздушным, железнодорожным, автомобильным или водным транспортом, содержание зданий, военные задачи.

В 90-х годах появились системы SCADA, работающие в среде Windows. Наиболее известны пакеты Genesis 32 (“Iconics”, USA), Factory Suite (“Wonderware”, USA), Genie (“Advantech”, USA). В России разработана система Trace Mode (AdAstra). Такие системы обеспечивают: наглядную информацию о ходе производства, отображение состояния приводов и технологического оборудования, детализацию выбранных диспетчером частей процесса, расчет показателей процесса в динамике и вывод обобщенной информации в виде графиков, таблиц или рисунков, распознавание предаварийных и анализ аварийных ситуаций с рекомендациями последовательности действий диспетчера, возможность управления исполнительными устройствами объекта с пульта диспетчера, создание архива

аварий, событий и поведения процесса во времени, защиту от неразрешенного доступа к сбору информации и управлению.

Во всех SCADA-системах предусмотрены рисование объектов, ввод стандартных законов регулирования и алгоритмов управления, подключение нестандартного оборудования, моделирование процесса. Встроенный графический редактор позволяет рисовать мнемосхему процесса в статике, представлять работу в динамике и вводить желаемое отображение технологических параметров. Одновременно развиваются возможности технических средств SCADA.

#### 4.2. Человеко-машинный интерфейс

Диспетчер – это опытный инженер-технолог, досконально знающий процесс производства. В его обязанности входят слежение за правильным ходом производства, распознавание предаварийных ситуаций и оперативное вмешательство в производство при авариях. Диспетчер планирует, какие действия необходимо выполнить, программирует контроллеры для этих действий, оценивает результаты автоматического управления, вмешивается в процесс для корректировки управления или предотвращения аварий, накапливает опыт диспетчеризации. От него нельзя требовать знания универсальных языков программирования (FORTRAN, Pascal и т.п.).

По мере усложнения объектов автоматизации диспетчеру становилось все труднее управлять процессом. Расследование причин аварий на производстве показало, что если в 60-х годах ошибки диспетчера были причиной 20 % аварий, то в 90-х годах доля человеческого фактора выросла до 80 % (рис.4.4). Остальные 20 % приходились на долю отказов оборудования [18]. К этому привела недооценка важности человеко-машинного интерфейса в системах управления. В отличие от компьютера человек неспособен действовать без ошибок в редко встречающихся ситуациях и архивировать информацию о прошлой работе оборудования. Зато он может творчески перерабатывать текущую информацию.

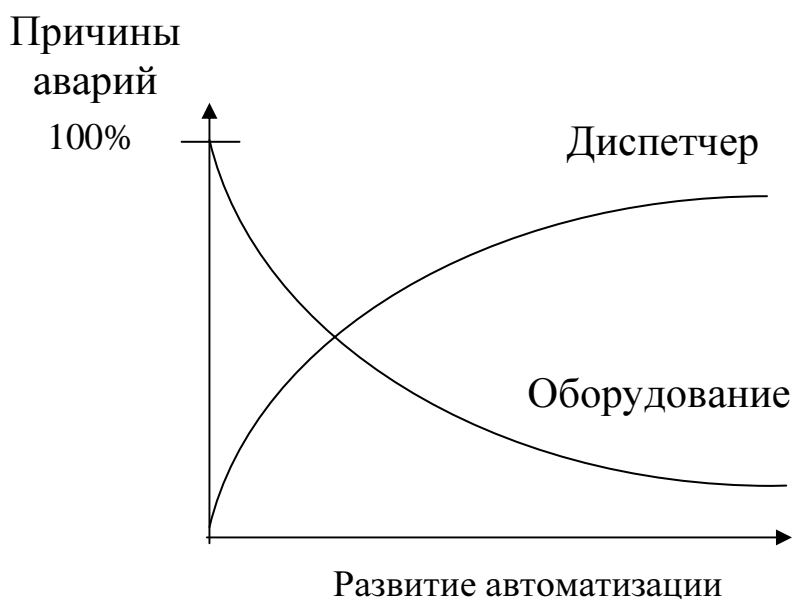


Рис.4.4. Динамика причин аварий при автоматизации производства

Поэтому главной задачей человеко-машинного интерфейса MMI (Man-Machine Interface) в SCADA-системах является облегчение работы оператора путем отображения на экране компьютера интуитивно понятной информации о работе оборудования. Человеко – машинный интерфейс иногда называют HMI (Human – Machine Interface). На рис.4.5 показан пример отображения на экране компьютера процесса обжаривания кофейных бобов. С одной стороны, из отображения исключены несущественные детали реального оборудования. С другой стороны, оператор может просмотреть количественные показатели процесса, такие как температура, производительность.

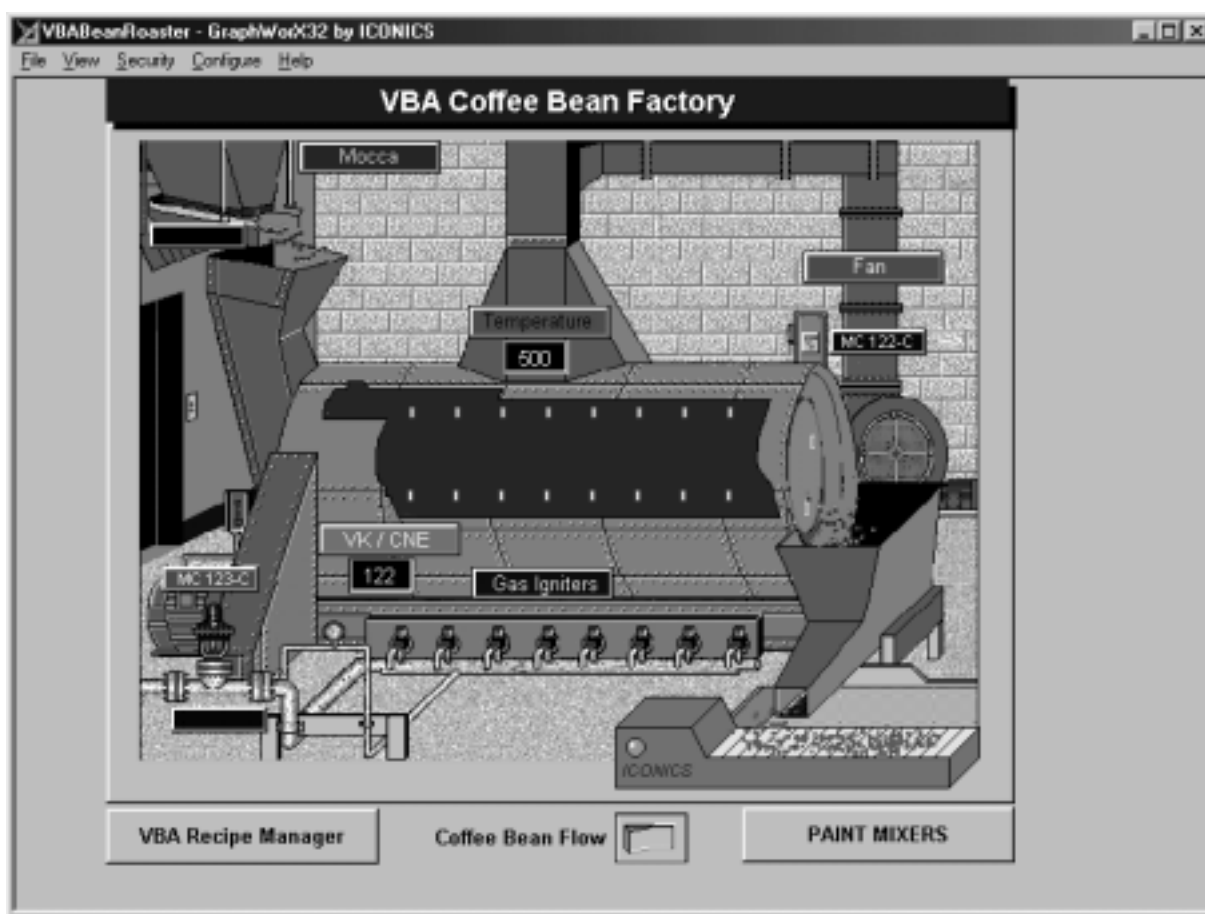


Рис. 4.5. Отображение процесса обжаривания кофейных бобов с помощью системы SCADA

Для отображения разнообразных объектов автоматизации в SCADA-системах применяют одни и те же приемы:

- выбор из библиотеки типовых изображений виртуальных индикаторов и органов управления оборудованием;
- сохранение текущих параметров процесса за заданный период;
- понятный диспетчеру язык общения с компьютером ;
- представление информации и возможность управления процессом в реальном времени;

- возможность подключения к системе автоматизации оборудования разных производителей;
- защиту от неразрешенного доступа к системе автоматизации;
- одновременное представление информации о разных сторонах процесса.

Разработчик и продавец коммерческой системы SCADA не знают, для какого объекта будет применена его система. Купивший систему SCADA пользователь должен привязать ее к своему объекту, создав мнемосхему конкретного процесса и определив задачи системы. Разработка мнемосхемы конкретного процесса с помощью входящего в SCADA-систему пакета человеко-машинного интерфейса MMI включает три этапа:

*1. Формирование статических изображений в рабочем окне*

Это мнемосхема производственной системы и различные надписи. Для рисования используют обычные графические редакторы. Готовые изображения импортируют в пакет человеко-машинного интерфейса (MMI);

*2. Формирование динамических элементов рабочего окна*

На статическом изображении с помощью графического редактора, входящего в пакет SCADA, создают изображения динамических объектов и присваивают им логические имена. Эти имена привязывают к соответствующим каналам ввода и вывода переменных;

*3. Описание алгоритма отображения и управления*

С помощью любого текстового редактора составляют логические и математические формулы, содержащие логические имена динамических элементов. Например, при превышении значения 90 для параметра “Температура” нужно включить сигнал “Авария”. Это логическое условие записывают так :

“ IF Температура > 90 THEN Авария=1 ELSE Авария=0”

В некоторых системах алгоритм записывают на языке функциональных блоков, которыми могут быть типовые законы управления – от математических функций до PID-регуляторов.

Наблюдая за процессом, диспетчер формирует запрос, который передается через систему связи между MMI – станцией и единицей оборудования с перепрограммируемым управлением (рис.3.6). Запрос поступает в программируемое устройство управления как сигнал “Индикация”. Отклик на запрос формируется устройством управления и передается через систему в MMI – станцию как сигнал “Подтверждение”. Такой порядок обмена часто называют моделью “Клиент – Сервер”, где клиентом является MMI – станция, а сервером – система программируемого управления.

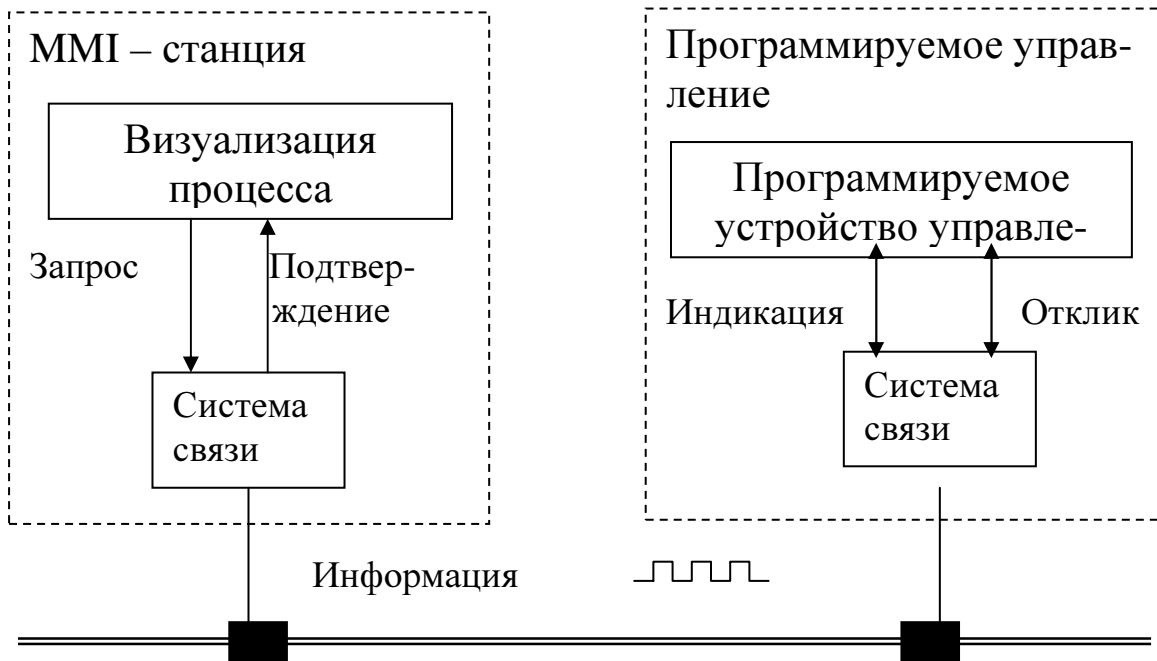


Рис.3.6. Схема человеко-машинного интерфейса (ММИ) в системе SCADA

В SCADA – системе могут быть два режима управления: автоматическое и инициируемое диспетчером. В первом режиме диспетчер планирует последовательность действий, перепрограммирует распределенные устройства автоматического управления, следит за ходом производства на экране компьютера и вмешивается в процесс только для подстройки параметров или при отказе устройств автоматики. Во втором режиме диспетчер наблюдает за процессом, вырабатывает и передает команды управлением оборудованием. Второй режим не требует больших затрат на оборудование, однако приемлемая для диспетчера скорость слежения за процессом может быть недостаточна для автоматического управления оборудованием.

#### 4.3. Программные комплексы SCADA

На мировом рынке предлагают десятки программных комплексов SCADA, отличающиеся разнообразными характеристиками. Однако все они имеют общие свойства:

- объектно-ориентированное программирование с шаблонами типовых элементов технологий и средств автоматики для рисования мнемосхемы технологического процесса;
- открытую архитектуру для интеграции с другими уровнями автоматизации;
- версии разной стоимости, отличающиеся числом пользователей и количеством переменных (от 100 до 250000);

- настройку уровней переменных, при которых должно формироваться извещение о предаварийных ситуациях;
- обновление изменившихся данных в реальном времени;
- архивирование данных о процессе;
- анимацию графических объектов;
- создание отчетов о ходе производства.

Разработкой и поставкой SCADA-систем занимаются ведущие фирмы в области автоматизации производства (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Распространенные системы SCADA

<i>Система</i>	<i>Разработчик</i>	<i>Страна</i>	<i>Число приложений</i>
<u>GENESIS for Windows</u>	<u>ICONICS, Inc.</u>	США	30 тысяч в мире
<u>Factory Suite</u>	<u>Wonderware</u>	США	In Touch -60 тысяч в мире
Genie	Advantech Co.	США	
Modicon Factory Link	US Data	США	
iFIX	Intellution	США	
Cimplicity HMI	GE Fanuc Automation	Япония	
Trace Mode	AdAstra Research Group, Ltd	Россия	Более 4 тыс. в России
<u>FIX 32</u>	<u>Intellution, Inc.</u>		
Win CC	Siemens	Германия	
LookOut	National Instruments	США	

Рассмотрим возможности некоторых систем SCADA.

Система **Factory Suite** объединяет уровни MES, SCADA и Control. Она содержит компоненты: **In Touch** (В касании), **In Track** (В технологическом маршруте), **In Batch** (В смешивании), **In Support** (В поддержке). Программы позволяют подключаться через промышленную сеть к сети Интернет.

Самый известный компонент **In Touch** позволяет наблюдать за дискретными и непрерывными процессами, отображёнными на экране в реальном времени (рис. 4.7).

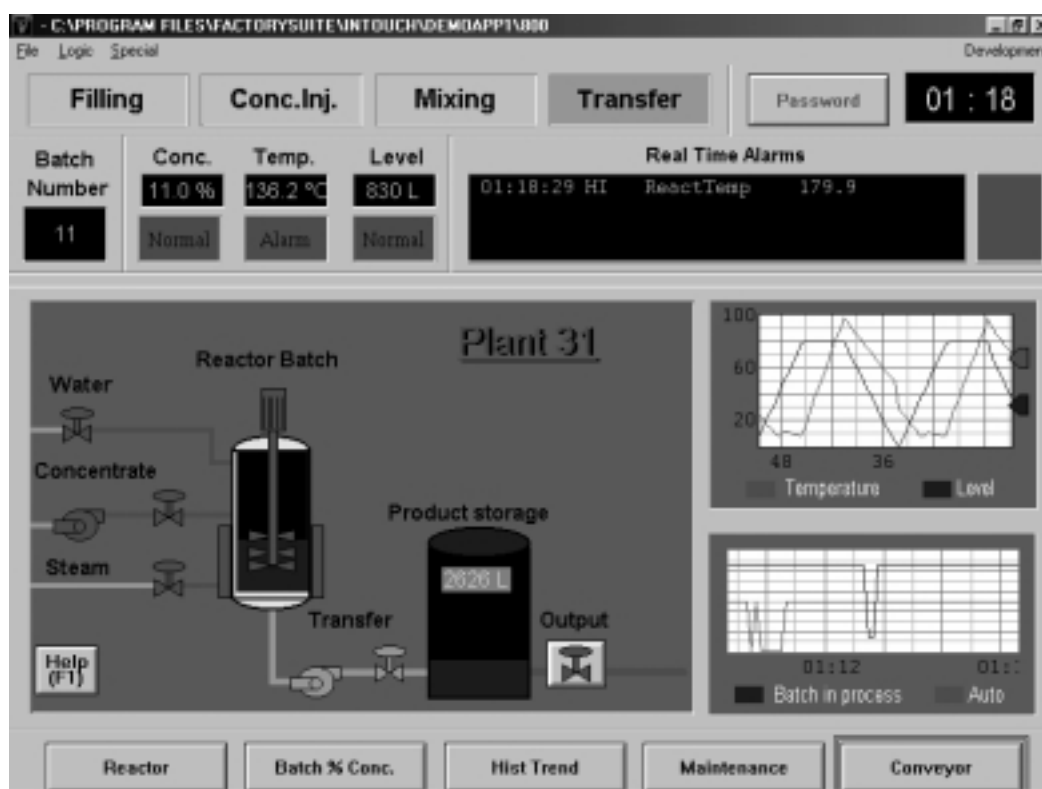


Рис. 3.7. Отображение работы химического реактора с помощью SCADA-системы **Factory Suite / In Touch**

Работа единицы оборудования показывается автономно или в составе группы. Кроме библиотеки типовых элементов (переключателей, движков, счётчиков, гистограмм), можно создавать собственные объекты для конкретных приложений.

Компонент **In Track** позволяет моделировать и контролировать любую стадию дискретного производственного процесса. Модель создают в терминах производственных цепочек, состоящих из отдельных стадий производства. На каждой стадии осуществляют определённые операции над материалами и продуктами. Цепочку строят с помощью графического редактора. Схема цепочки со стадиями производства является статическим объектом. Динамические объекты отражают незавершенное производство и движение товарно – материальных запасов. Каждая операция сопровождается транзакцией с базой данных, отображающей модель операции. С помощью **In Track** можно моделировать и планировать процессы производства, оценивать объемы незавершенного производства, автоматизировать сбор данных, определять очередность работ.

Компонент **In Batch** разработан для моделирования и автоматизации процессов дозирования и смешивания в металлургической, химической, пищевой и фармацевтической промышленности. С его помощью можно разрабатывать модель процесса, создавать рецепты и имитировать их исполнение, управлять процессом путем его сопоставления с моделью. Базовым объектом модели является фаза – процесс смешивания, нагрева, охлаждения, выпечки, встряхивания, слива или перегонки. С одной стороны, фаза характеризуется текущими показателями процесса с уровня управления Control, а с другой стороны, она определяется за-

данными рецептами и циклами с уровня исполнения производства MES. Технолог с помощью простого графического интерфейса создает рецепты, выбирая параметры оборудования и процессов из набора моделей. Производство представляет собой преобразование *Основного Рецепта*, не зависящего от оборудования и технологии, в *Контрольный Рецепт*, зависящий от оборудования. Кроме конкретного оборудования пользователь задает *Формулу Процесса* (материалы на входе и выходе) и *Процедуру Процесса* (набор операций для изготовления порции продукта). Процедура строится из последовательно – параллельных функциональных схем.

Компонент **In Support** обеспечивает интерактивный поиск и устранение неисправностей с доступом к технической документации и ее ведением для любого объекта производства. В системе имеется среда для создания мультимедийных описаний объектов в виде электронных руководств с текстами, гиперссылками, чертежами, фото и видео. Эта же информация может использоваться для технического обслуживания, обучения и обобщения опыта эксплуатации оборудования.

Для поиска неисправностей используют встроенную экспертную систему, которая сопоставляет признаки неисправности, учитывает время и стоимость ремонта, оценивает варианты поиска неисправности. При автоматическом выявлении неисправности компонент **In Support** может использовать аварийные сигналы, формируемые компонентом **In Touch**. В результате вырабатывается оптимальное решение и формируются инструкции по поэтапному поиску неисправности с показом видеороликов и слайдов, соответствующих страниц текста. Сокращение времени поиска и устранения неисправностей уменьшает убытки от простоев производственной линии.

Система **Factory Suite** специально состыкована со стандартным набором программных средств Microsoft BackOffice, что обеспечивает ее связь с сетью Интернет для обновления программ и распределения новых приложений по предприятиям.

Аналогичная система **GENESIS 32** имеет русскую версию и содержит среду разработки сценариев на стандартном языке Microsoft Visual Basic for Applications. Система содержит четыре приложения:

- **GraphWorX32** (разработка и просмотр мнемосхем);
- **TrendWorX32** (построение графиков параметров);
- **AlarmWorX32** (обнаружение аварийных событий);
- **ScriptWorX32** (разработка и запуск сценариев).

Приложение **GraphWorX32** позволяет рисовать мнемосхему технологического процесса для визуализации контролируемых параметров и диспетчеризации (рис.4.8). Управление мнемосхемой можно вести согласно разработанному сценарию. Информация обновляется через каждые 50 миллисекунд. Элементы мнемосхемы можно выбирать из библиотеки. При необходимости на мнемосхеме отображают графики и аварийные события.

Приложение **TrendWorX32** обеспечивает накопление и представление текущих графиков в виде простой или логарифмической зависимости заданной ве-

личины от времени, гистограмм, круговых диаграмм или графиков связи двух величин. Накопленная информация может извлекаться из архива. Вычисляются статистические характеристики. Можно одновременно просматривать текущие и архивные данные.

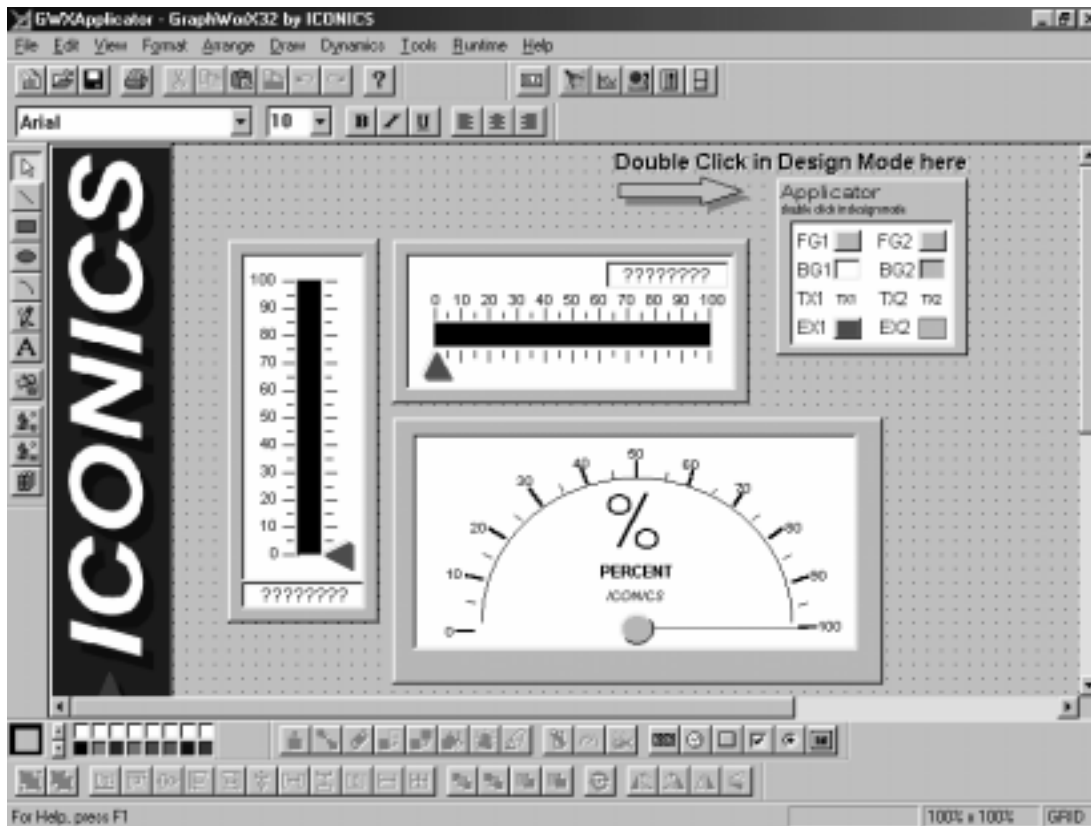


Рис. 4.8. Пример отображения параметров процесса в SCADA-системе **GENESIS 32 / GraphWorX32**

Приложение **AlarmWorX32** предназначено для обнаружения аварий, оповещения персонала, накопления информации об авариях. Аварии обнаруживаются по совокупности признаков и критериев, которые вводит пользователь. Сигнал аварии в виде мигания изображения и прерывистого звукового сигнала передается на разные уровни управления. Планируются голосовое оповещение персонала, передача сообщений по телефону и персональное оповещение дежурных. Предусмотрена запись аварийных событий и действий персонала по их устранению (рис.4.9).

Time / Date	Tag	Value	Priority	Quality	Description	
18:52:30:350	19.04.00	Belt3Speed	58	500	Good - Non-S	Blet 3 Speed Limit is Normal.
18:52:29:310	19.04.00	Core Temp	51	500	Good - Non-S	Core temperature is lo.
18:52:29:310	19.04.00	Coolant Level	51	500	Good - Non-S	Coolant leak detected.
18:52:29:310	19.04.00	Radiation Lev	51	500	Good - Non-S	Some Radiation leak has been detected.
18:52:29:310	19.04.00	Arm Torque	51	500	Good - Non-S	Arm Torque is at acceptable level.
18:52:29:310	19.04.00	Scale	51	500	Good - Non-S	Reading on the scale is low.
18:52:29:310	19.04.00	Valve1	51	400	Good - Non-S	The pressure in valve1 is normal.
18:52:29:310	19.04.00	Belt3Status	1	500	Good - Non-S	Blet 3 is On
18:52:29:310	19.04.00	PumpStatus	1	500	Good - Non-S	Pump is ON
18:52:27:170	19.04.00	PumpStatus	42	500	Good - Non-S	Limit is Normal
18:52:19:970	19.04.00	Critical Mass	31	500	Good - Non-S	Reaching Critical Mass
18:52:17:890	19.04.00	Humidity	27	500	Good - Non-S	Humidity is normal.
18:52:14:760	19.04.00	Level Gauge	21	500	Good - Non-S	Level gauge is normal.
18:52:14:760	19.04.00	Compressor	21	500	Good - Non-S	Compressor gauge is reading normal
18:52:14:760	19.04.00	Tank PSI	21	500	Good - Non-S	PSI in Tank1 is normal.
18:52:14:760	19.04.00	Belt Speed	21	500	Good - Non-S	Belt Speed is normal
18:52:14:760	19.04.00	Pressure	21	500	Good - Non-S	Pressure in valve1 is normal
18:52:04:480	19.04.00	Belt3Temp	2	500	Good - Non-S	Some heat on Belt3
18:52:04:480	19.04.00	Box Line	1	500	Good - Non-S	Belt1 on the Box Line is slipping.
18:52:04:480	19.04.00	Ash Content	1	500	Good - Non-S	Ash Content of Tank1 is too low. Contents are acidic.
18:52:04:480	19.04.00	Tank1	1	500	Good - Non-S	The level in tank1 is too low.
18:52:04:480	19.04.00	Pump1	1	500	Good - Non-S	Pressure in pump1 is too low
18:52:04:480	19.04.00	Alkaline Level	1	500	Good - Non-S	Alkaline level in Tank1 is too low. Contents are basic

For Help, press F1

Runtime | 1 | 04/19/00 | 18:52:21

Рис. 4.9. Журнал состояния оборудования в SCADA-системе  
*GENESIS 32 / AlarmWorX32*

Приложение **ScriptWorX32** позволяет разрабатывать и запускать сценарии управления согласно расписанию или появлению событий. Сценарии разрабатывают с помощью языка Microsoft Visual Basic for Applications и хранят в контейнере приложений.

Любой пользователь может получить информацию из любого приложения и скомбинировать ее для своих задач.

Рассмотренный программный пакет **GENESIS 32** применен при создании системы диспетчерского контроля и управления в компании "Транснефть". В систему входят более 45 000 километров нефтепроводов, около 300 компьютеров Pentium-200, 187 000 цифровых и аналоговых каналов сбора данных и управления с 22 станциями спутниковой связи, 1500 рабочих мест операторов. Кроме обычных функций, SCADA обеспечивает раннее предупреждение об утечках в нефтепроводах.

Как и **Factory Suite**, система **GENESIS 32** работает с протоколом TCP/IP, позволяющим включаться в локальную сеть предприятия Интранет и выйти во всемирную сеть Интернет.

Самой дешевой и простой SCADA-системой является пакет **Genie**, ориентированный на применение только устройств его фирмы-разработчика Advantech. В нем отсутствуют встроенный графический редактор и возможность анимации. Упрощенное отображение процесса в среде Windows (рис.4.10) позволяет освоить работу с пакетом за несколько часов.

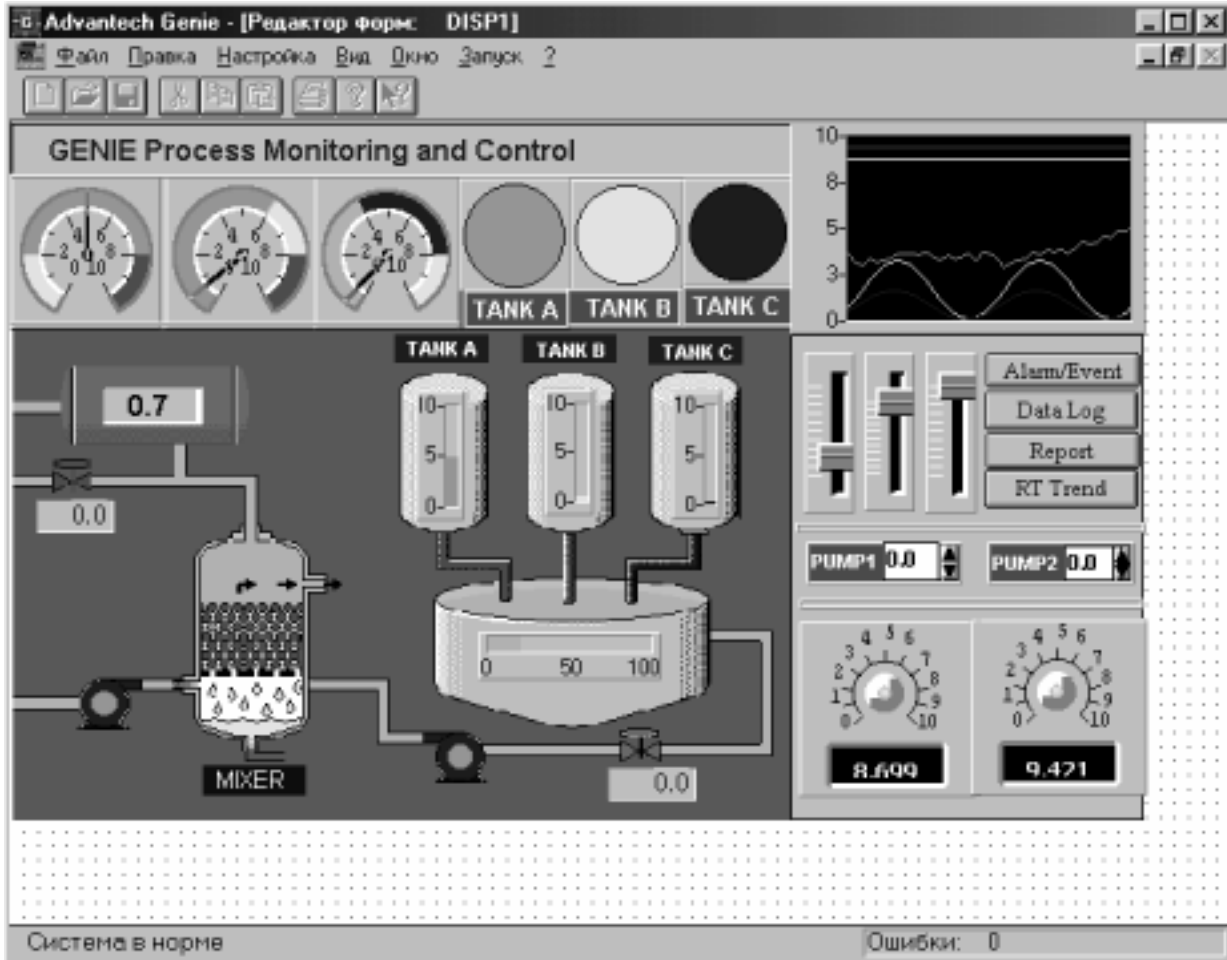


Рис. 4.10. Пример отображения процесса смешивания с помощью пакета Genie

Около половины приложений SCADA в России реализовано на отечественном пакете TraceMode (AdAstra, Москва). Пакет применяют на предприятиях Газпрома, Красноярской ГЭС, Оскольском металлургическом комбинате, в Центробанке России, на космодроме Байконур. Пакет отличается низкой стоимостью, сопровождением на русском языке, совместимостью с контроллерами отечественного производства. Программирование ведут в три приема. Сначала с помощью встроенного графического редактора создают базу каналов ввода-вывода и мнемосхему процесса. Затем формируют представление технологических параметров в динамике. На последнем этапе запускают алгоритм управления производством в режиме реального времени. Как и во всех системах SCADA, работа с пакетом Trace Mode не требует от диспетчера знания языков программирования. Анализ хода производства ведут по его простому отображению на экране (рис.4.11).



Рис. 4.11 . Отображение производства томатной пасты в SCADA-системе Trace Mode

В новой версии пакета разработана технология автопостроения проекта. Вводят информацию о числе точек измерения/контроля, количестве и размещении контроллеров и персональных компьютеров, алгоритме управления производством. Пакет автоматически формирует проект АСУТП и вырабатывает программы для контроллеров на языках функциональных блоков и списка инструкций, соответствующих международному стандарту программирования контроллеров IEC 61131-3. Тип контроллера выбирают из встроенной библиотеки.

Система управления предприятием Factory Link ECS (Enterprise Control System) представляет собой программный пакет для задач визуализации на уровнях исполнения производства MES, поведения оборудования SCADA и связи с объектом MMI. Она основана на шине открытого программного обеспечения, в которую могут вводиться разнообразные программные модули, обменивающиеся данными в реальном времени.

Система построена по принципу “конфигурирование вместо программирования”. Ее ядром является подсистема реального времени, обеспечивающая отсчет интервалов времени, счет данных, математические преобразования. С ним связаны следующие подсистемы:

- связи с базой данных предприятия, обеспечивающая доступ пользователя к характеристикам производства;
- графического мониторинга и управления, отображающая мнемосхему конкретного производства с выводом тенденций развития, предупреждения об авариях, исходные и результирующие данные;
- локальной сети для двунаправленного обмена информацией с другими системами в режимах “клиент – сервер” или “от точки к точке”;
- организации и отчета для ввода изменений в производственное оборудование, получения данных из удаленных источников, генерации отчетов;
- связи с внешними устройствами, обеспечивающая соединение с сотнями механизмов, программируемых логических контроллеров (PLC), распределенных управляющих систем (DCS), удаленных персональных компьютеров.

Пользователь строит мнемосхему технологического цикла из элементарных блоков во встроенной библиотеке. Система построена по принципу “Easy – To – Use” (легко применять) и предназначена для инженеров, занимающихся планированием, изготовлением и обслуживанием систем промышленной автоматизации. В ней можно менять структуру и параметры системы автоматизации при замене оборудования и его функций. При наведении курсора на любой элемент системы, отображенный на экране, рядом появляется описание элемента.

#### *4.4. Выбор системы SCADA*

Создание системы SCADA для конкретного предприятия возможно двумя способами:

- самостоятельная разработка на универсальном алгоритмическом языке;
- привязка покупной SCADA-системы типа Genesis, Factory Suite, Trace Mode к предприятию.

Первый способ не требует тысяч долларов на покупку лицензионного программного обеспечения. Разработанная силами предприятия система SCADA может опережать покупную систему SCADA по быстродействию и объему требуемой памяти. Однако расширение возможностей системы или изменение технологического процесса потребуют больших затрат времени и труда высококвалифицированных программистов. При этом каждую следующую задачу программист будет вынужден решать с самого начала.

Предлагаемые на рынке системы SCADA ориентированы на типовые задачи и устройства автоматизации производства. Их ориентация на широкий круг пользователей и техническая поддержка пользователя со стороны разработчика позволяют быстро адаптировать систему к конкретному предприятию и развитию автоматизации производства.

Опыт компьютерной диспетчеризации показал, что разработка системы SCADA силами специалистов предприятия целесообразна для простых объектов управления или фрагментов сложного объекта. В большинстве случаев целесооб-

разно идти по второму пути, приобретая, осваивая и адаптируя к своему предприятию универсальный апробированный пакет.

Выбор того или иного способа создания системы SCADA для предприятия зависит от ответов на вопросы:

- насколько велик проект автоматизации?
- каковы сроки выполнения проекта?
- каковы квалификация и опыт разработчиков программного обеспечения?
- будет ли развиваться система ?
- какова будет квалификация обслуживающего персонала?

Большое значение имеет качество технической поддержки, которую обеспечивает разработчик SCADA-системы. К нему относятся русификация системы, курсы обучения, наличие «горячей линии», помощь в решении проблем заказчика, вывод «часто встречающихся вопросов» в Интернет. Техническая поддержка возможна в следующих формах:

- выезд специалиста фирмы на предприятие;
- обслуживание региональным представительством фирмы;
- взаимодействие фирмы со специалистами предприятия через Интернет.

Для помощи при эксплуатации системы SCADA фирмы–разработчики используют детальные инструкции для технологов, регулярные курсы для специалистов, Интернет и электронную почту.

Стоимость SCADA-систем складывается из четырех составляющих:

- стоимости лицензионного программного обеспечения (7-10 тыс. долларов), которая зависит от количества переменных в прикладной программе (SCADA-система InTouch), числа каналов ввода/вывода (SCADA-система Simplicity), коммерческого спроса (SCADA-система FactoryLink);
- стоимости освоения системы, зависящей от удобства человеко-машинного интерфейса;
- стоимости эксплуатации системы, зависящей от репутации разработчика, стоимости связи с поставщиком системы, времени отклика поставщика на проблемы покупателя, степени открытости и адаптируемости пакета;
- стоимости разработки прикладного программного обеспечения, зависящей от степени универсальности пакета SCADA.

Срок окупаемости системы SCADA зависит от величины предприятия, количества проектов и их стоимости. Для разных производств эффект от замены систем традиционной диспетчеризации на системы SCADA составляет сотни тысяч долларов в год. Внедрение SCADA на средней тепловой электростанции ежегодно приносит 200-400 тысяч долларов прибыли. Приобретение пакета SCADA системным интегратором обычно окупается после реализации 2-3 проектов компьютерной автоматизации производства.

*ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 4*

1. Чем система SCADA отличается от системы традиционной диспетчеризации?
2. Приведите примеры приобретения данных с помощью системы SCADA.
3. Из каких компонентов состоит система SCADA?
4. Для каких объектов автоматизации применение системы SCADA наиболее эффективно?
5. Какие задачи решает система SCADA?
6. Почему роль человеко-машинного интерфейса возрастает по мере развития автоматизации?
7. Как создают мнемосхему производства в системе SCADA?
8. Каковы общие свойства известных систем SCADA?
9. Сравните два способа создания системы SCADA для предприятия.
10. Каким образом система SCADA распознает предаварийные ситуации?
11. Как оценить составляющие себестоимости продукции с помощью системы SCADA?
12. Для чего разработан стандарт OPC ?
13. Что включает техническая поддержка при эксплуатации системы SCADA?
14. Из каких составляющих складывается стоимость системы SCADA для предприятия?

## Глава 5. Промышленные шины

### 5.1. Структура информационной сети

Информационная сеть представляет собой сотни устройств датчиков, приводов и управляющих устройств разных фирм, синхронно обменивающихся информацией в режиме реального времени. Они связаны между собой промышленными шинами, обеспечивающими высокую скорость и надежность обмена информацией. Цифровую информацию передают, как правило, по двухпроводной линии связи. Ошибка, передача не тому абоненту или задержка в передаче информации может привести к аварии на производстве с тяжелейшими последствиями. Информацию передают в виде телеграммы, в которой само сообщение занимает 15-20 % длины. Остальная часть отводится на обеспечение надежности передачи сообщения. Разработка одной промышленной шины требует усилий не одной фирмы в течение нескольких лет. Особое внимание уделяют защите сообщения от повреждений в процессе передачи по линии связи. Ошибочное распознавание лишь в одном разряде сообщения может привести к аварии на производстве.

Промышленную шину можно представить как дорожную сеть (табл. 5.1).

Табл.5.1.Сопоставление характеристик дорожной сети и промышленной шины

<i>Дорожная сеть</i>	<i>Промышленная шина</i>
магистраль	два провода
стыки дорог	разъемы
пункт смены вида транспорта	сетевая карта
автомобиль	информация, движущаяся от
начало и конец пути	ведущий и ведомый абоненты
правила дорожного движения	протокол обмена информацией
ширина автомагистрали	полоса пропускания
неровности покрытия	помехи в передаче информации
скорость движения автомобиля	скорость передачи информации
скорость двигателя	такты частота
коробка передач	кодирование информации

Выбор типа промышленной шины зависит от типа производства. Для дискретного производства требуется высокая скорость передачи информации по сравнительно коротким линиям связи. В непрерывном производстве должен быть предусмотрен циклический опрос устройств автоматики, отделение ситуации отсутствия информации от ситуации отказа датчика. При содержании зданий требуются отделение ситуации отсутствия информации от ситуации отказа датчика, самодиагностика сети, отыскание путей передачи информации при повреждениях сети. На транспортных единицах необходимо согласование работы

устройств управления приводом, динамикой движения, освещением, сиденьями, повышенная надежность передачи информации, быстрое распознавание и предотвращение критических ситуаций при коротких линиях связи.

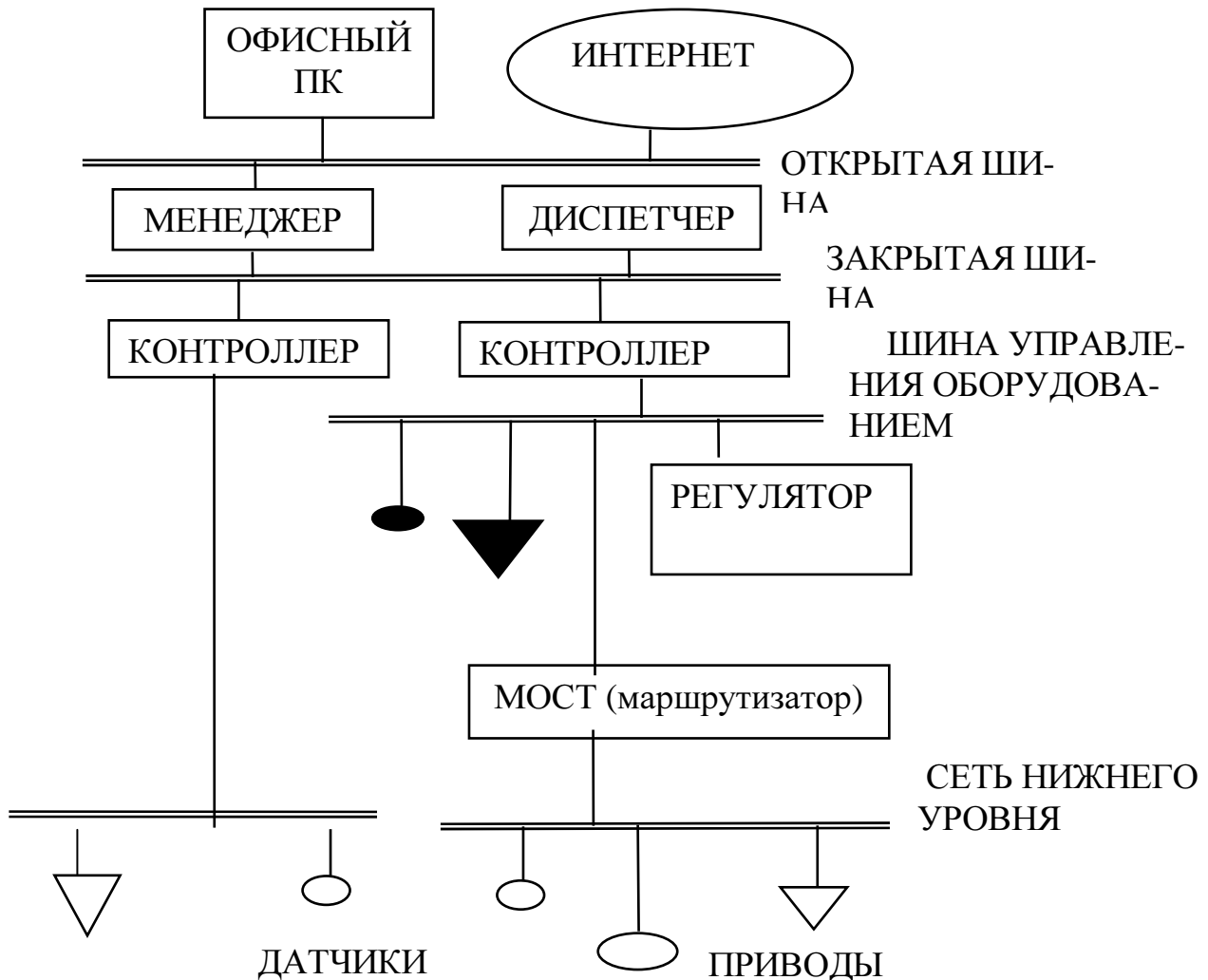


Рис.5.1. Структура информационной сети предприятия

В распределенной информационной системе предприятия различают четыре уровня (рис. 5.1).

### 1. Сеть нижнего уровня

К сети подключают датчики и приводы, размещенные на единицах оборудования. Здесь сигналы датчиков преобразуют в сигналы стандарта информационной сети. Маршрутизатор вводят для преобразования сигналов одной промышленной шины в сигналы другой промышленной шины. Для этой сети все чаще применяют HART- протокол или AS-интерфейс.

### 2. Шина управления оборудованием

К ней подключают интеллектуальные датчики и приводы, имеющие встроенные устройства согласования с промышленными шинами, сеть нижнего уровня, а также устройства управления, согласованные с подключаемыми промышлен-

ными шинами. На этом уровне применяют промышленные шины INTERBUS, PROFIBUS, WorldFIP, а также шину стандарта IEC 61158-3.

### 3. Закрытая шина

Соединяет рабочие места менеджера предприятия и диспетчера цеха с устройствами управления процессами. В 80-х годах такие шины работали по протоколу MAP (Manufacturing Automation Protocol), разработанному ф. “Дженерал Моторс” (США). В последнее время на этом уровне применяют шину стандарта “Ethernet”.

### 4. Открытая шина.

На этом уровне обрабатывается информация для управления предприятием. Его называют сетью предприятия LAN (Local Area Network) или Интранет, к которой подключены офисные компьютеры. Эта сеть работает по стандартному протоколу TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol), позволяющему подключаться к сети Интернет. Таким образом, управление предприятием можно вести из любой точки мира.

## 5.2. Протокол обмена информацией

Протоколом называют порядок обмена информацией между устройствами, подключенными к шине. Информацию передают в виде телеграммы. Передача информации начинается с запроса адресата инициатором связи (рис. 5.2).

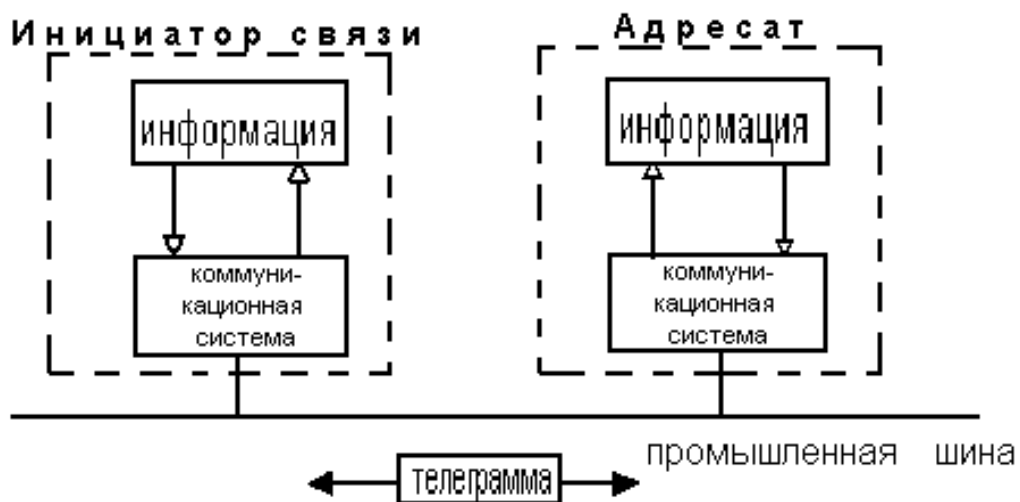


Рис. 5.2. Порядок обмена информацией через шину

Адресат, получив запрос инициатора связи, передаёт ему свой отклик. Инициатор, получив подтверждение адресата, отправляет ему телеграмму с информацией. Телеграмма содержит флаг начала, адресное поле, поле управления, поле данных, поле проверки достоверности передачи, флаг конца.

В конце телеграммы осуществляется проверка правильности переданного сообщения. Чаще всего ее осуществляют с помощью проверочного полинома

CRC (Cyclic Redundance Checking). Телеграмма рассматривается как многоразрядное слово. Отправитель делит телеграмму на определенное им число частей. Остаток после деления представляет собой контрольное слово, передаваемое в конце телеграммы. Приемник снова делит телеграмму на то же число частей и сравнивает получившийся остаток с контрольным словом. Такой способ позволяет не только выявить, но и исправить ошибки в сообщении. Некоторые полиномы могут исправлять в сообщении несколько ошибок.

Международный стандарт ISO/OSI (International Standard Organisation /Open System Integration -Международная организация по стандартизации/Стандартная модель пересылки для соединения открытых систем”) определяет семь уровней протокола любой промышленной шины (рис. 5. 3).



Рис. 5.3. Уровни протокола обмена информацией в промышленной шине

Каждый уровень определяет одну из сторон организации связи инициатора и адресата через шину (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Функции уровней протокола передачи информации по стандарту ISO/OSI

Уровень протокола	Функция
7. Прикладной	Согласование прикладных программ абонентов, разделение отсутствия сигнала и отказа датчика, выделение начала и конца поля данных
6. Представительный	Преобразование кодов и переформатирование данных при обмене данными между взаимодействующими процессами в разных местах шины
5. Сеансовый	Порядок обмена данными между процессами в разных местах шины, взаимодействующими в

	реальном времени.
4. Транспортный	Поиск нового пути для установления связи абонентов при отказе промежуточного узла между ними
3. Сетевой	Формирование сквозного канала связи между ведущим и ведомым абонентами через узлы шины, имеющие приоритеты
2. Канальный	Формат кадра информации, способ ведения и прекращения связи, способ проверки правильности приема данных, предотвращение наложение сообщений в линии друг на друга, отнесение сообщения к запросу или отклику
1. Физический	Напряжение и форма цифровых импульсов в линии связи

Главным уровнем, имеющимся во всех протоколах промышленных шин, является прикладной. Он обеспечивает взаимопонимание между содержанием программ абонентов. Передаваемая информация упаковывается в поле данных на канальном уровне (рис. 5.4).

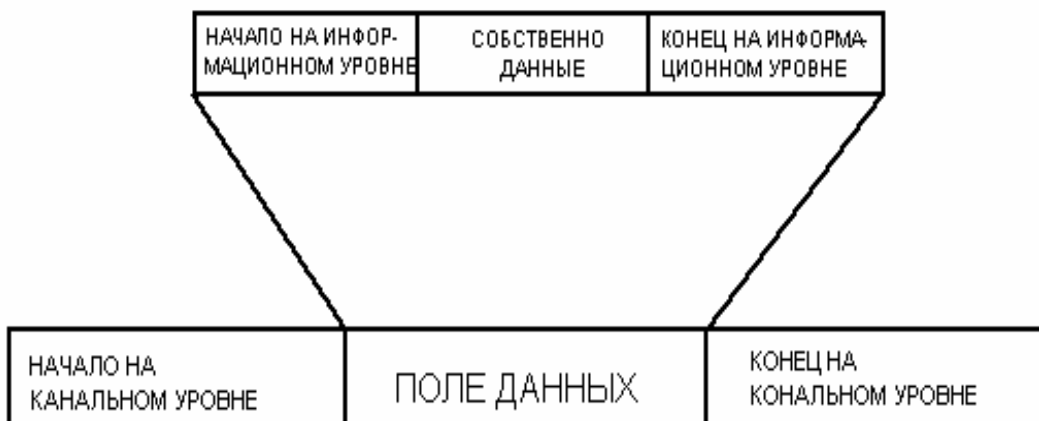


Рис. 5.4. Место передаваемой информации на канальном уровне

При отправке сообщения прикладную программу передатчика преобразуют в прикладной уровень протокола. Затем в сообщение последовательно добавляют информацию других уровней, заканчивая физическим уровнем. На входе приемника происходит обратное преобразование – от физического до прикладного уровня. Связь двух абонентов может осуществляться по мостовой или мар-

шрутной структурам (рис.5.5). При мостовой архитектуре абоненты подключены к одной сети. При маршрутной архитектуре абоненты подключены к разным сетям.

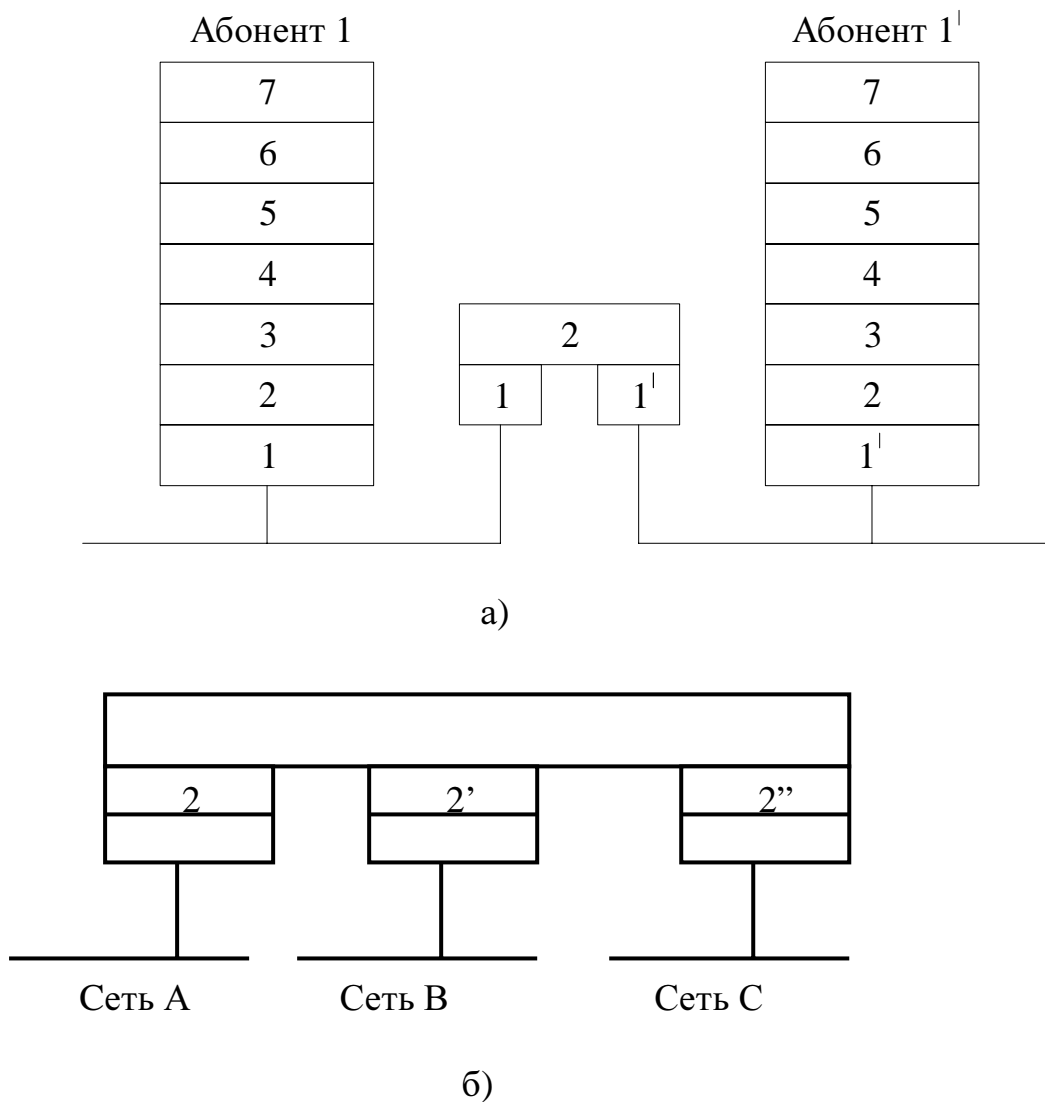


Рис. 5.5. Связь абонентов через протокол промышленной шины: а- мостовая архитектура; б- маршрутная архитектура

Большинство протоколов содержит 2-3 уровня из 7. Протокол "Ethernet" содержит только физический и канальный уровни. Он реализуется в открытой или закрытой шине с линией связи в виде коаксиального кабеля. Шины PROFIBUS, P – NET, World FIP, Interbus -S содержат физический, канальный и прикладной уровни. Офисные протоколы, такие как TCP/IP, кроме физического, канального и прикладного, включают также сетевой, транспортный, сеансовый и представительный уровни.

Структура шины может быть линейной, древовидной, кольцевой или комбинированной (рис. 5.6).

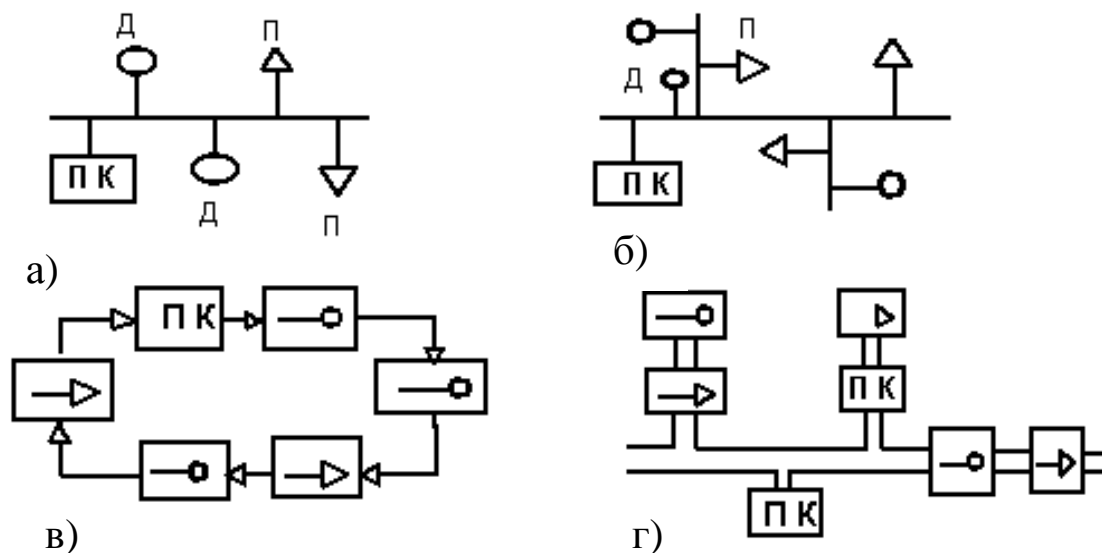


Рис. 5.6. Структуры промышленных шин: а – линейная;  
 б – древовидная; в – кольцевая; г – комбинированная  
 (ПК – программируемый контроллер)

Применяют три способа связи между устройствами, подключёнными к шине (рис. 5.7):

- связь двух клиентов  $S$  (*Slave*) через сервер  $M$  (*Master*) (а);
- связь клиентов через кольцо (б);
- комбинированная связь (в).

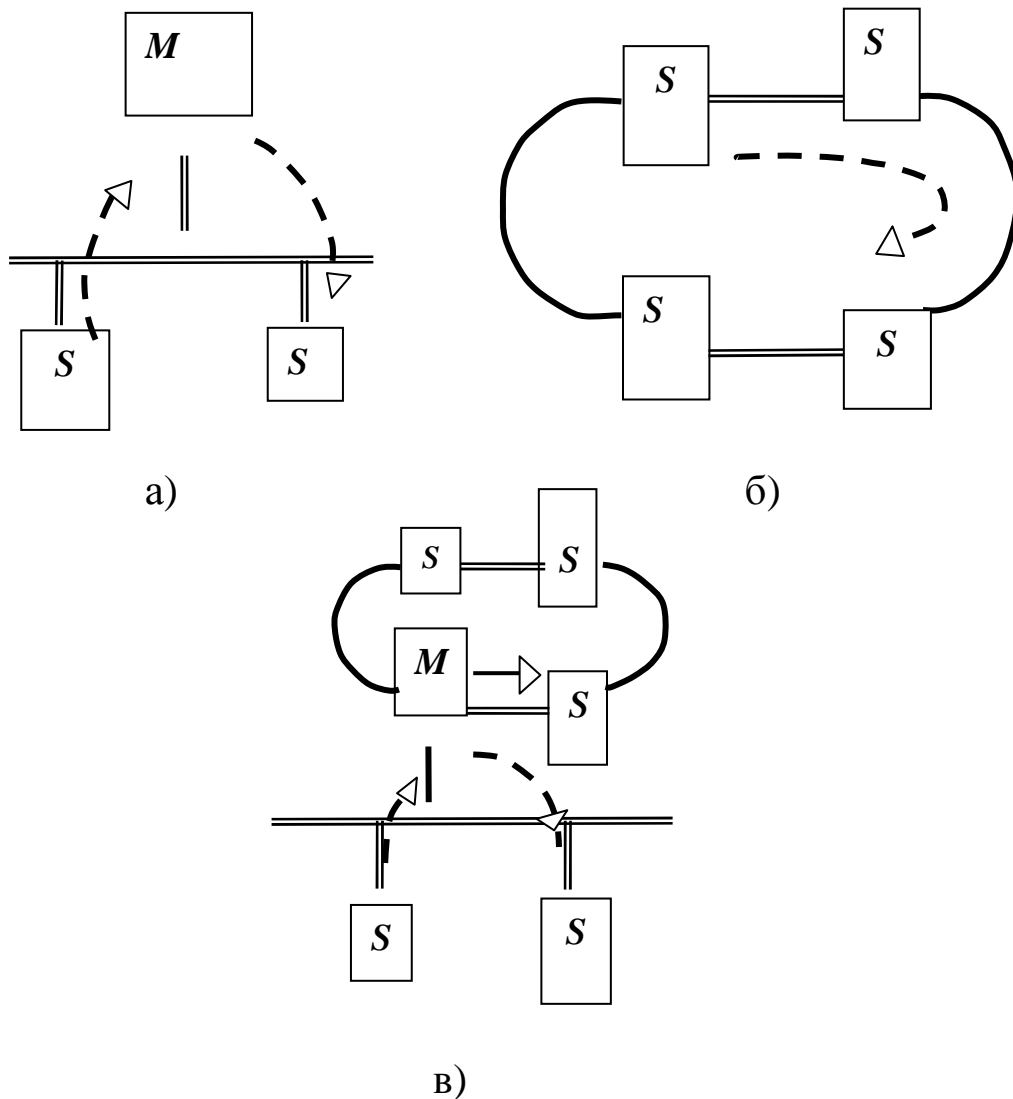


Рис. 5.7. Способы связи сервера  $M$  (Master) и клиентов  $S$  (Slave) в промышленной шине:  
 а – через сервер; б – через кольцо; в – комбинированная связь

В качестве линии передачи промышленные шины обычно используют витую пару проводов. С обоих концов линии связи два провода замкнуты волновым сопротивлением. Для передачи данных в шинах используют стандарты аппаратного соединения объектов RS-485 или IEC 61158-2. В отличие от распространённого стандарта RS-232, связывающего две точки, стандарт RS-485 позволяет работать с числом точек до 32 при длине линии до 1,5 км и скорости передачи до 10 Мбит/с. По мере увеличения длины линии скорость передачи снижается до 9600 Кбит/с. Информация кодируется биполярным напряжением с уровнями логического нуля от 1,5 до 5 В и логической единицы от -1,5 до -5 В (рис. 5.8).

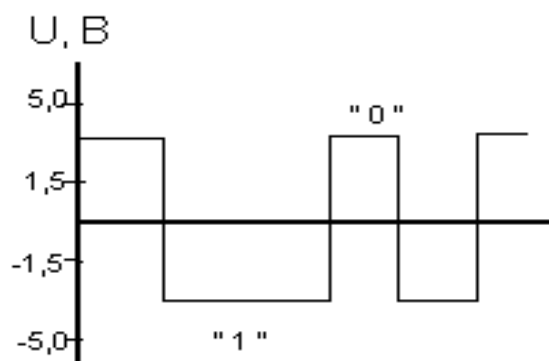


Рис. 5.8. Кодирование бинарных сигналов по стандарту RS-485

С целью более надежной передачи информации бинарные сигналы кодируют Манчестерским кодом. В нем логическому нулю соответствует переход напряжения импульса с нижнего на верхний уровень, а логической единице – переход с верхнего на нижний уровень. Для этого в линию подают стробирующие импульсы с постоянной частотой, которые складываются с битами информации.

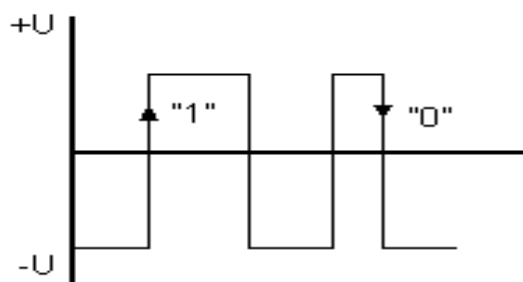


Рис.5.9. Кодирование бинарных сигналов Манчестерским кодом

Если бит информации равен нулю, то сигнал в линии переходит с нижнего уровня на верхний. Если бит информации равен единице, то сигнал в линии переходит с верхнего уровня на нижний (рис. 5.9). Если все биты информации равны нулю, то сигнал в линии повторяет стробирующие импульсы постоянной частоты. Если все биты информации равны единице, то сигнал в линии противоположен стробирующим импульсам. Изменения сигнала происходят в середине такта стробирующих импульсов. Таким образом, длинная последовательность единиц или нулей в сообщении передается не уровнем сигнала, а пакетом стробирующих импульсов.

Принятый в 2000 г. Международный стандарт промышленной шины IEC 61158-2 отличается тем, что дополнительно обеспечивает безопасность самой промышленной шины. Особенностью стандарта является использование передаваемых сигналов не только для обмена информацией, но и для питания подключаемых устройств. При токе потребления одного устройства 10 мА к шине могут подключаться до 10 устройств. Скорость передачи при длине линии 1900 м составляет 31,25 Кбит/с. Передачу информации от одного объекта к другому осуще-

ствляют в виде телеграмм. Телеграмма содержит начало, адрес, информацию, контрольные биты, конец. Бинарные сигналы кодируют Манчестерским кодом.

### 5.3. Стандарты шин

Работая в среде жесткой конкуренции, разработчики шин ведут борьбу за признание своего протокола международным стандартом. Разработано более 50 протоколов промышленных шин, из которых на практике применяют не более пяти (табл. 5.3). Одновременно поставщики оборудования, стремящиеся расширить рынок сбыта, разрабатывают маршрутизаторы или мосты – устройства согласования выпускаемых ими устройств с разными типами промышленных шин.

Таблица 5.3. Распространённые протоколы промышленных шин

Протокол	Применение	Разработчик	Доля в Европе, %
PROFIBUS	Дискретное (PROFIBUS-FMS, PROFIBUS -DP) или непрерывное (PROFIBUS-PA) производство	Siemens (Германия)	53,6
P – NET	Дискретное или непрерывное производство	Дания	-
World FIP	Дискретное или непрерывное производство	Telemecanique (Франция)	-
Foundation – Fieldbus	Непрерывное производство	Fieldbus Foundation (США)	10,3
LON	Содержание зданий	Эшелон (США)	-
Interbus – S	Дискретное производство	Phoenix Contact (США)	8,4

Рассмотрим распространенные протоколы промышленных шин [19].

В протоколе шины Ethernet телеграмма состоит из шести частей (рис.5.10) :

- начало, в котором 64 раза чередуются 0 и 1;

- адрес приёмника, начинающийся с 0 для отдельного устройства и с 1 для группы устройств;
- адрес передатчика;
- длина последующего сообщения данных, что позволяет зафиксировать конец телеграммы и избежать её наложения на другую телеграмму;
- передаваемые данные;
- проверка циклической избыточности.



Рис.5.10 . Структура телеграммы в шине Ethernet

В качестве линии связи для шины Ethernet обычно применяют коаксиальный кабель.

Шина PROFIBUS (PROcess FIEld BUS) разработана в Германии (1987 – 1991 гг.) для дискретных и непрерывных систем автоматизации. Она содержит физический, каналный и прикладной уровни. Передаваемая телеграмма имеет переменную длину и содержит 10 частей (рис.5.11): код начала для распознавания типа телеграммы, число разрядов до окончания телеграммы, повторение длины телеграммы, код начала телеграммы, код приёмника, код передатчика, контрольные биты типа телеграммы (передача, запрос, подтверждение), код данных (до 246 разрядов), код проверки, код окончания телеграммы. На физическом уровне используют протоколы RS 485, IEC 61158-2. В качестве линии передачи применяют пару скрученных проводов.



Рис. 5.11. Структура телеграммы в шине PROFIBUS

Шина PROFIBUS представляет собой семейство сетей, объединенное в иерархическую структуру (рис.5.12). На уровне I/O используются сети PROFIBUS – DP и PROFIBUS – PA (для взрывоопасных зон). PROFIBUS – PA соединяется с сетью PROFIBUS – DP через разделительный мост. К обеим сетям через AS – интерфейс подключают датчики и исполнительные устройства. На среднем уровне ведутся визуализация (SCADA) и анализ данных о производстве. На верхнем уровне MRP через сеть PROFIBUS – FMS обеспечивается информационный об-

мен между компьютерами одного ранга. Через шлюз эта сеть соединена с сетью Интернет.

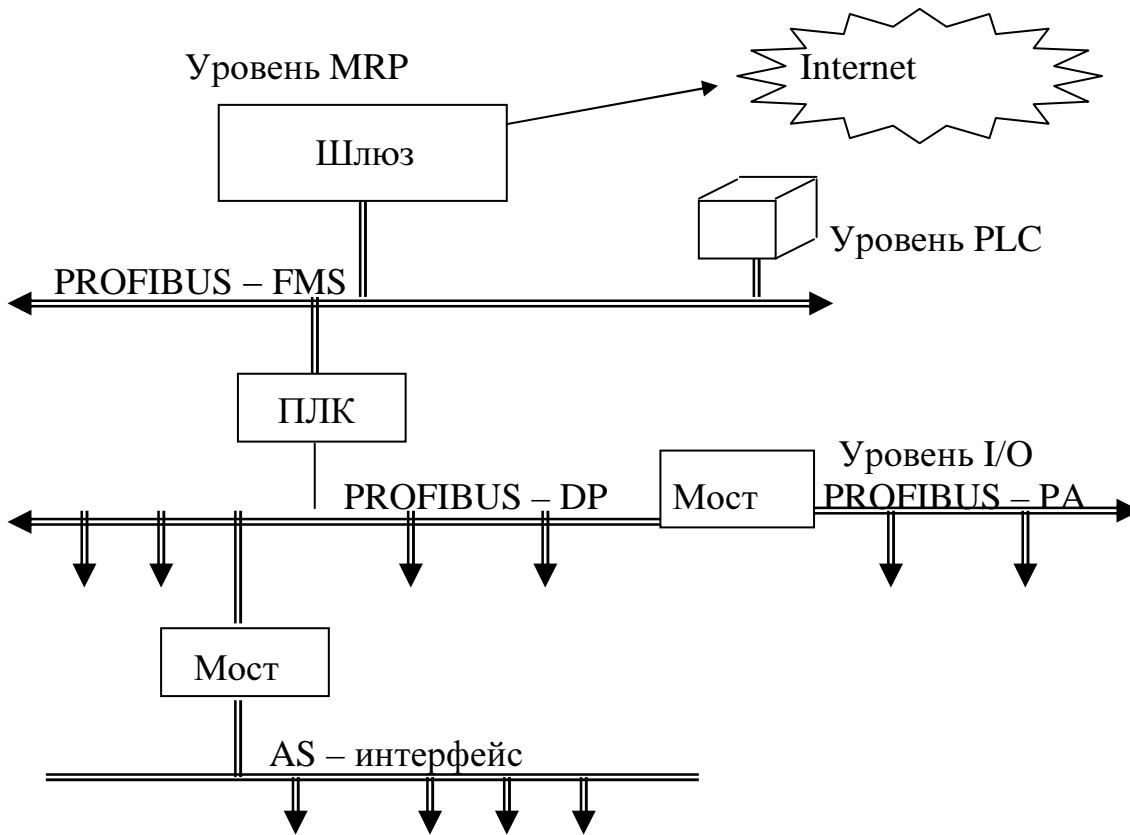


Рис.5.12. Информационная сеть предприятия с протоколом PROFIBUS

Шина P – NET использует протокол RS 485 для передачи информации по двум скрученным проводам. Телеграмма включает 5 частей (рис. 5.13): код адреса, статус ведущего устройства, длину телеграммы, данные, проверку достоверности. Шина имеет физический, каналный, сетевой и прикладной уровни. На прикладном уровне описывается тип данных: булевы, словесные, целочисленные, реальные или кодовые. К шине можно подключать до 125 устройств.

2-24 бита	1 бит	1 бит	до 63 бит	1-2 бита
АДРЕС	СТАТУС	ДЛИНА	ДААННЫЕ	КОНТРОЛЬ

Рис. 5.13. Структура телеграммы в шине P-NET

Шина WorldFIP (World Factory Information Protocol) разработана во Франции (1994 г.) с привлечением около 120 фирм Европы и США. Передаваемая телеграмма (рис.5.14) начинается с преамбулы в виде синхронизирующего повторения кодовой комбинации 10. Сообщение начинают и заканчивают комбинациями, со-

держащими биты  $\underline{V}$  (отрицательный) и  $\overline{V}$  (положительный), которые показывают, что для кодирования используется Манчестерский код.



Рис. 5.14. Структура телеграммы в шине WorldFIP

После этого следует контрольный бит, указывающий тип телеграммы. Затем передаётся информация из  $n$  бит. Передача информации заканчивается двумя битами проверки, после чего следует код окончания телеграммы. Протокол WorldFIP содержит физический, канальный и прикладной уровни. На канальном уровне организуется взаимодействие ведущего и ведомого абонентов через арбитра, определяющего временные составляющие цикла передачи.

Шина Foundation – Fieldbus разработана с целью объединения протоколов PROFIBUS и WorldFIP. В ней физический уровень выполнен по стандарту IEC 61158-2, канальный – по стандарту World FIP, а прикладной – по стандарту PROFIBUS. Шина разработана для непрерывного управления при повышенных уровнях влажности и взрывоопасности, поэтому в ней применены слаботочные сигналы.

Шина LON отличается законченным для конечного пользователя видом. Она состоит из нейронных элементов, протокола передачи, сетевых переменных, трансивера для реализации нейронных элементов в виде разнообразных устройств, системы дополнения шины. Каждый "нейрон" или узловая микросхема сети содержит по 3 микропроцессора, один из которых специально выделен для поддержания протокола. Число нейронов может достигать 32000. В качестве линии связи применяют сеть электроснабжения, витую пару или радиосвязь. На канальном уровне телеграмма содержит до 249 бит информации, из которых до 21 бита отводится на заголовок. В отличие от рассмотренных шин, в протоколе применяется сетевой уровень, задающий древовидную структуру сети (рис. 5.15). Структура включает подсети, соединённые маршрутизаторами М. К подсетям подключаются участники У. Некоторые участники могут объединяться в группы и называться участниками группы УГ. Подсети, группы и участники имеют собственные номера, которые указываются в телеграмме. Маршрутизатор пропускает телеграммы только для участников своей подсети. Если в телеграмме указан только адрес группы, она поступает всем участникам этой группы.

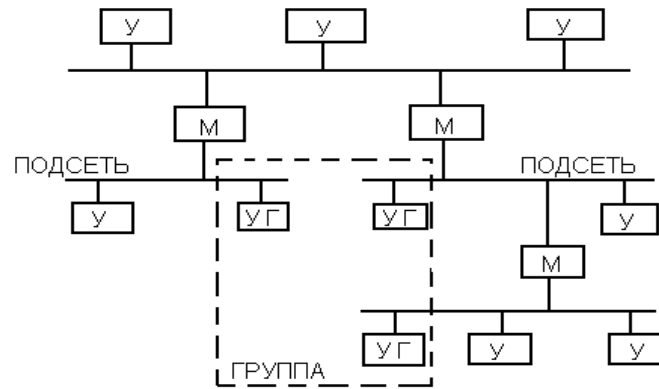


Рис. 5.15. Сетевой уровень протокола LON : У-участник;  
М- маршрутизатор; УГ- участник группы

Шина INTERBUS-S (СИИА, 1987 г.) во-многом отличается от других шин. Сначала в ней использовалась восьмипроводная линия, а затем скрученная пара по протоколу RS-485, оптическое волокно или инфракрасный канал. Шина построена в виде комбинации кольцевой и древовидной структур. Двухпроводная линия служит как для передачи сигналов, так и для питания абонентов. Сигналы передают Манчестерским кодом. Адрес абонента вводят не в телеграмму, а задают местом абонента в кольце (рис. 5.16).

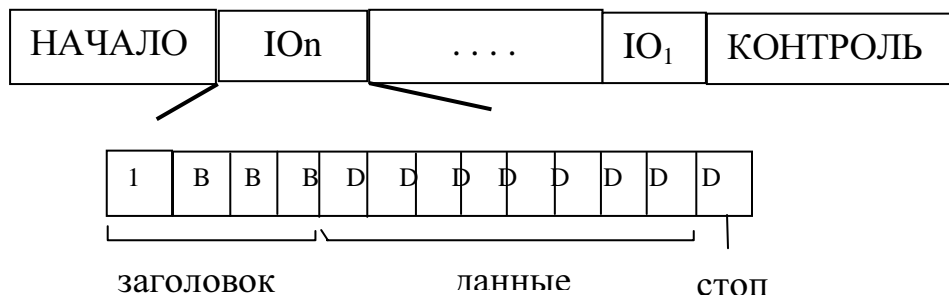


Рис. 5.16. Структура телеграммы в шине INTERBUS-S

В начале цикла все ведомые абоненты одновременно принимают код начала. Затем ведущий абонент передаёт каждому из них 13-разрядный код информации, содержащий стартовый бит, заголовок, собственно информацию и конечный бит. Телеграмма заканчивается подсчётом контрольных битов.

Благодаря ретрансляции сигнала в каждом узле расстояние от ведущего узла до датчиков и исполнительных устройств достигает 13 км (рис.5.17). Периферийные устройства подключают к ведущему узлу через ведомые узлы по кольце-

вой схеме. Одновременно с данными по витой паре подают напряжение питания периферийных устройств.

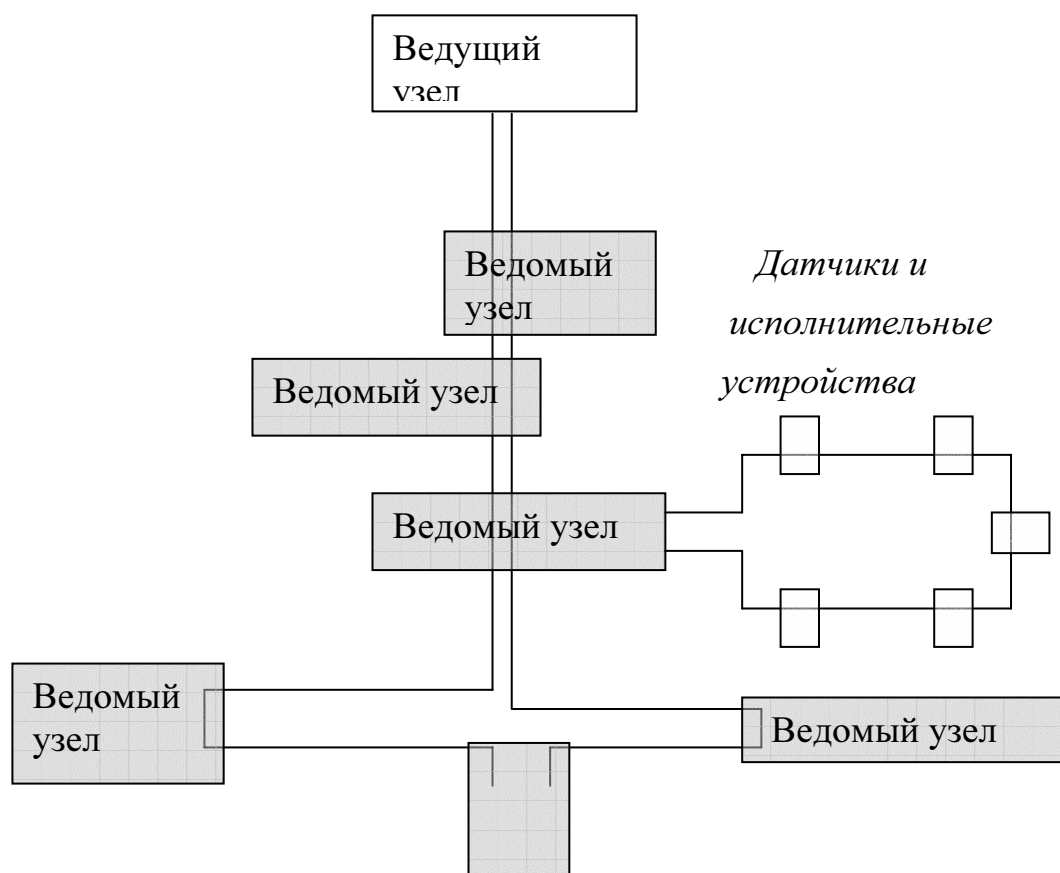


Рис.5.17. Топология сети с промышленной шиной INTERBUS

В таблице 5.4 сопоставлены характеристики распространенных промышленных шин. В Европе чаще всего применяют шину PROFIBUS, во Франции – WorldFIP. В Америке применяют протоколы “INTERBUS” и “Control Net”. Они не были совместимы друг с другом, особенно по уровню 2 (“Информационный”). После длительной “войны промышленных шин” в январе 2000 года был утвержден международный стандарт IEC 61158. Протокол содержит физический, информационный и прикладной уровни, в которых использованы идеи разных протоколов: на прикладном уровне – Control Net и PROFIBUS, а на информационном уровне – INTERBUS и WorldFIP.

Таблица 5.4. Сопоставление промышленных шин

Характеристика	PROFIBUS	P-NET	WorldFIP	Foundation-Fieldbus	LON	Interbus-S
Число абонентов	32 – 127	32 и более	32 и более	32 и более	32 и более	256
Скорость передачи, кбит/с	10(1200м) – 1200(100м)	76,8 1200	31(1900м) – 2500(500м) 500 – 1900	31,25 1900	39(1200м) – 1250(20м) 20 – 1250	500 1300
Длина линии, м	100 – 20					
Число приложений млн, (1997г.)	1	–	0,1	–	3	–
Web – Site изготовителя, <a href="http://">http://</a>	<a href="http://www.profibus.com">www.profibus.com</a>	<a href="http://www.p-net.dk">www.p-net.dk</a>	<a href="http://www.worldfip.org">www.worldfip.org</a>	<a href="http://www.fieldbus.org">www.fieldbus.org</a>	<a href="http://www.echelon.com">www.echelon.com</a>	<a href="http://www.interbusclub.com">www.interbusclub.com</a>

Наряду с системами SCADA, промышленные шины стали приоритетным направлением компьютерной автоматизации производства. Их создание позволило объединить независимые уровни автоматизации в многоуровневую систему компьютерно-интегрированного производства и связать управление оборудованием с управлением производством. Появилась возможность изменять параметры устройств автоматизации непосредственно на единицах оборудования.

Интеллектуальное управление стало смещаться ближе к оборудованию.

Если в традиционной автоматизации датчики и исполнительные устройства присоединялись к устройствам управления отдельными проводами, то с появлением промышленных шин оказалось возможным связать сотни распределенных устройств автоматизации одной парой проводов. Благодаря промышленным шинам произошел переход от централизованных к распределенным системам управления. Это стало ярким примером объективного перехода от технической к программной реализации идей автоматизации.

#### 5.4. Сети нижнего уровня

##### 5.4.1. AS-интерфейс

AS – интерфейс (Actuators/Sensors Interface- интерфейс датчиков и исполнительных устройств) для нижнего уровня автоматизации появился в 1992г. Он предназначен для подключения датчиков и исполнительных механизмов, размещенных на единице оборудования, к программируемым контроллерам через двухпроводную линию связи [20]. Сначала датчики и исполнительные устройства подключали к контроллеру ПЛК через встроенные в контроллер устройства ввода-вывода УВВ (рис.5.18 ,а).

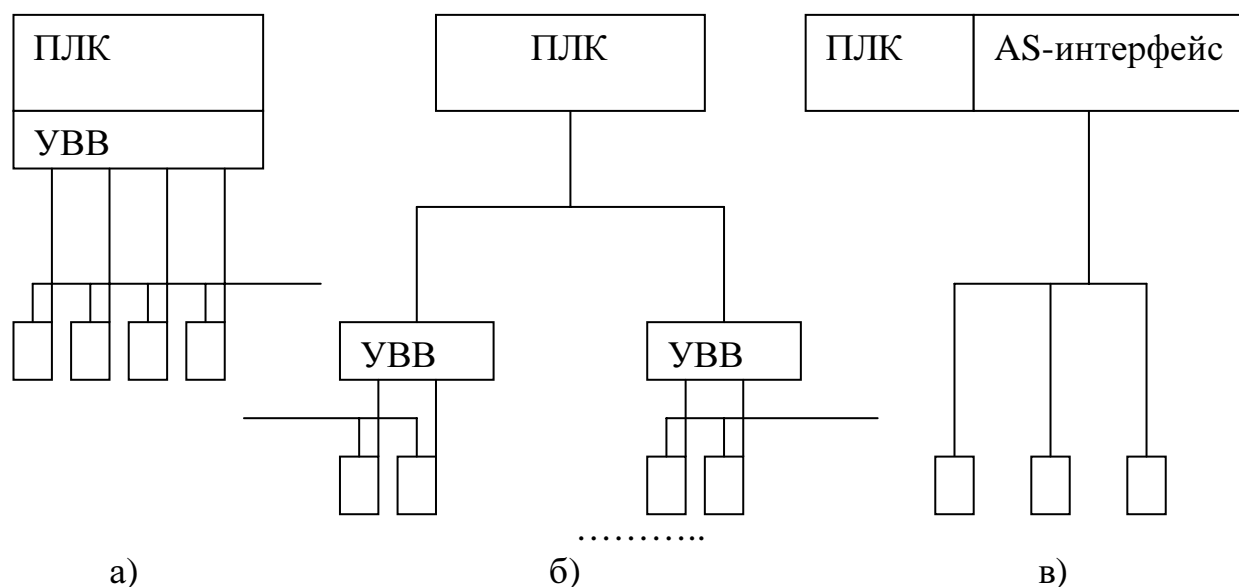


Рис.5.18. Подключение датчиков и исполнительных устройств к контроллеру ПЛК; а) – через устройства ввода – вывода УВВ; б) – через распределенные устройства ввода – вывода УВВ и промышленную шину; в) – через AS – интерфейс.

Затем устройства ввода-вывода УВВ перенесли к датчикам и исполнительным устройствам и подключили к промышленной шине, к которой присоединили

ПЛК (рис.5.18,б). Для питания датчиков и исполнительных устройств использовали отдельные провода.

Когда появился AS – интерфейс, датчики, исполнительные устройства и контроллер со встроенным AS – интерфейсом стали соединять без промежуточных устройств (рис. 5.18 , в). Одновременно с передачей информации через линию связи стали подавать напряжение питания датчиков и исполнительных устройств. При этом число подключаемых устройств увеличилось до 62, число входов – до 248, число выходов – до 186. Появилась возможность передачи по той же линии связи аналоговой информации. Переход на AS – интерфейс позволил выявлять и визуализировать отказы до 31 подключенных устройств за несколько циклов опроса длительностью до 5 мс.

К сети AS – интерфейса можно подключать датчики и исполнительные устройства как со встроенным AS – интерфейсом, так и без него – через специальные модули ввода – вывода. Последовательный опрос датчиков и выдача команд на исполнительные механизмы осуществляются одним ведущим устройством, например программируемым контроллером, который имеет AS – интерфейс. С другой стороны, ведущее устройство имеет интерфейс Fieldbus для подключения к промышленной шине верхнего уровня (рис.5.19). Для этой шины сеть с AS – интерфейсом является одним из подключенных к шине устройств ввода – вывода.

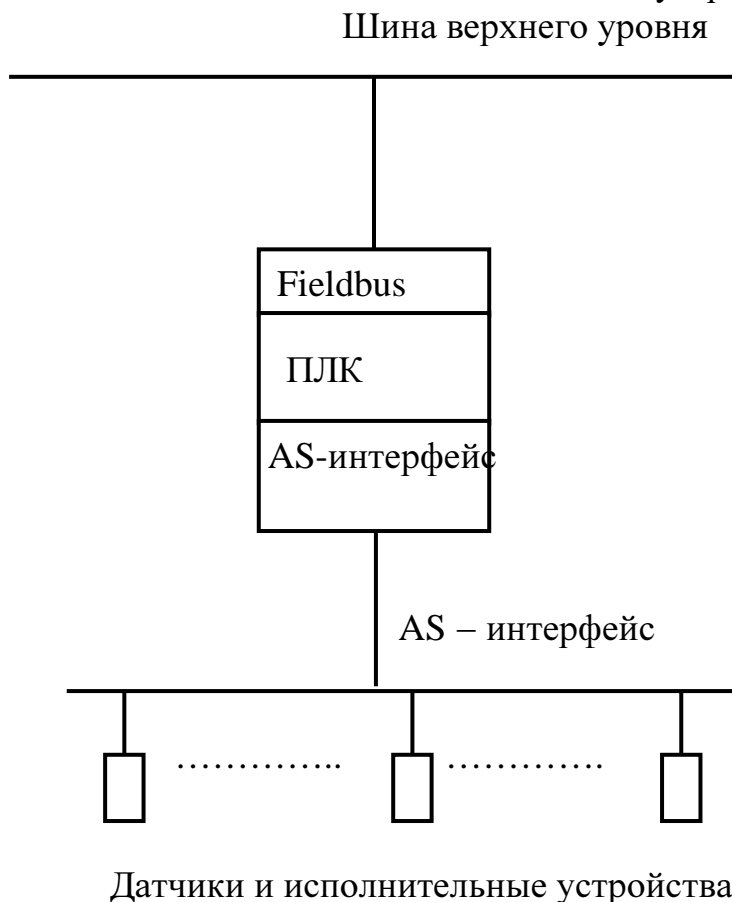


Рис. 5.19. Связь AS – интерфейса с промышленной шиной верхнего уровня

Протокол AS – интерфейса содержит запрос ведущего абонента, паузу ведущего абонента, ответ ведомого абонента и паузу ведомого абонента (рис.5.20).

ST	SB	A4	A3	A2	A1	A0	I4	I3	I2	I1	I0	PB	EB	пауза
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

а)

ST	I3	I2	I1	I0	PB	EB	пауза
----	----	----	----	----	----	----	-------

б)

Рис. 5.20. Структура телеграммы по протоколу AS – интерфейса:  
а- запрос ведущего абонента; б- ответ ведомого абонента

Запрос ведущего абонента состоит из частей : ST – стартовый бит (0, если начинается запрос); SB – управляющий бит (0, если запрашиваются данные, 1 – если запрашивается команда); A0...A4 – адрес вызываемого абонента; I0...I4 – биты информации; PB – бит паритета (1, если сумма всех единиц в запросе четная); EB – конечный бит (1 – если запрос закончен); пауза. Ответ ведомого абонента состоит из частей: ST – стартовый бит (0, если начинается ответ); I0...I3 – биты информации; PB – бит паритета (1, если сумма всех единиц в ответе четная); EB – конечный бит (1, если ответ закончен); пауза.

Задачу связи распределенных на объекте датчиков и исполнительных устройств с управляющим устройством выполняет также сенсорная шина SENSORBUS. Распределенные устройства подключают к двухпроводной линии через ножевые соединители. По этой же линии они могут получать питание током до 8А при напряжении 24В. Диалог ведущего и ведомого абонентов состоит из процедур посылки телеграммы ведущим и приема ответа от ведомого абонента. Телеграмма ведущего абонента содержит стартовый бит, бит управления ведомым абонентом, его адрес A<sub>4</sub>...A<sub>0</sub>, передаваемую информацию I<sub>4</sub>...I<sub>1</sub>, бит контроля P, бит конца телеграммы (рис.5.21,а). Ответная телеграмма содержит бит начала, информационный код I<sub>3</sub>...I<sub>1</sub>, бит контроля P, бит конца телеграммы (рис. 5.21,б).

0	S	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	P	1
---	---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---	---

а)

0	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	P	1
---	----------------	----------------	----------------	----------------	---	---

б)

Рис 5.21. Телеграммы ведущего (а) и ведомого (б) абонентов в шине SENSORBUS

### 5.4.2. CAN- сеть

CAN-сеть (Controller Area Network – сеть вокруг контроллера) заменяет многопроводные линии, которые требуются для связи датчиков, микропроцессоров и исполнительных устройств в автомобилях, стиральных машинах, томографах, упаковщиках и других автономных объектах управления. В отличие от информационной сети предприятия, расширение такой сети не предусматривается. Сеть впервые была применена для ткацкого оборудования. В 2000 г. в мире применялось более 125 млн. CAN- сетей. Так, CAN- сети применяют в автомобилях, сельскохозяйственных машинах, ткацких станках, лифтах небоскребов, медицинской технике.

В отличие от промышленных сетей, связывающих удалённые устройства автоматизации, CAN- сети имеют лишь канальный и физический уровни из семи уровней стандарта промышленной сети ISO/OSI [21]. Для более развитых систем вводят седьмой уровень протокола – прикладной. Его называют протоколом верхнего уровня HLP (High Level Protocol). Этот уровень обеспечивает передачу данных любой длины, начальную инициализацию объектов, согласование линий связи. Но его главная задача – возможность подключения к сети устройств разных фирм.

Если промышленные сети построены по принципу “Сеть обслуживает пользователя”, то CAN – сети строят по принципу “Модули обслуживают сеть”. В ней имеется главный модуль, обеспечивающий такую скорость обмена информацией между остальными модулями, чтобы управление объектом велось в реальном времени.

Структура CAN – сети содержит набор микроконтроллеров, которые через CAN-контроллеры подключены к CAN- шине (рис.5.22,а). Работу сети можно представить как систему почтовой связи между королём и мэрами городов в королевстве (рис.5.22,б).

Король (управляющая сетью программа) отвечает за порядок в королевстве (сети), а мэры (управляющие узлами программы) отвечают за порядок в городе (модуле управления частью системы). Король и мэры обмениваются информацией через почтмейстеров (CAN – контроллеры) и почтовый тракт (CAN – шина). Информационное сообщение представляет собой письмо (CAN – фрейм), которое вкладывают в конверт (CAN – идентификатор). Письмо содержит страницы (поле данных CAN – фрейма), в которых написаны строки (байты данных). Распределение адресов конвертов между городами (CAN – идентификаторов) ведёт разработчик сети. Время прохождения письма должно быть меньше интервала между командами управления в реальном времени. Настройка CAN – протокола включает установку формата данных, распределение идентификаторов между узлами, определение формата данных. Король осуществляет контроль городов (узлов) и разрешает сетевой обмен информацией через CAN – шину. В сеть могут включаться другие стандартные модули через специальный адаптер, соответствующий применяемому в сети протоколу.

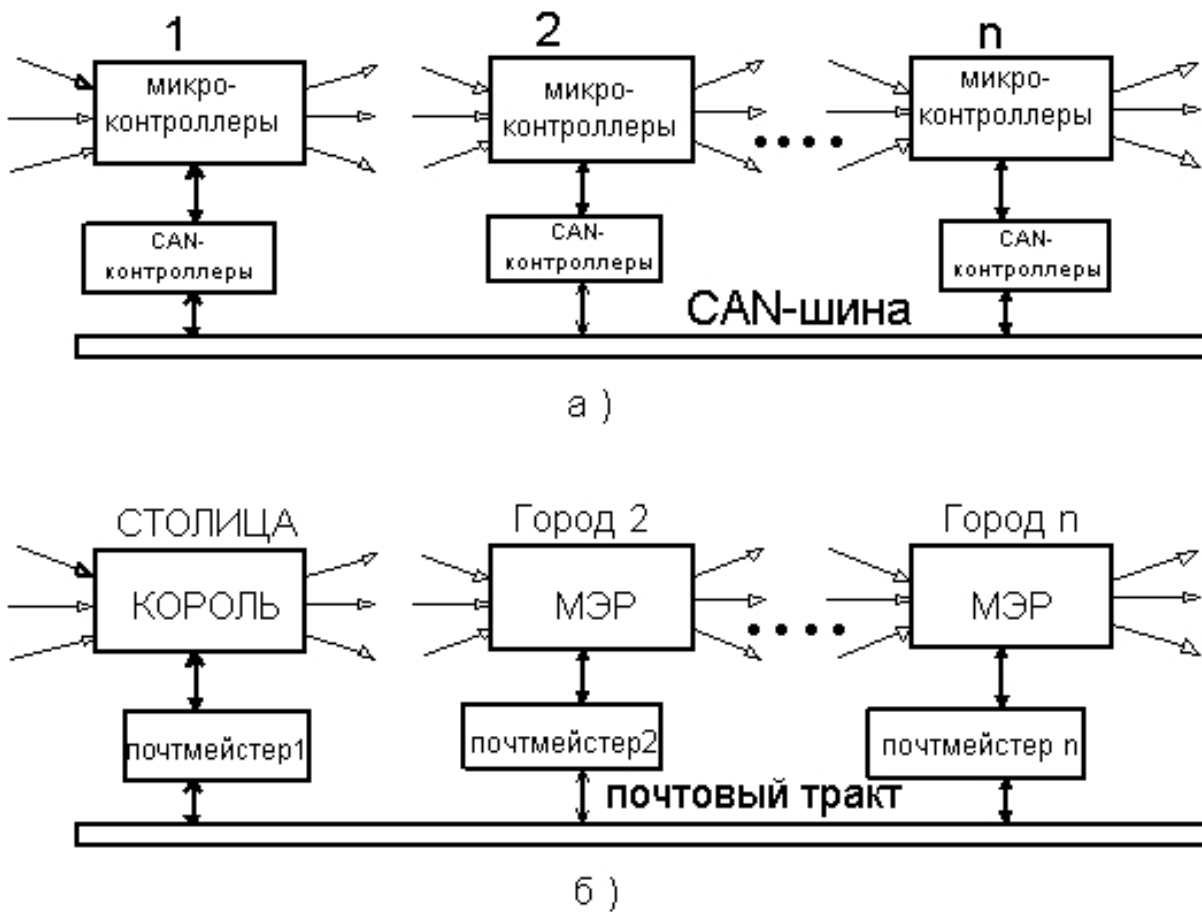


Рис. 5.22. Структура CAN-сети: а- реальная; б- в виде системы почтовой связи

Данные, передаваемые одним узлом, принимаются всеми узлами сети. Таким образом, информация с одного датчика рассылается по сети всем контроллерам. Если эта информация не касается выполняемых контроллером функций, то она игнорируется. Тип данных (например, число оборотов двигателя, температура масла) указывается 11-разрядным идентификатором в начале сообщения. Этот же идентификатор задает приоритет передаваемого сообщения. Самые приоритетные сообщения передаются в первую очередь. Таким образом, в CAN – сети набор получателей сообщения определяется его содержанием.

В CAN – сети вместо подтверждения правильности приема сообщения, применяемого с промышленных сетей, реализованы пять способов выявления ошибок передачи сообщения: контроль циклической избыточности (CRC), проверка структуры и размера телеграммы, число откликов всех приемников, контроль передатчиком собственного сигнала, ограничение одинаковых значений разрядов сообщения шестью значениями. При обнаружении случайной ошибки подается сигнал аварийного завершения передачи и сообщение повторяется. В случае постоянной ошибки отказавший узел отключается, причем работоспособ-

ность сети сохраняется. Таким образом достигается высочайшая надежность передачи данных в CAN-сети. При частоте появления ошибок 0,7 в секунду и эксплуатации системы по 8 часов в день в течение года одна необнаруженная ошибка может появляться не чаще одного раза в 1000 лет. Примером объединения несложных устройств управления в CAN – сеть с управлением от сетевого контроллера является стандарт SDS (Smart Distributed System – интеллектуальная распределённая система). Протокол SDS включает физический, канальный и прикладной уровни. К четырёхпроводной линии связи длиной 20 – 460 м с напряжением 11 – 25 В для питания подключенных устройств присоединяют менеджер сети, датчики, управляющие контроллеры и исполнительные устройства. Обмен информацией ведут в следующем порядке: запрос инициатора связи, ответ запрошенного устройства, передача информации, индикация приёма информации, ответ о приеме информации, подтверждение приёма ответа инициатором связи. Информация передаётся со скоростью от 125 до 1000 Кбит/с.

CAN – сети отличаются:

- дешевизной элементов;
- высокой надёжностью;
- простотой построения и развития сети;
- применением разных линий передачи;
- работой в реальном времени со скоростью передачи информации до 1Мбит/с;
- совместимостью со стандартами устройств автоматизации.

### 5.4.3. HART-протокол

HART – протокол (Highway Addressable Remote Transducer- удаленный адресный преобразователь с высокой пропускной способностью) разработан фирмой Rosemount Fischer (США) в середине 80-х годов. С начала 90-х годов он стал общепризнанным открытым стандартом коммуникации, позволяющим обмениваться информацией между интеллектуальными приборами [22].

Протокол используют в двух режимах подключения распределенных устройств автоматизации к линии связи:

- соединение прибора нижнего уровня (датчика) с одним-двумя приборами верхнего уровня (программируемым контроллером);
- соединение до 15 приборов нижнего уровня через шину с одним-двумя приборами верхнего уровня.

Первый режим называют режимом «точка-точка» (рис. 5.23). В этом режиме по витой паре проводов одновременно передают аналоговую и цифровую информацию. Максимальное расстояние между приборами составляет 3000 м.

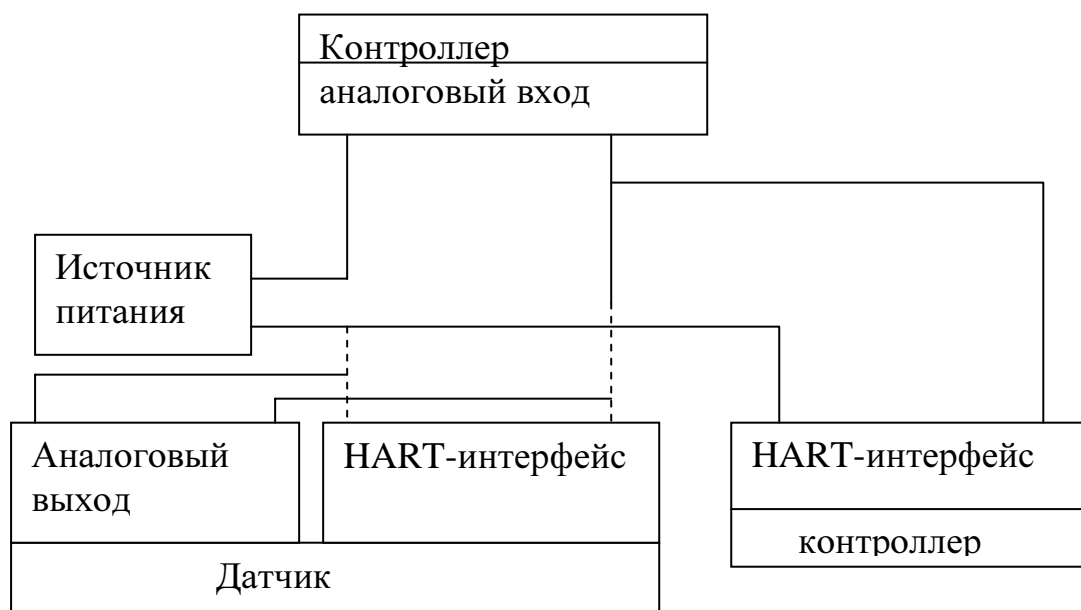


Рис. 5.23. Соединение HART-устройств в режиме «точка-точка»

Во втором режиме по линии передают только цифровую информацию (рис. 5.24). Эта информация может быть передана ко всем подключенным устройствам одновременно. При этом откликается только запрашиваемое устройство. Максимальное расстояние между крайними приборами составляет 100 м. Столь малое расстояние обусловлено тем, что суммарная емкость подключенных устройств приводит к искажению передаваемого сигнала. К линии передачи информации присоединяют источник питания.

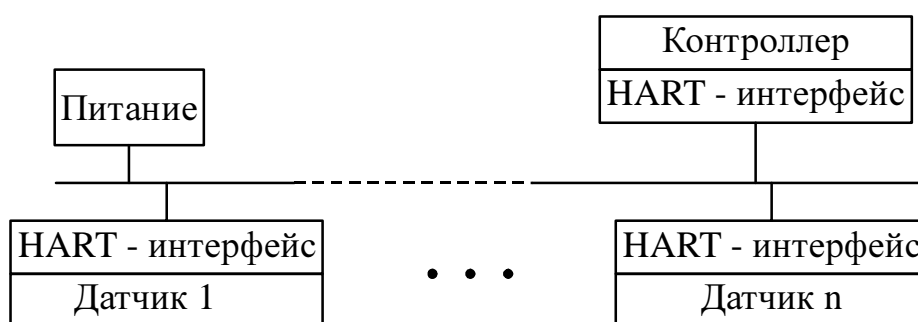


Рис. 5.24. Многоточечное соединение HART-устройств через шину

Конфигурацию HART-устройств, подключенных к линии связи, ведут из ведущего устройства с помощью специально разработанного языка описания устройств DDL (Device Description Language). По- существу, он является общим драйвером для HART-устройств, разработанных разными фирмами. На этом языке задают способ преобразования HART – сигналов в технологические данные, перечень выводимых на экран данных,

HART- интерфейс для подключения распределенных устройств автоматизации к линии связи, реализуют одним из трех способов:

- через удаленное устройство связи с HART –модулем;
- через HART- модем;
- через HART-мультиплексор.

Чаще всего применяют последний способ, позволяющий не только подключать десятки устройств к линии связи, работающей по HART-протоколу, но и выделять цифровой сигнал из смеси аналогового и цифрового сигналов.

Ведущее устройство (контроллер) запрашивает ведомое устройство (датчик). Телеграмма запроса состоит из 7 частей (рис. 5.25 ,а) : преамбулы, старта, адреса ведущего устройства, HART-команды, длины поля данных, поля данных, контрольной суммы. Телеграмма ответа (рис. 5.25 ,б) дополнительно имеет часть, показывающую состояние ведомого устройства. Ведущие устройства имеют разные адреса, что повышает надежность обмена данными между ними и ведомыми устройствами.



Рис.5.25. Структура HART-телеграммы: а- запрос ведущего устройства; б- ответ ведомого устройства

HART-команды передают на прикладном уровне. К ним относятся универсальные команды (считывание первичных значений и диапазона измерений) , текущие команды (задать некоторое значение) , специальные команды (калибровать пьезоэлектрический датчик).

К универсальным командам относятся : изготовитель устройства, проверка работоспособности, модель, изменение характеристик, описание устройства, пределы измерения, затухание, состояние устройства, выходные величины.

К текущим командам относятся : считывание переменных (до 256), установка на ноль, тестирование, изменение значений постоянных величин, изменение диапазона изменений переменных, подробное считывание состояния устройства.

К специальным командам относят: ввод специальных функций, калибруемые величины, преобразователи единиц, управление началом, остановкой и повторением измерения, задание перечня выводимых показаний,

Передаваемые данные содержат:

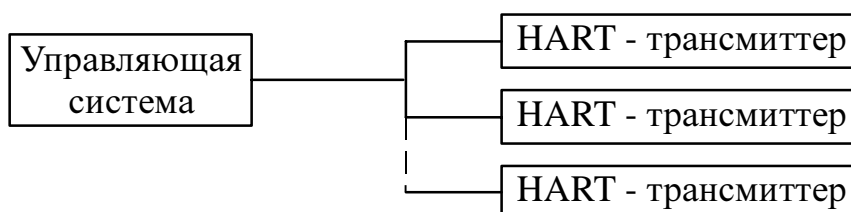
- значения переменных (до 256);
- состояние устройств (заданное и фактическое);

- информацию об устройстве (изменение величины, описание устройства, верхнее и нижнее значения,);
- информацию о калибровке устройства (выход значений за пределы, изменение конфигурации, характеристики устройства.

Структура HART-сети может быть двухточечной или многоточечной (рис.5.26). В двухточечной структуре сигнал датчика с помощью HART- транслятора преобразуется в HART-телеграмму и с помощью HART- коммуникатора передается в управляющую систему. В многоточечной структуре сигналы датчиков преобразуются в HART-телеграммы с помощью HART-трансммиттеров, установленных на датчиках.



а)



б)

Рис. 5.26. Структура HART- сети: а- двухточечная; б- многоточечная

В HART- протоколе определены три уровня протокола из семи, заданных стандартом ISO/OSI. Это физический, каналный и прикладной уровни.

HART- протокол позволяет вывести на экран :

- показания многих датчиков одновременно;
- положение многих исполнительных устройств одновременно

Предусмотрено предупреждение об изменениях состояния любого устройства.

С помощью HART- протокола датчик через HART – трансмиттер передает токовый сигнал головному устройству. HART- протокол накладывает на аналоговый сигнал цифровой сигнал так, чтобы они не мешали друг другу. Это позволяет одновременно передавать информацию о переменных величинах, выходных сигналах, конфигурации сети, состоянии подключенных к сети устройств.

Процедура связи ведется следующим образом. Ведущее устройство (компьютер или коммуникатор) идентифицирует ведомое устройство и запрашивает информацию от него. Ведомое устройство откликается на запрос ведущего устройства, передавая информацию об изготовителе и свой адрес.

По HART -протоколу можно с одного датчика одновременно передавать несколько величин, например величину потока, плотность протекающего через датчик вещества и его температуру. Подключенные к HART-сети сплиттеры (разделители) позволяют получать из аналогового сигнала датчика дополнительную информацию, например выделять из сигнала датчика расхода давление, разность давлений, температуру (рис. 5.27). Это позволяет сократить число датчиков на объекте.



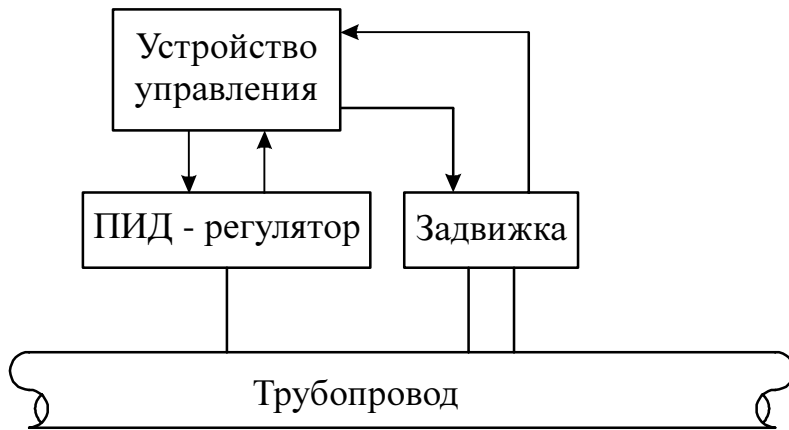
Рис.5.27. Применение сплиттера для выделения данных из аналогового сигнала

В HART -протоколе цифровую информацию передают путем изменения несущей частоты аналогового сигнала. Для передачи цифрового сигнала на аналоговый сигнал накладывают частоты: 1200 Гц, что соответствует логической единице, или 2200 Гц, что соответствует логическому нулю. Скорость передачи составляет 1200 бит в секунду.

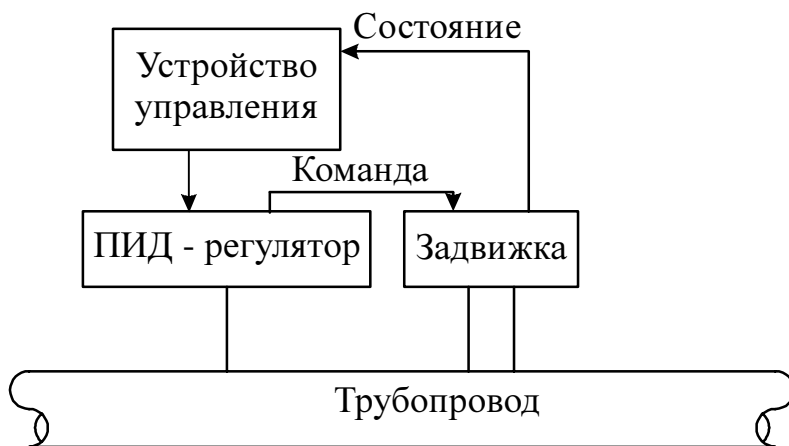
Передаваемые данные содержат:

- значения переменных (до 256);
- состояние устройств (заданное и фактическое);
- информацию об устройстве (изменение величины, описание устройства, верхнее и нижнее значения,);
- информацию о калибровке устройства (выход значений за пределы, изменение конфигурации, характеристики устройства).

На рис. 5.28 показаны способы изменения уставки регулятора поворота задвижки в трубопроводе с помощью пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора традиционным методом (а) и по протоколу HART (б).



а)



б)

Рис.5.28 . Централизованное изменение уставки регулятора поворота задвижки в трубопроводе : а- обычное; б- по HART- протоколу

Если при традиционном методе команду управления задвижкой формирует удаленное устройство управления, то при применении HART – протокола команда управления задвижкой формируется непосредственно ПИД- регулятором. Это позволяет перенести часть функций устройства управления на ПИД-регулятор.

### ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 5

1. Представьте промышленную шину в виде дорожной сети.
2. Что включает протокол обмена информацией?
3. Чем отличаются структуры промышленных шин?
4. Какие линии связи используют в промышленных шинах?
5. Какие способы связи абонентов применяют в промышленных шинах?
6. Опишите порядок обмена информацией между ведущим и ведомым абонентами промышленной шины.
7. Что обеспечивает каждый из семи уровней протокола промышленной шины?

8. Почему в промышленных шинах стали применять Манчестерский код?
9. Что такое телеграмма промышленной шины, из каких частей она состоит?
10. Где применяют локальные сети?
11. Чем отличается организация обмена информацией в CAN-сети от обмена информацией в промышленной сети?
12. Как работает HART- протокол?
13. Чем AS-интерфейс отличается от известных способов подключения датчиков и исполнительных устройств?
14. Какие устройства могут быть подключены к HART-сети?

## Глава 6. Искусственный интеллект в системах управления

### 6.1. Проблема интеллектуализации управления

К интеллектуализации управления относятся попытки воспроизвести техническими средствами сложные процессы принятия решений человеком в неорганизованной среде. Идея интеллектуализации состоит в распознавании неизвестных объектов путем их отнесения к тому или иному классу ранее показанных объектов. Для каждого класса задано некоторое управление

Пусть все возможные объекты распознавания, например люди, образуют множество  $S$  (рис.6.1). Ясно, что показать всех людей, живущих на Земле, невозможно. Интеллектуальной системе показывают так называемую обучающую выборку  $S_1$  – ограниченный набор людей из множества  $S$ .

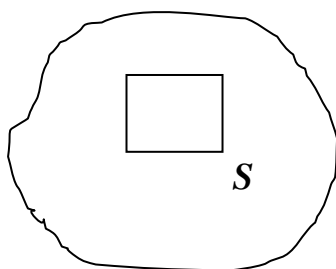


Рис. 6.1 . Распознавание объектов из множества  $S$  по обучающей выборке  $S_1$

Путем обобщения элементов обучающей выборки система интеллектуального управления должна выработать знания, позволяющие распознавать неизвестные элементы из множества  $S$ . Задача усложняется, если предстоит распознавать более одного класса объектов.

Система интеллектуального управления отличается вводом базы знаний, в которой на основе поступающей в систему информации происходят приобретение и корректировка знаний о среде.

Эта информация может быть получена от человека, применяющего нечетко сформулированные термины, например, «холодно», «близко» и т.п. Такие термины требуют приведения к четкому техническому соответствию, например,  $-20^{\circ}\text{C}$  – это «холодно», 30 см- это «близко».

При вводе речевой информации интеллектуальная система должна распознать не только содержание фразы, но и индивидуальный характер ее произношения. Преобразование информации на естественном языке в информацию на машинном языке происходит в четыре этапа (рис. 6.2).



Рис. 6.2 . Преобразование информации на естественном языке в информацию на машинном языке

На этапе морфологического анализа выделяют основу каждого слова и путем его сопоставления со словарем делают вывод о правильности слова и относят его к соответствующей грамматической группе- существительному, глаголу, наречию и т.п. Так, для понимания слов на русском языке система должна иметь словарь русского языка. При синтаксическом анализе строят структуру предложения, в котором должны быть подлежащее, сказуемое и второстепенные члены предложения. На этапе семантического анализа происходит понимание смысла предложения по его структуре. Для этого обращаются к логической или сетевой модели знаний о среде. Имеющая смысл фраза проходит затем этап прагматического анализа, при котором ее оценивают с позиции решаемой задачи. Так, фраза «Мальчик едет на ослике» оценивается, если ослик находится на пути движущегося робота и робот должен принимать решение: подать сигнал или остановиться.

К системам интеллектуального управления относятся фаззи-системы, нейронные сети, экспертные системы, системы ситуационного управления, мультиагентные системы.

### 6.2. Интеллектуальные датчики

Снижение стоимости микроэлектронных устройств при одновременном расширении их возможностей позволило встраивать микропроцессоры непосредственно в датчики. Это привело к появлению новых функциональных возможностей датчиков.

Встроенный микропроцессор стал преобразовывать электрический сигнал датчика в вид, соответствующий протоколу промышленной шины, к которой подключен датчик. Появилась возможность непосредственного подключения множества распределенных в пространстве датчиков к двухпроводной линии связи устройств автоматики.

Стало возможным изменять границы зоны чувствительности датчика на месте эксплуатации или с пульта диспетчера. Так, для интеллектуального локационного датчика выделяют зону, в которой он будет реагировать на объект.

При изменении устройства управления датчик может изменять стандартный сигнал, подаваемый на вход устройства. Если воздействия внешней среды способны изменить сигнал датчика, то в зависимости от величины воздействий среды датчик изменяет свои характеристики так, чтобы компенсировать влияние воздействий и передать сигнал, точно показывающий состояние объекта. Например, сигнал о величине температуры в рабочей зоне не должен зависеть от изменений внешней температуры. Оседание пыли и грязи на объективе фотоэлектрических датчиков приводит к снижению их чувствительности. Встроенный в интеллектуальный датчик микропроцессор способен сопоставлять фактическую освещенность датчика с минимальным значением и при загрязнении объектива выдавать сигнал о необходимости чистки объектива. Другая проблема - распознавание объектов на отражающей поверхности. Для правильного распознавания объектив направляют на отражающую поверхность и запоминают освещенность. Затем объектив направляют на ту же поверхность с объектом и электронным путем убирают поверхность, выделяя объект.

Каждый интеллектуальный датчик имеет встроенный индикатор для отображения выходного сигнала на месте установки датчика.

Многие интеллектуальные датчики способны запоминать свои сигналы за заданный период времени.

Вместо индивидуальной настройки каждого из множества датчиков настраивают один из них, затем по каналам связи передают такие же параметры настройки остальным датчикам.

Интеллектуальные датчики оснащают встроенными средствами диагностики и системами замены датчика без отключения питания. Сигналы о неисправности датчика, обрыве и коротком замыкании, неверной настройке могут передаваться диспетчеру по каналу связи.

Одной из привлекательных особенностей интеллектуальных датчиков является возможность их настройки и диагностики на расстоянии. К параметрам настройки относятся выбор режима работы и частоты переключения.

Наделенные интеллектуальными возможностями бесконтактные датчики положения, применяемые при холодной листовой штамповке, могут не только определять наличие детали в рабочей зоне, но и распознавать форму детали, определять расстояние до нее. Для этого датчик испускает короткие импульсы излучения, которые отражаются от объекта. Сопоставление прямого и отраженного излучений позволяет оценить расстояние до объекта.

Интеллектуальные видеодатчики способны распознавать цвет объекта и с высокой скоростью передавать информацию устройству распознавания.

### 6.3. Фаззи-системы

Традиционная теория управления основана на измерении количественных величин. Так, математическую модель объекта регулирования строят путем сопоставления значений его входов и выходов. По мере развития автоматизации известные методы оказались непригодными для сложных объектов, отличающихся следующими особенностями:

- нельзя количественно выразить некоторые цели автоматизации;
- нельзя установить количественную связь между некоторыми параметрами, влияющими на процесс;
- управление является многошаговым, причем нельзя заранее описать каждый шаг;
- полученная традиционными методами модель объекта настолько громоздка, что не может быть использована на практике.

Для таких объектов стали развиваться логико-лингвистические модели управления, в которых данные представляются в лингвистической форме и подвергаются логической обработке [22]. В них строят модель знаний об объекте управления и интерпретатор этих знаний. Новые методы управления нашли свое воплощение в теории фаззи-регулирования.

Теория фаззи-регулирования, предложенная американским ученым Л.Заде в середине 60-х годов, через 20 лет была впервые использована в Дании для управления доменной печью. Ее идея состоит в том, что измеряемой переменной присваивается функция принадлежности некоторому понятию. Покажем смысл функции принадлежности на примере оценки возраста человека (рис. 6.3).

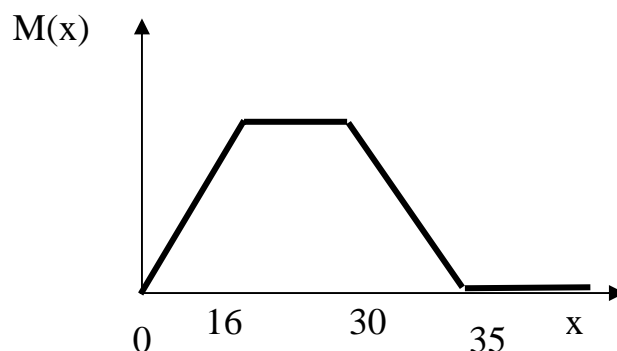


Рис.6.3. Нечеткое множество для понятия "молодой"

Возраст от 16 до 30 лет больше всего соответствует понятию "молодой", поэтому функция принадлежности для него максимальна. До 16 лет функция возрастает до максимума, а после 35 лет убывает до нуля.

Примерно до 16 лет нельзя однозначно утверждать, что человек молодой. Величина функции принадлежности определяется экспертами и имеет вероятностный

характер. Так, по мнению 7-летнего ребенка, понятию "молодой" соответствует возраст, начиная с 10-12 лет, а по мнению пожилого человека – возраст до 40 лет. Ясно, что чем больше возраст человека после 30 лет, тем меньше значение функции принадлежности для понятия "молодой". Если ввести такие понятия как "очень молодой" или "старый", то можно определить общее понятие "возраст", включающее жизненные интервалы с функциями принадлежности к понятиям и полностью перекрывающее период жизни человека.

Как и с обычными множествами, с функциями принадлежности можно вести операции объединения, пересечения и дополнения (рис.6.4). При объединении функций переменная описывается объединенной функцией принадлежности (рис.6.4,а). При пересечении функций переменная описывается общей частью функций принадлежности (рис.6.4,б). При дополнении функций переменная описывается противоположным значением функции принадлежности (рис. 6.4,в).

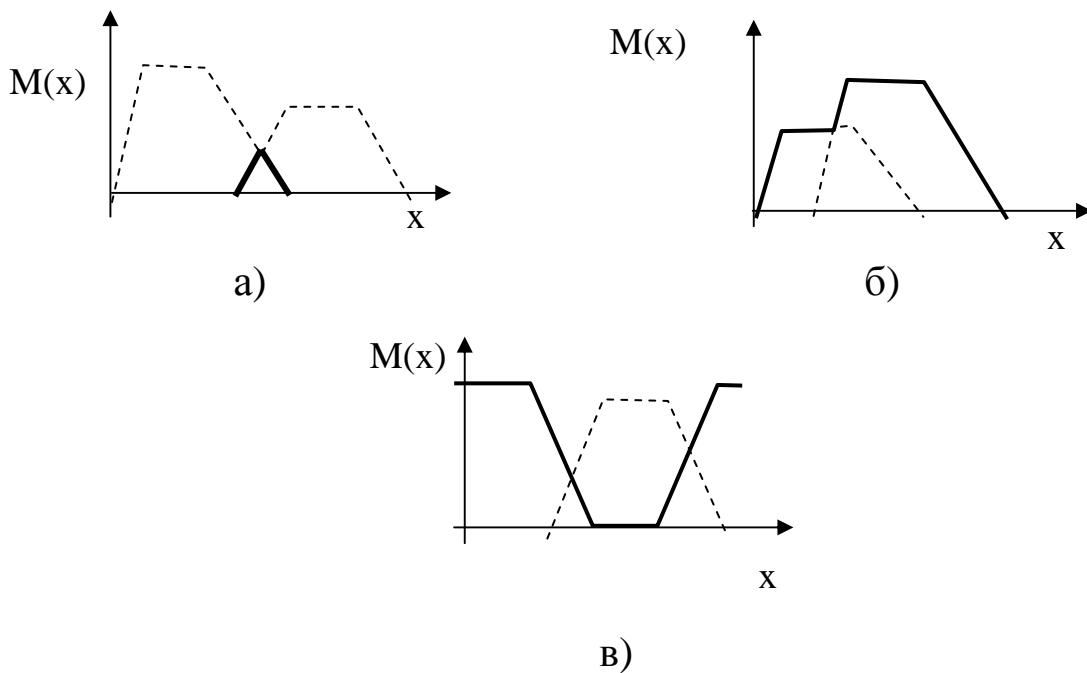


Рис. 6.4. Операции с функциями принадлежности:  
а – объединение; б – пересечение; в – дополнение.

Применяют также специальные операции размывания и концентрации функций принадлежности (рис.6.5).

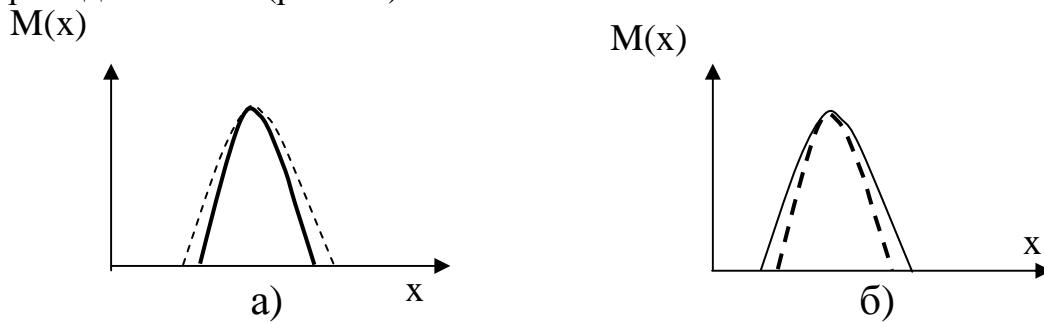


Рис. 6. 5 . Преобразования функций принадлежности :  
а – размывание; б – концентрация

При фаззи-регулировании числовой сигнал датчика сначала переводят в нечеткую форму (фаззифицируют), затем обрабатывают, переводят обратно в числовую форму (дефаззифицируют) и подают на исполнительные устройства. Вместо количественной переменной вводят понятие лингвистической переменной, значениями которой являются слова естественного языка, называемые терминами. Например, при фаззи-управлении движением робота вводят лингвистические переменные: *ДИСТАНЦИЯ* (расстояние от робота до препятствия) и *НАПРАВЛЕНИЕ* (угол между продольной осью робота и направлением на препятствие). Значениями лингвистической переменной *ДИСТАНЦИЯ* являются термины *ДАЛЕКО*, *СРЕДНЯЯ*, *БЛИЗКО* и *ОЧЕНЬ БЛИЗКО*. Терм *ДИСТАНЦИЯ* может принимать любое значение от нуля до бесконечности, но каждому значению должно соответствовать некоторое число от нуля до единицы, которое определяет степень принадлежности некоторого расстояния к тому или иному терму лингвистической переменной *ДИСТАНЦИЯ*. Это соответствие задают функцией принадлежности  $M(d)$ , где  $d$ -расстояние до помехи. Эксперты задают функцию принадлежности измеряемого значения к тому или иному терму. Они могут задать, что принадлежность расстояния в один метр к терму *ОЧЕНЬ БЛИЗКО* равна 0,7, а к терму *БЛИЗКО* – 0,3. Для лингвистической переменной *НАПРАВЛЕНИЕ* с измеряемыми значениями от 0 до 360 градусов зададим термины *ЛЕВОЕ*, *ПРЯМО И ПРАВОЕ*. В качестве выходной переменной примем *РУЛЕВОЙ УГОЛ*, который может содержать термины: *РЕЗКО ВЛЕВО*, *ВЛЕВО*, *ПРЯМО*, *ВПРАВО*, *РЕЗКО ВПРАВО*. Связь между входом и выходом зададим таблицей нечетких правил (табл.6.1).

Таблица 6.1. Таблица правил управления роботом

Направление	Очень близкая дистанция	Близкая дистанция	Средняя дистанция	Дальняя дистанция
Направо	<i>Резко влево</i>	<i>Резко влево</i>	<i>Влево</i>	<i>Прямо</i>
Прямо	<i>Резко влево</i>	<i>Влево</i>	<i>Влево</i>	<i>Прямо</i>
Налево	<i>Резко вправо</i>	<i>Резко вправо</i>	<i>Вправо</i>	<i>Прямо</i>

Каждая запись в таблице соответствует своему нечеткому правилу, например: если ДИСТАНЦИЯ БЛИЗКО и НАПРАВЛЕНИЕ ПРАВОЕ, тогда РУЛЕВОЙ УГОЛ РЕЗКО ВЛЕВО. Задача экспертов – задать функции принадлежности измеряемых величин термам (близко) лингвистических переменных (например дистанция). Таким образом, управление мобильным роботом с нечеткой логикой будет реализовано следующим образом: данные с сенсоров о расстоянии до препятствия и направлении движения робота фаззифицируются, обрабатываются согласно таблице нечетких правил, дефаззифицируются, после чего полученные величины в виде команд поступают на исполнительные устройства робота. Такую систему управления строят в виде фаззи-контроллера, содержащего блок фаззификации, базу знаний, блок решений, блок дефаззификации (рис.6.6).

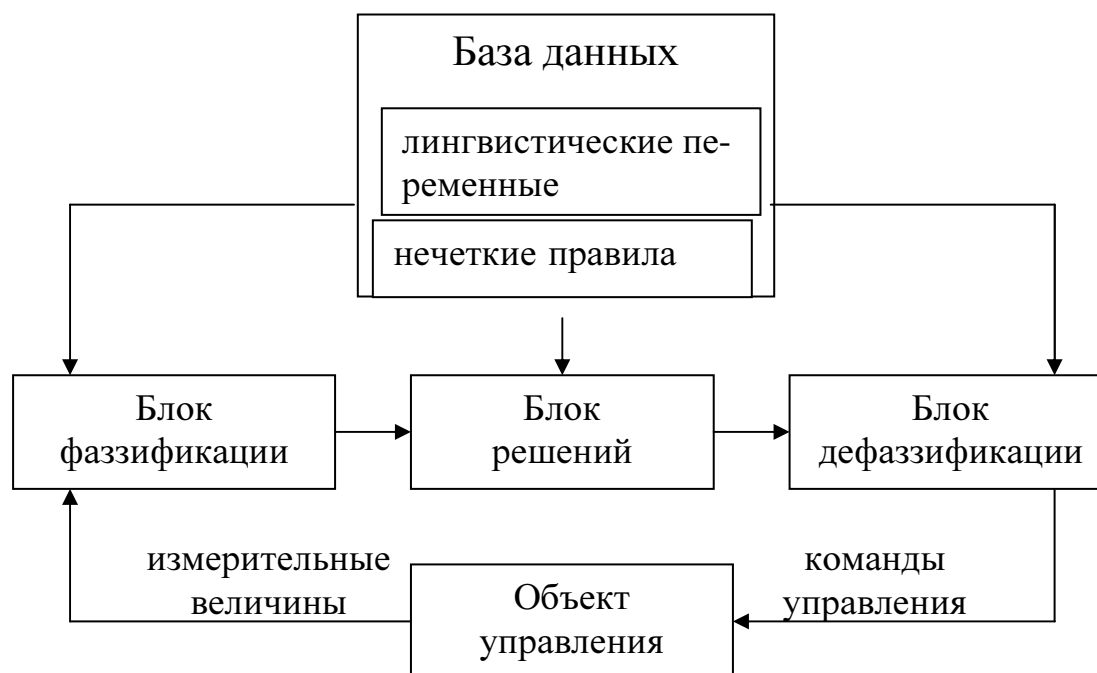


Рис. 6.6. Структура фаззи-контроллера

Блок фаззификации преобразует величины, измеряемые на выходе управляемой системы в нечеткие величины, описываемые лингвистическими переменными, которые заложены в базу знаний. Блок решений использует нечеткие правила типа "если ..., то...", которые тоже заложены в базу знаний. На его выходе появляются нечеткие управляющие решения типа "повернуть влево". Они поступают в блок дефаззификации, где преобразуются в команды для исполнительных устройств в управляемой системе.

## 6.2. Нейронные сети

Идея нейронного управления позаимствована у биологических систем. Современные ЭВМ превосходят человека по способности вычислений. Однако человек может распознавать образы со скоростью и точностью, недоступными компьютеру. Принцип обработки информации мозгом человека принципиально отли-

чается от работы компьютера. Кора головного мозга состоит из  $10^{11}$  нейронов, каждый из которых связан с  $10^3 - 10^4$  другими нейронами. Нейроны взаимодействуют друг с другом путем передачи коротких серий импульсов частотой до сотен герц. Время выполнения операции нейроном не превышает нескольких миллисекунд, однако задача распознавания объекта решается человеком за несколько сотен миллисекунд или за сотню последовательных шагов. Это обеспечивается путем параллельной обработки информации несколькими нейронами одновременно. Распознавание ранее знакомых объектов приводит к усилению связей между некоторыми нейронами и ускорению процесса распознавания. Распознавание незнакомых объектов приводит к формированию новых связей между нейронами. Усиливая или ослабляя связи между нейронами, можно вести обучение нейронной сети распознаванию образов.

Принципы нейронного регулирования во многом отличаются от традиционного, прежде всего изменением связей между параллельно соединенными однородными элементами (табл.6.2).

Таблица 6.2. Сопоставление традиционного и нейронного регулирования

<i>Свойство</i>	<i>Традиционное</i>	<i>Нейронное</i>
Процессор	Один, сложный и высокоскоростной	Много, простые и низкоскоростные
Память	Отдельная, с присвоенной адресацией	Встроенная в процессор, по содержанию
Вычисления	Централизованные, последовательные, с хранением программ	Распределенные, параллельные, с самообучением
Надежность	Неработоспособность при отказе элемента	Живучесть при отказе элемента
Специализация	Обработка двоичной информации	Распознавание информации
Среда	Определенная, ограниченная	Неорганизованная, неограниченная

Первая попытка технической имитации процесса обучения и распознавания с помощью нейронов была предпринята Ф. Розенблаттом в 1958 г. Перцептрон Розенблатта состоит из чувствительных S-элементов, случайно связанных с ассоциативными A-элементами, которые через усилители Y соединены с реагирующими R-элементами (рис.6.7).

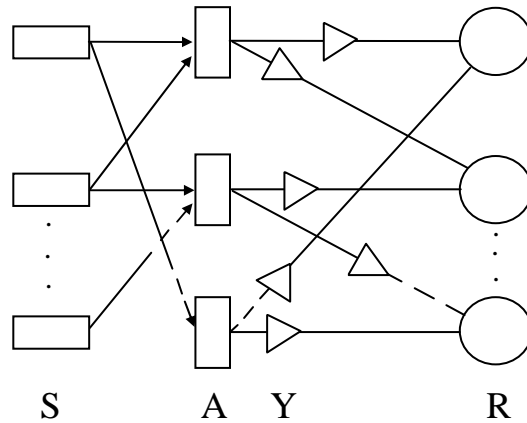


Рис. 6.8. Перцептрон Розенблатта

Выход А-элемента отличается от нуля, если на его входе включилось несколько S-элементов. Некоторая комбинация выходов А-элементов после их усиления распознается R-элементом как определенный образ. При обучении перцептрона S-элементы воспринимают некоторые образы, для каждого из которых известен класс R. Если для  $i$ -го образа включился элемент  $R_i$ , то “поощряют” правильное решение, увеличивая коэффициенты усиления усилителей в соответствующих связях. Если включился другой элемент, то коэффициенты усиления уменьшают до выключения R-элемента. После такого обучения перцептрон способен самостоятельно распознавать образы. Вскоре исследования показали, что перцептроны могут решать лишь ограниченный круг задач. Тем не менее их идея стала далее развиваться в нейронных сетях.

Нейронная сеть состоит из множества связанных друг с другом нейронов. Связи между нейронами имеют разные весовые коэффициенты, которые задают в процессе обучения нейронной сети. Нейрон может быть представлен как соединение адаптивного сумматора с нелинейным преобразователем (рис.6.8).

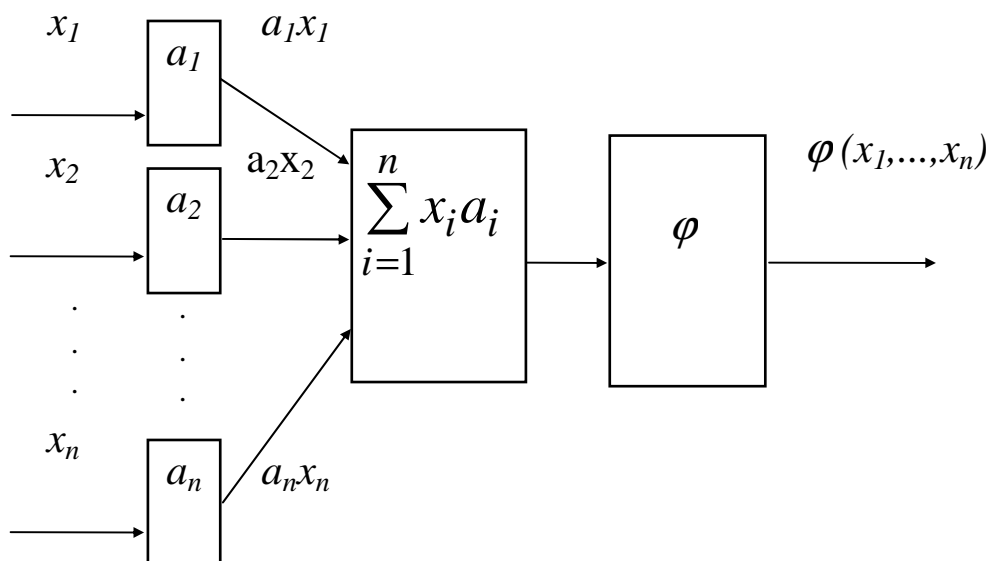


Рис. 6.8. Техническая имитация нейрона

Значения признаков среды  $X_1, \dots, X_n$  подают на входы усилителей с коэффициентами усиления  $a_1, \dots, a_n$ , которые настраивают в процессе обучения нейрона. На выходах усилителей образуются произведения сигналов на их весовые коэффициенты  $a_1 x_1, \dots, a_n x_n$ . Эти произведения поступают в адаптивный сумматор, где суммируются. Сумма поступает в нелинейный преобразователь  $\varphi$ , который по ее величине определяет, к какому классу относится ситуация, заданная значениями признаков  $x_1, \dots, x_n$ . Решение подают на входы других нейронов или к исполнительному устройству объекта. Таким образом, нейронная сеть, на которую поступило множество значений признаков среды и состояния объекта, способна распознать неизвестную технологическую ситуацию по заданным в процессе обучения весовым коэффициентам входных сигналов. Обучение нейронной сети сводится к настройке весовых коэффициентов так, чтобы определенному набору ситуаций соответствовало одно решение. Если задаются однозначные связи “ситуация-решение”, то обучение организуется автоматически.

Нейронные сети строят из нескольких слоев (рис.6.9).

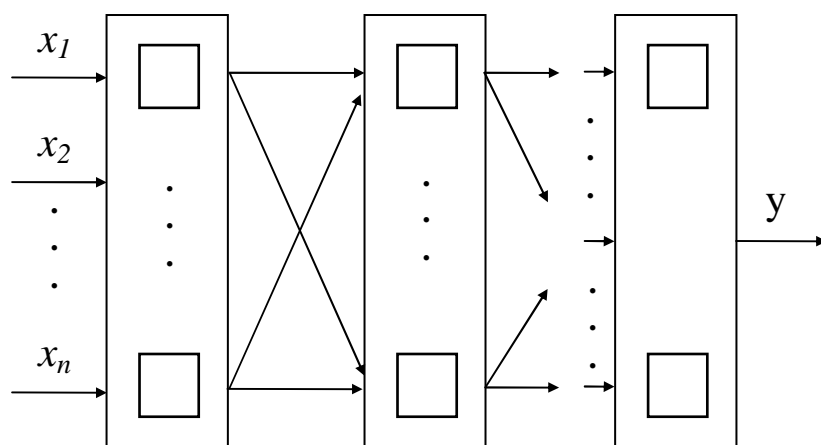


Рис.6.9. Многослойная нейронная сеть

Нейроны первого слоя получают значения признаков ситуаций и после преобразования передают результаты первичной обработки следующему слою. Каждый выходной сигнал каждого нейрона поступает на вход каждого нейрона следующего слоя. Последний слой формирует решение: к какому классу отнести данную ситуацию. Различают нейронные сети прямого и обратного распространения. В сети прямого распространения передача сигналов идет в одном направлении, поэтому предыдущее состояние сети не влияет на последующее состояние. В сети обратного распространения введены соединения выходов некоторого слоя с его входами или входами предыдущих слоев, что придает сети свойство памяти о предыдущем состоянии.

Таким образом, на основе предварительного обучения системы управления, построенной в виде нейронной сети, она приобретает способность распознавать неизвестные ситуации. Эта способность похожа на процесс интеллектуального развития человека. Различают алгоритмы обучения с учителем и без учителя.

Обучение с учителем предполагает, что для каждого сочетания входов сеть должна вырабатывать правильный выход. Связи между нейронами усиливают или ослабляют так, чтобы снизить расхождение между появившимся и правильным выходами сети.

Обучение без учителя сводится к тому, что связи между нейронами усиливают или ослабляют так, чтобы для близких друг к другу входов сеть вырабатывала одинаковые выходы.

В обоих случаях неизвестные входы распознаются с некоторой вероятностью ошибки.

Способность нейронной сети распознавать неизвестное состояние динамической системы используется в системах автоматического регулирования. Система с нейронной сетью работает в режимах обучения и регулирования (рис.3.8).

Необходимо уменьшить рассогласование между заданным  $d$  и фактическим  $x$  выходами путем изменения весов  $W_{ij}$  в соединениях нейронов. В режиме обучения их изменяют так, чтобы рассогласование было минимальным. После настройки систему переводят в режим регулирования. Сеть начинает вырабатывать сигналы  $u$ , обеспечивающие минимальное рассогласование между заданной  $d$  и фактической  $x$  величинами.

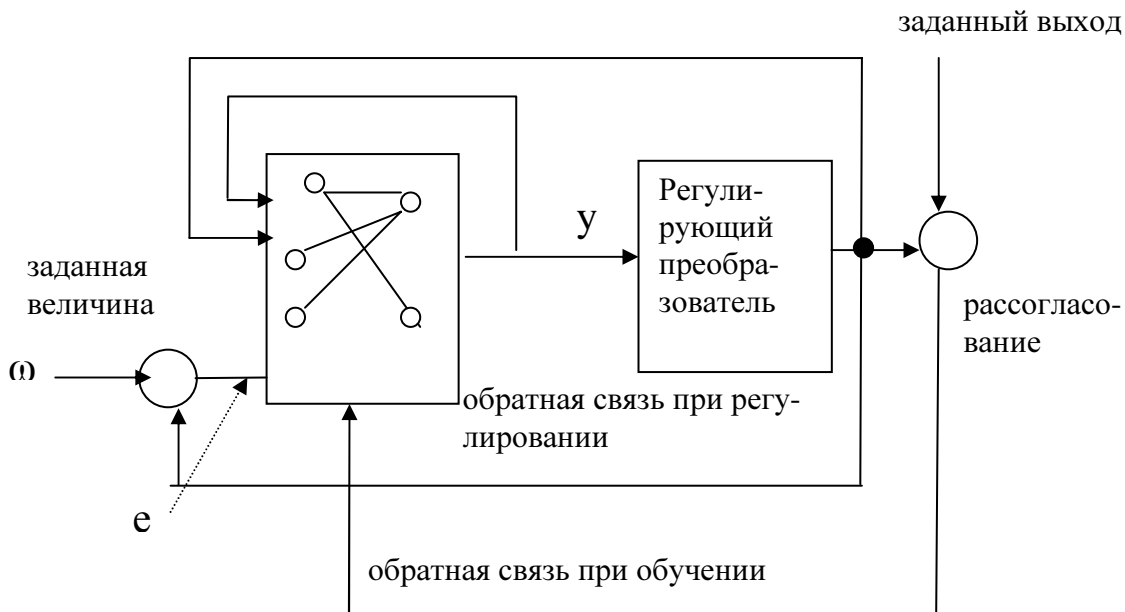


Рис.6.10. Система автоматического регулирования с нейронной сетью

### 6.3. Мультиагентное управление

Идея мультиагентного управления состоит в том, что устройства управления на распределенных в пространстве объектах управления обмениваются информацией друг с другом с целью корректировки общего поведения системы объектов при изменениях внешней среды. Ее появление стало возможным благодаря

развитию микропроцессоров и высокоскоростных каналов обмена информацией. Если при централизованном управлении программы управления объектами изменялись от центральной ЭВМ (рис.6.11,а), то при мультиагентном управлении объекты управления передают информацию друг другу через соединяющий их канал связи (рис. 6.11,б).

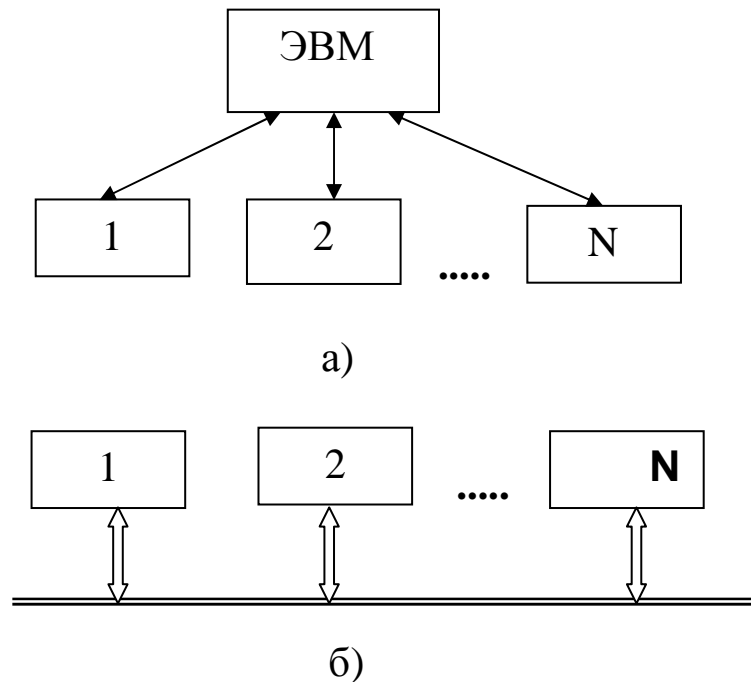


Рис.6.11. Централизованное (а) и мультиагентное (б) управление

Агентом называют автономную интеллектуальную систему, состоящую из подсистем движения, получения информации, управления и связи. При функциональном подходе под агентом понимают некоторую функцию, например обобщение заказов, доставку материалов, планирование работы. При физическом подходе под агентами понимают материальные объекты – машины, рабочих, инструменты, продукты. Агент обладает свойствами коллегиальности (способности к согласованию своих действий с действиями других агентов для решения общей задачи); автономности (способности самостоятельно решать локальные задачи); адаптивности (способности автоматически приспосабливаться к изменяющейся среде); активности (способности к действиям, направленным на достижение локальных и общих целей); информационной и двигательной мобильности (способности отыскивать объекты, информацию и энергию для кооперативного решения общей задачи). Множество агентов, соединенных каналом обмена информацией, называют мультиагентной системой. Перед ней ставят общую задачу, которая делится на локальные задачи, решаемые каждым агентом. Локальные задачи могут изменяться в зависимости от сигналов других агентов.

При разработке мультиагентной системы решают задачи как локального, так и коллективного управления агентами. Для этого используют методы коллективного поведения автоматов, теорию игр, теорию расписаний, методы оптимального планирования и адаптивного управления. Примеры таких задач:

- оптимальное или адаптивное планирование движения системы агентов в неизвестной среде с препятствиями;
- оценка окружающей среды и поведения других роботов с позиции задач, решаемых агентом и мультиагентной системой;
- распознавание и классификация неизвестных ситуаций ;
- предупреждение столкновений агента с препятствиями и другими агентами;
- изменение поведения при выбытии агентов мультиагентной системы.

Для их решения мультиагентная система должна согласовывать деятельность агентов, обеспечивающую решение общей задачи. Распределение локальных задач между агентами ведется с помощью метода ветвей и границ, позволяющего минимизировать число вариантов распределения задач. Для решения общих задач в мультиагентную систему вводят агента-координатора, который разбивает общую задачу на локальные, распределяет задачи между агентами, организует коллективное поведение агентов и разрешает конфликты при решении общей задачи. Функции агента-координатора могут передаваться локальным системам управления агентами в виде "правил дорожного движения".

В качестве примера рассмотрим управление движением мультиагентной системы в неизвестной среде с препятствиями (рис. 6.12). Каждый агент оснащен дальномером.

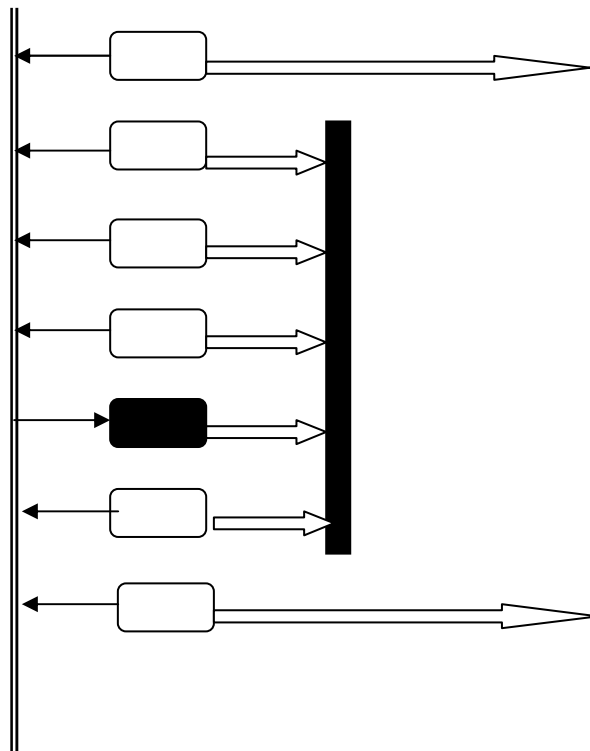


Рис.6.12. Движение мультиагентной системы в среде с препятствиями

Движущаяся цепь агентов встречает препятствие на своем пути. С какой стороны обходить его каждому агенту? Через канал связи с другими агентами он получает информацию о расстоянии до препятствия для каждого агента, сравнивает числа агентов перед препятствием справа и слева от себя, после чего принимает решение о повороте направо или налево.

Чтобы упростить систему управления агентом, к каналу связи подключают агент-координатор, который оценивает состояние каждого агента, строит модель внешней среды и распределяет между агентами команды изменения скорости или временной остановки.

Другой пример – полет совокупности межконтинентальных ракет, каждая из которых направлена на определенную цель. При уничтожении в процессе полета некоторых ракет системой противоракетной обороны оставшиеся ракеты перераспределяют их цели между собой, таким образом, чтобы в любом случае были поражены приоритетные цели.

В задачах автоматизации производства мультиагентное управление может применяться для согласованного управления распределенными единицами оборудования в ходе технологического процесса. Роботизированная сборочная линия может рассматриваться как мультиагентная система, целью которой является выдача изделия, собранного из деталей [23]. Распределенные вдоль сборочного конвейера роботы  $R_1, \dots, R(N)$  являются агентами, каждый из которых работает по программе своего этапа сборки (рис. 6.13).

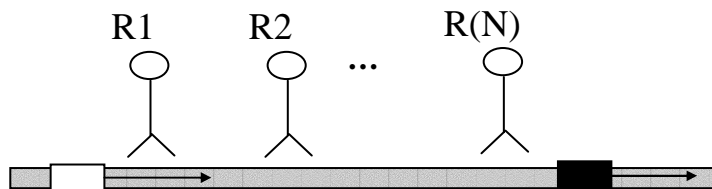


Рис. 6.13. Роботизированная сборочная линия как мультиагентная система

При традиционном управлении линией отказ одного из роботов приводит к остановке линии. При мультиагентном управлении программа отказавшего робота перераспределяется между оставшимися роботами так, чтобы работа линии продолжалась, хотя и с пониженной производительностью.

Применение мультиагентного подхода к автоматизации производства обеспечивает ускоренную адаптацию производства к требованиям рынка, включение заказчиков в цепь производства, эффективное распределение ресурсов производства, оптимизацию информационного обмена и обратных связей.

#### 6.4. Экспертные системы

Экспертная система представляет собой интеллектуальную программу, в которой хранятся знания, полученные от экспертов в некоторой области. Эксперт – это человек, владеющий комплексом знаний в определенной области. В своих действиях он не использует простые правила “если  $A$ , то  $B$ ”, по которым может

быть построена простая система логического управления. Его рассуждения взвешивают различные факторы: “если  $A$ , то  $B$  будет вероятнее, чем  $C$ , но лишь сопоставив  $D$  и  $E$ , можно точно сказать, так это или нет”. Экспертная система состоит из проблемно независимого интерпретатора знаний и проблемно зависимой базы знаний. Интерпретатор знаний содержит систему логических выводов, управляющую шагами решения задачи, и координирующую систему, связывающую базу знаний с вырабатываемым системой решением. Для представления неформализованных знаний экспертов в стандартной форме используют язык исчисления предикатов. Это позволяет делать новое заключение на основе двух или более утверждений с общими элементами. Например, из двух утверждений “препятствие – это объект перед роботом” и “человек – это объект” следует заключение “человек перед роботом – препятствие”.

Субъективные свойства человека-эксперта приводят к трудностям при формализации его знаний, учете прошлого и редко применяемого опыта, представлении неосознанных знаний. Поэтому экспертные системы часто соединяют с нейронными сетями, что позволяет использовать интерпретацию знаний в экспертных системах совместно со способностью нейронных сетей к обучению и работе с неполными данными.

Одним из приложений экспертных систем управления в промышленности являются системы ситуационного управления [22]. Система ситуационного управления (рис.6.14) содержит блок восприятия, анализатор, коррелятор, классификатор и экстраполятор.

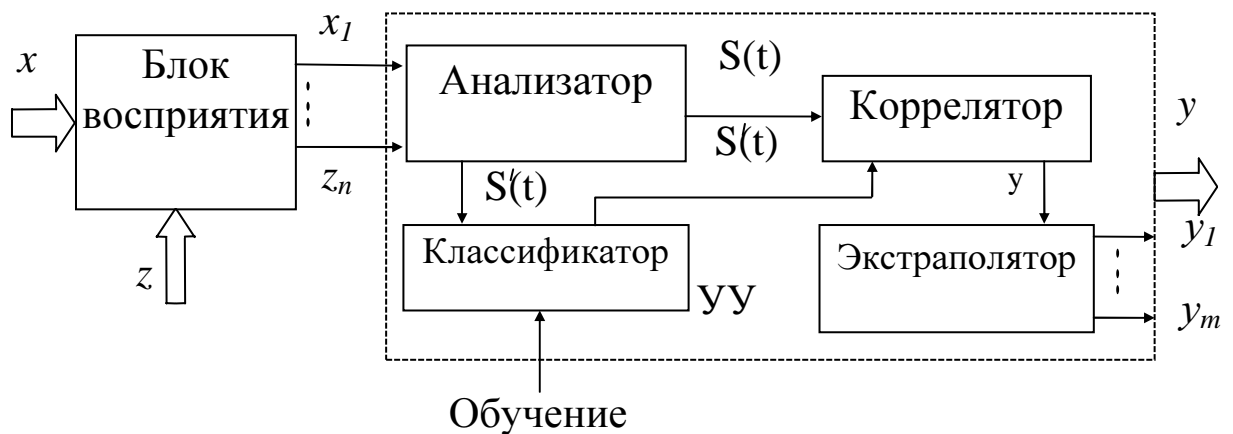


Рис. 6.14. Схема ситуационного управления

На этапе обучения оператор вводит в память классификатора пары “ситуация-решение”. Для этого используют двухвходовую обучающую таблицу, в левой части которой записывают набор признаков, в правой – решение. Ситуация – это набор признаков, связанных пространственно-временными отношениями типа “быть одновременно”, “находиться впереди” и т.п. В классификаторе формируют и хранят правила обобщения ситуаций. Обобщенные классификатором ситуации записывают в анализатор, а пары “обобщенная ситуация – команда управления” – в коррелятор. Экстраполятор выбирает оптимальное решение из нескольких вари-

антов, прогнозируя развитие процесса. На этапе управления блок восприятия передает в анализатор набор состояний признаков  $x_1, \dots, x_n$ , описывающий текущую ситуацию. Если ситуация встречалась при обучении, то ее передают в коррелятор, который отыскивает соответствующую команду и через экстраполятор переключает исполнительные устройства робота. Если ситуация незнакома, она передается в классификатор, который путем последовательных обобщений относит ее к одному из классов известных ситуаций и передает в коррелятор. Основная проблема состоит в правильном обобщении множества ситуаций по классам, число которых соответствует решениям, принимаемым оператором.

#### 6.4. Имитация и анимация технологического процесса

Аналитические модели описывают технологический процесс последовательностью математических формул. В отличие от них, имитационные модели отображают созданное в компьютере случайное взаимодействие элементов технологического процесса во времени и пространстве. Принцип имитационного моделирования заключается в том, что поведение системы отображают компьютерной моделью взаимодействия ее элементов во времени и пространстве (рис.6.15). Имитационную модель соединяют с визуальной моделью, отображающей взаимодействие элементов системы на экране компьютера.

Проверяют правильность отображения системы моделью, задают шаг и время имитации поведения системы. Затем с компьютерной моделью проводят имитационные эксперименты типа «Что, если?». Результаты экспериментов с моделью представляют как результаты экспериментов с системой.

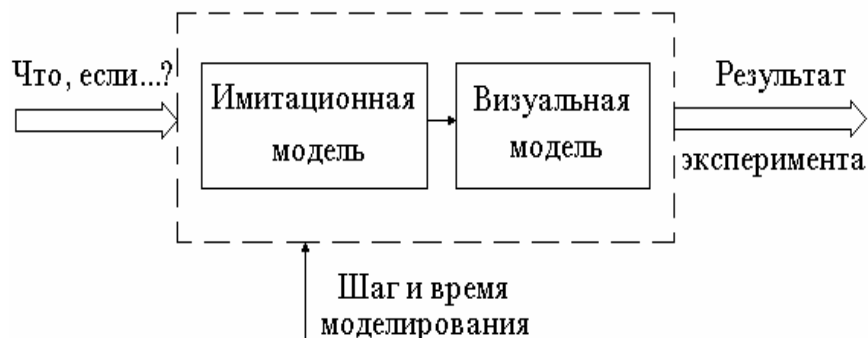


Рис.6.15. Метод имитационного моделирования

Применение имитационного моделирования целесообразно, если:

- проведение экспериментов с реальной системой невозможно или дорого;
- требуется изучить поведение системы при ускоренном или замедленном времени;
- аналитическое описание поведения сложной системы невозможно;
- поведение системы зависит от случайных воздействий внешней среды;
- требуется выявить реакцию системы на непредвиденные ситуации;
- требуется проверить идеи по созданию или модернизации системы;
- нужно подготовить специалистов по управлению реальной системой .

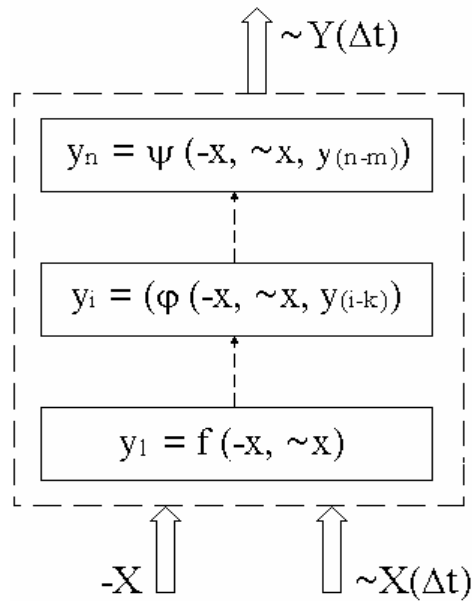


Рис. 6.16. Имитация процесса методом статистических испытаний (метод Монте-Карло)

Процесс имитационного моделирования включает четыре основных этапа:

- построение имитационной модели технологического процесса;
- оценка соответствия модели объекту моделирования (верификация и валидация);
- проведение на модели множества имитационных экспериментов по оценке влияния изменений структуры и параметров на показатели технологического процесса (Что будет, если ...?);
- технологическая интерпретация результатов имитационных экспериментов.

Если аналитическое моделирование сводится к расчетам показателей процесса за определенный период времени, то имитационное моделирование отображает развитие процесса во времени. Для этого применяют вычислительную технику.

На первом этапе развития имитационного моделирования динамику процесса описывали как последовательность уравнений с детерминированными  $-X$  и случайными  $\sim X(\Delta t)$  коэффициентами в виде программы на универсальном алгоритмическом языке типа Фортран (рис. 6.16).

Время моделирования разбивали на одинаковые шаги  $\Delta t$ , для каждого из которых рассчитывали изменение процесса  $\sim Y(\Delta t)$ . Такой метод статистических испытаний или метод Монте-Карло иногда считают единственным методом имитационного моделирования. Поскольку шаг моделирования  $\Delta t$  устанавливали для самого быстрого элемента, то после имитации получали множество ненужных данных о шагах, когда изменений в системе нет. Модель плохо поддавалась доработке, а ее создание требовало больше года работы технолога с программистом и часто отставало от развития технологии. Сложность программного обеспечения

делала имитацию недоступной для инженеров. Применение метода Монте-Карло за рубежом было прекращено в конце 60-х годов, когда появились специализированные языки имитационного моделирования GPSS, SIMAN, SLAM, SIMSCRIPT, SIMULA, GASP.

Многие из них основаны на теории сетей очередей, в которых случайные заявки обслуживаются приборами. Специализированные языки содержат блоки, написанные на некотором универсальном языке и показывающие смену состояний процесса. В отличие от первого метода процесс отображается не системой уравнений, а взаимодействием отдельных динамических моделей  $E_1, \dots, E_n$  во времени и пространстве (рис.6.17).

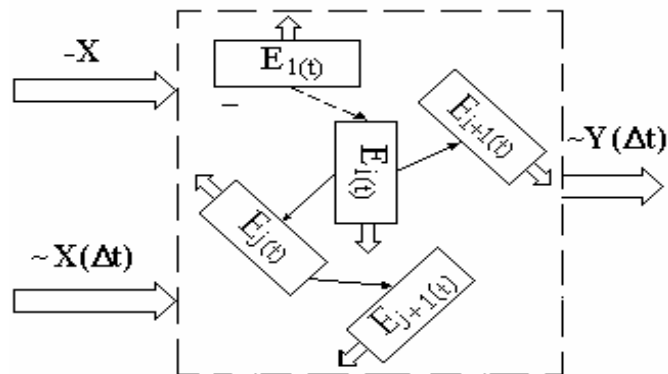


Рис. 6.17. Имитация процесса на специализированном языке имитационного моделирования

Поведение системы описывается от события к событию, которыми являются начало или окончание технологической операции. Это позволило сократить время разработки модели до нескольких дней и легко менять данные в имитационных экспериментах.

Наиболее распространен специализированный язык GPSS (General Purpose Simulation System), предложенный фирмой IBM в 1962 г. Он развивался в версиях GPSS II, GPSS/R, GPSS/360, GPSS IV, GPSS V и GPSS/H. Язык основан на теории массового обслуживания, рассматривающей прохождение объектов через прибор с некоторым временем обслуживания. Закон движения объектов и время обслуживания могут изменяться по различным законам распределения случайных величин. В версии GPSS/H (General Purpose Simulation System / Henriksen) применяются ориентированные на имитацию блоки: ADVANCE (задержать на время операции); SEIZE (занять на время обслуживания); RELEASE (освободить); LOOP (повторить цикл) и другие, состоящие из десятков операторов универсального языка.

Язык GASP (General Activity Simulation Program) написан на языке FORTRAN и позволяет моделировать как дискретные, так и непрерывные системы. Специализированный язык SIMSCRIPT (SIMulation SCRIPT) написан без использования универсального языка и предназначен только для дискретных систем.

Проблемно-ориентированные имитаторы на алгоритмических языках высокого уровня разрабатывают как альтернативу специализированным языкам. В них предусмотрены стандартные формы для ввода структуры и параметров объекта моделирования (рис. 6.18).

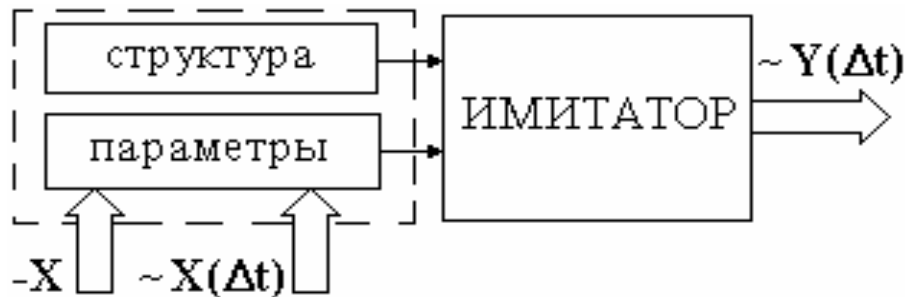


Рис. 6.18. Имитация процесса с помощью проблемно – ориентированного имитатора

После заполнения форм имитатор отображает процесс по шагам модельного времени  $\Delta t$ . Затем анализируют поведение объекта в нужные моменты времени. С идеей имитаторов хорошо совмещается математический аппарат сетей Петри. Его применяют при оценке эффективности систем, проверке протоколов передачи данных, анализе распределенных программных систем и баз данных, синтезе отказоустойчивых систем, построении учреждений информационных систем и логических программ, анализе гибких производственных систем, нейронных сетей и моделей принятия решений.

Недостатком имитационного моделирования является сложность технологической интерпретации результатов имитационных экспериментов, представленных большим набором чисел. Разработчику трудно выявлять ошибки в имитационной модели процесса. В последнее время создаются языки компьютерной анимации Proof Animation, ARENA, CINEMA, позволяющие отображать процесс имитации как движение оборудования на мнемосхеме технологического процесса. На экран можно выводить результаты имитационных экспериментов. Сначала анимацию использовали для визуального отображения процесса и проверки имитационной модели. Вскоре выявились новые возможности анимации. Не владея программированием, технолог может вводить характеристики оборудования, менять масштаб участков изображения, выводить на экран статистические показатели, быстро перемещаться во времени с целью анализа и прогноза ситуаций. Для анимации на языке Proof Animation сначала изображают неподвижные объекты: технологическое оборудование, надписи и таблицы. Затем рисуют динамические элементы (материальные потоки) и задают пути их движения среди неподвижных объектов. Файл управления визуализацией движения динамических элементов формируется после имитационного моделирования (рис. 6.19).

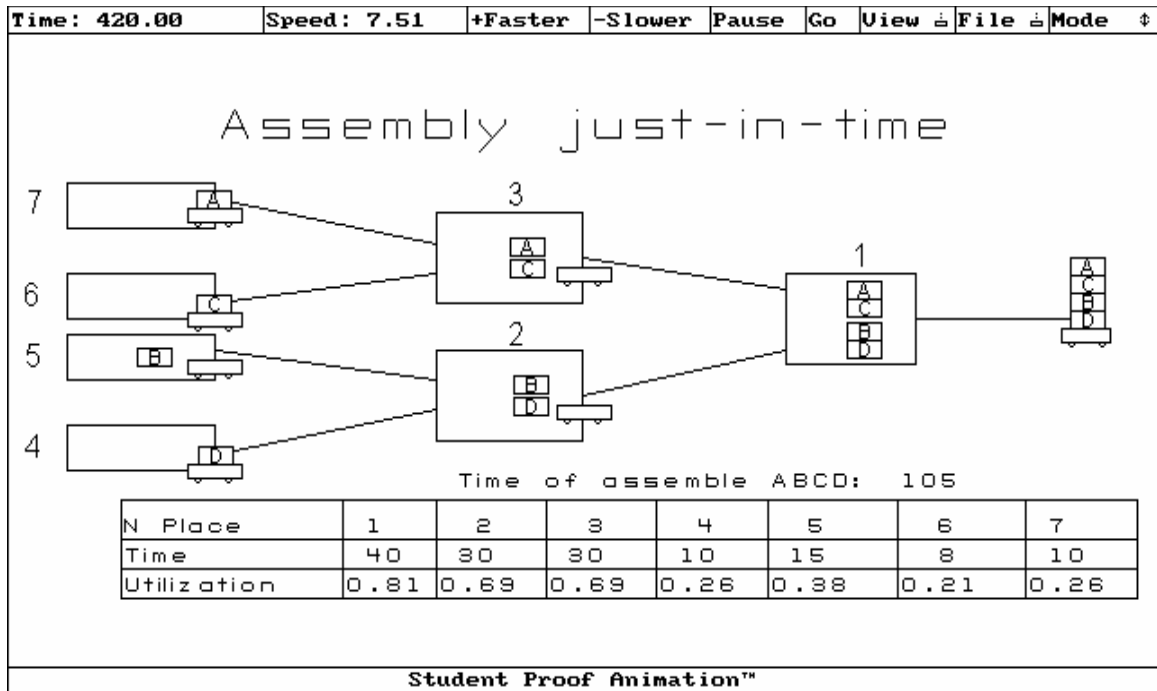


Рис. 6.19. Пример анимации многоступенчатой сборочной системы, работающей в режиме “Just-In-Time”

Для имитации дискретных процессов применяют также прямую анимацию на языках TAYLOR II и WITNESS .

В системе TAYLOR II модель строят из элементов, продуктов и размещений. Элемент представляет собой место обработки продукта, место ожидания продукта в очереди или входной и выходной накопители. Пользователь размещает элементы и вводит их свойства: производительность, время цикла, время операции. После имитации выдается информация об изменениях в системе, количестве произведенных продуктов, степени использования элементов, времени ожидания. Пользователь составляет мнемосхему процесса из стандартных изображений и организует взаимодействие движущихся элементов на экране компьютера. Имитационные эксперименты ведут прямо по мнемосхеме. После эксперимента на мнемосхеме отображаются его результаты в виде размера очереди, времени движения, использования оборудования.

Визуальная интерактивная имитационная система WITNESS включает меню пользователя, набор простых команд, библиотеку визуальных модулей, числовые характеристики и гистограммы. Модули могут быть физическими и логическими. Физические элементы представляют собой машины, рабочих и траектории их перемещений. Логические элементы включают законы распределения, гистограммы, переменные и функции. Для связи элементов используют действия, правила и выражения. Действия обеспечивают логику функционирования модели. Правила определяют порядок движения элементов. Выражения собирают данные для статистической обработки.

Приложения имитации и анимации в системах компьютерной автоматизации производства можно разделить на четыре группы (рис. 6.20).

В системах диспетчеризации SCADA (рис. 6.20, а) датчики состояния оборудования подают сигналы на мнемосхему работы системы, по которой диспетчер управляет процессом. Здесь нет имитационного моделирования, позволяющего ускорять или замедлять модель процесса. Создание имитационной модели процесса (рис. 6.20, б) позволяет проектировщику или технологу проводить эксперименты с моделью и выбирать лучший вариант после интерпретации результатов моделирования. С помощью анимации процесса (рис. 6.20, в) специалист может лучше интерпретировать результаты имитационного моделирования. Компьютерная имитация может проводиться одновременно с реальным процессом (рис. 6.20, г). Наблюдая за процессом, диспетчер может прогнозировать последствия своих решений в режиме ускоренной имитации, возвращаясь затем к реальному времени и выбирая лучшее решение. Для того, чтобы имитационное моделирование со временем не отклонялось от реального процесса, в модель надо вводить сигналы от датчиков состояния технологического оборудования (показано пунктиром на рис. 6.20, г).



Рис. 6.20. Приложения имитации и анимации технологических процессов: а – управление в реальном времени по информации от датчиков; б – проектирование путем проведения имитационных экспериментов; в – проектирование путем имитации и анимации процесса; г – управление в реальном времени с синхронизацией реального процесса и его компьютерной модели

Такие методы повышают эффективность проектирования и управления в системах компьютерной автоматизации производства.

### 6.5. Гибкость, открытость и прозрачность производства

Благодаря переходу к компьютерной интеграции управления в современных технологиях автоматизации появились свойства гибкости, открытости и прозрачности производства.

**Гибкость** – свойство производственной системы переходить в пределах своих технологических возможностей из одного состояния в другое с целью выполнения изменившегося заказа. В современном производстве гибкость обеспечивается путем замены механических элементов специализированного технологического оборудования на программное управление многофункциональным оборудованием. Различают четыре уровня гибкости:

- жесткое производство с одним состоянием для выпуска одинаковых изделий, например роторные линии;
- перенастраиваемое производство, которое переходит в новое состояние после остановки и переделки оборудования, например линия специализированных станков, выстроенная по порядку технологического процесса;
- переналаживаемое производство, которое переходит в новое состояние после остановки и регулировки оборудования, например линия универсальных станков с переналаживаемой оснасткой;
- гибкое производство, которое переходит в новое состояние после централизованного изменения программ автоматического управления оборудованием.

Основой гибкого производства являются групповая технология обработки деталей и система числового программного управления единицами оборудования с передачей программ от центральной ЭВМ [13].

В традиционной технологии, (рис.6.21,а), детали А и Б проходят по независимым линиям обработки, число которых равно числу выпускаемых изделий.

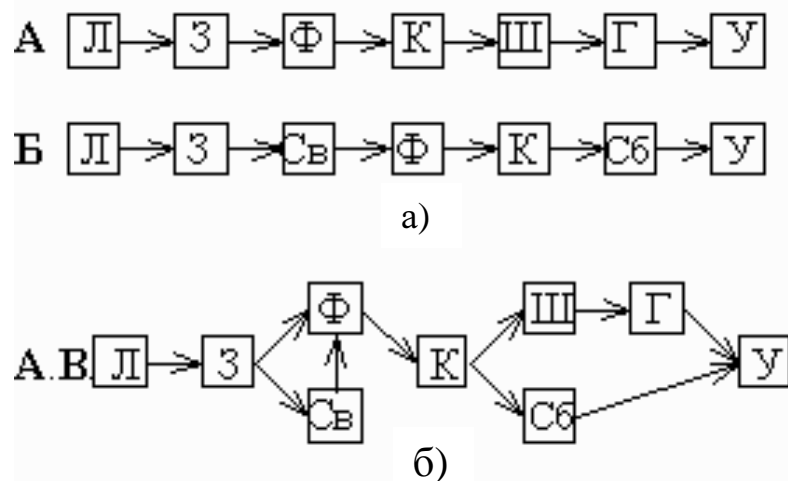


Рис.6.21. Схемы обработки деталей при традиционной (а) и групповой технологиях (б);

Л – литье, З – зачистка, Ф – фрезерование, Св – сверление, К – контроль, Ш – шлифование, Г – гальванообработка,

Принцип групповой технологии заключается в группировании деталей по конструктивно – технологическому и габаритному подобию, идентичности материала, общности технологического маршрута и базирования детали при обработке. Для групп деталей разрабатывают технологические маршруты прохождения через одну линию обработки с использованием общих участков для разных групп (рис. 6.21, б). Общие участки Л, З, К, У переналаживаются на обработку разных групп деталей. Производительность групповой технологии ниже, чем традиционной, поскольку переналадка общих участков требует дополнительного времени. Однако при групповой технологии сокращают число единиц оборудования и занимаемую площадь. Ее главным преимуществом является возможность централизованного перепрограммирования технологической линии на обработку разных партий деталей.

По мере повышения уровня гибкости производительность производства снижается, однако появляется возможность быстро реагировать на изменяющийся спрос. Для быстрого удовлетворения рыночного спроса фирма, оснащенная автоматизированной системой научных исследований АСНИ, системой автоматизированного проектирования САПР, автоматизированной системой технологической подготовки производства АСТПП, гибкими производственными системами ГПС, автоматизированной системой испытаний продукции АСИ, автоматизированной системой управления производством АСУП и системой материально-технического обеспечения СМТО, разрабатывает и выпускает новое изделие на ведущем предприятии. Обмен информацией при этом ведут через общую базу данных БД. Затем проверенные программы управления передают базам данных на ведомых предприятиях, размещенных в странах с дешевой рабочей силой. Ведомые предприятия с типовым набором перепрограммируемого оборудования оснащают только подсистемами АСТПП и ГПС (рис. 6.22).

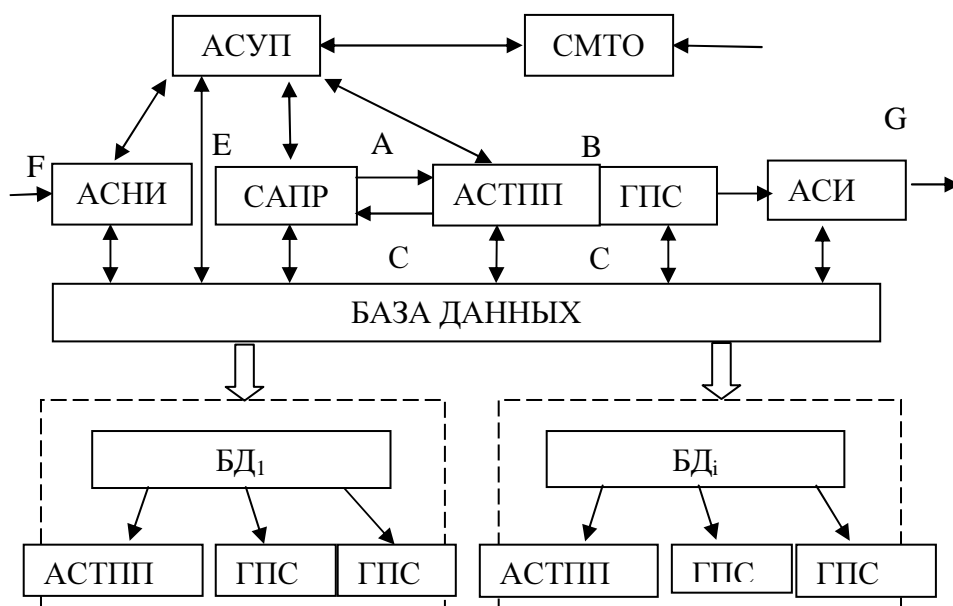


Рис.6.22. Взаимодействие ведущего предприятия с ведомыми при выпуске новой продукции

Рынок средств автоматизации быстро обновляется. Десятки фирм предлагают однотипные устройства автоматики, которые могут быть применены для развития и углубления автоматизации предприятия. Возникает проблема совместимости устройств автоматики и программного обеспечения разных фирм в компьютерно – интегрированном производстве. Для современных технологий автоматизации необходимо свойство **открытости**- возможности ввода в систему устройств автоматики и программного обеспечения от разных фирм. Для этого разрабатывают международные стандарты подключения оборудования к промышленным шинам, протоколов обмена информацией, программирования управляющих систем, выходов датчиков и входов исполнительных устройств.

Информационные технологии автоматизации придают производству свойство **прозрачности** – возможности получения информации о любом объекте с любого уровня управления предприятием в режиме реального времени. Такая возможность обеспечивается благодаря соединению разных уровней управления промышленными шинами с выходом в Интернет. Менеджер и мастер участка могут быстро получать информацию о работе любой единицы оборудования и предприятия в целом. Так, ремонтник предприятия может получить инструкции по устранению неисправности, выйдя на сервер разработчика оборудования, размещенный в сеть Интернет.

#### *6.6. Управление через Интернет*

Руководители предприятия обрабатывают обобщенную информацию о производстве, например объем выпущенной продукции разных видов за некоторый период. Для ускорения адаптации к меняющемуся спросу и оценки возможности его удовлетворения своим предприятием менеджерам становится необходимо знать текущие параметры процесса и состояние оборудования на производственных участках. Такие данные могут быть извлечены из SCADA – сервера участка, являющегося промежуточным звеном между АСУП и контроллерами локальной автоматики (рис.6.23).

Возникает проблема согласования протоколов сетей на уровнях предприятия и участка. Если на уровне предприятия утвердился совместимый с сетью Интернет протокол Ethernet TCP/IP, то на уровне локальной автоматики применяют несовместимые с Ethernet TCP/IP протоколы промышленных шин PROFIBUS, INTERBUS, MODBUS, DeviceNET, Fieldbus Foundation. Для соединения шин с разными протоколами вводят специальные межсетевые шлюзы (маршрутизаторы или мосты), которые согласуют форматы данных, способы доступа адресации и проверки ошибок. Такие устройства стоят дорого, ограничивают скорость передачи информации и часто становятся источниками ошибок.

На современных предприятиях имеется корпоративная сеть Интранет, как правило, имеющая выход в сеть Интернет. Она обеспечивает доступ менеджеров к данным о ходе выполнения задания. В сети Интранет обычно используют протокол Ethernet TCP/IP. Возникла идея ввода в программируемый контроллер,

управляющий единицей технологического оборудования, собственного Web – сервера, соединенного с сетью Интранет.

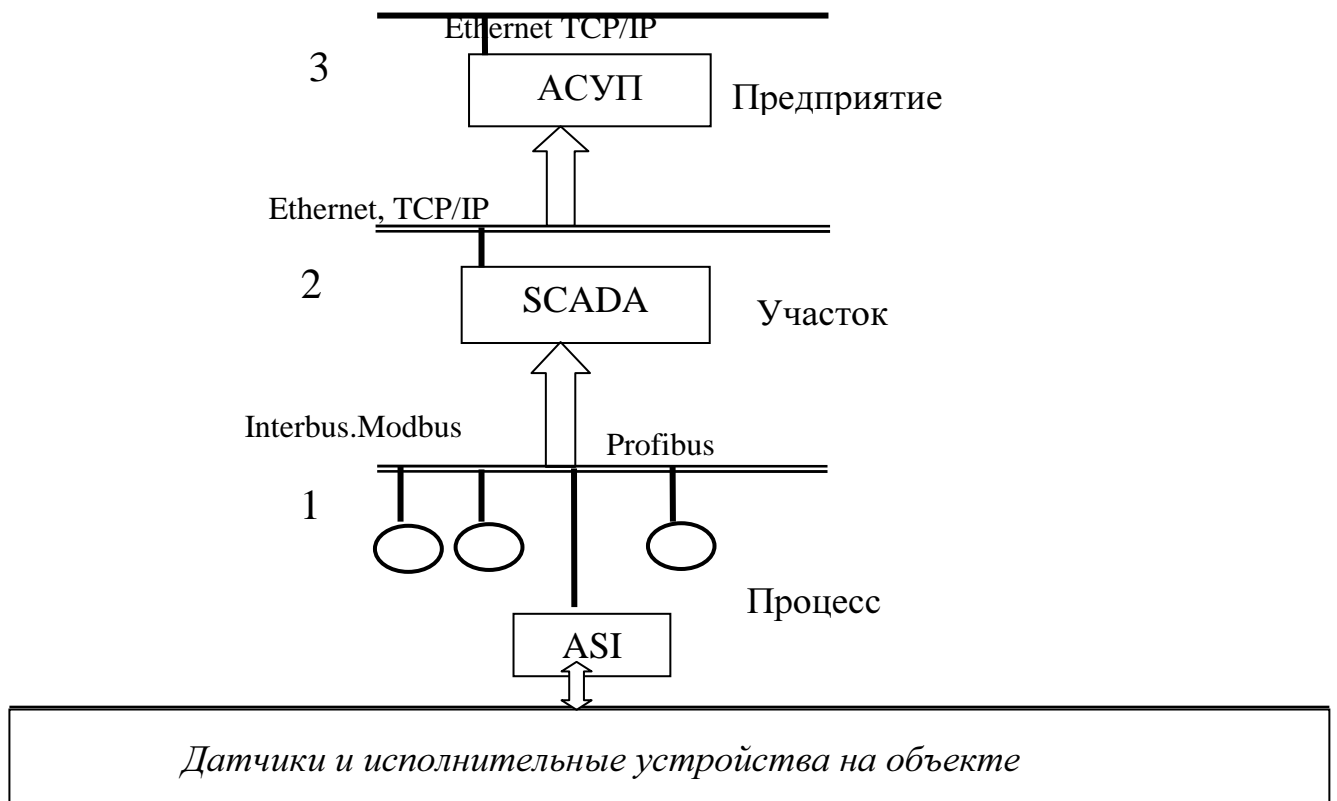


Рис. 6.23. Связь устройств локального управления (1) через систему SCADA (2) с системой управления предприятием АСУП (3)

Это позволило бы получать данные о текущих параметрах процесса любому специалисту, имеющему доступ в сеть Интранет предприятия. Поскольку сеть Интранет предприятия соединена с сетью Интернет, появляется возможность анализа и управления процессом из любой точки Земли. Новая концепция названа "Transparent Factory" (прозрачное производство). Она реализуется следующим образом (рис. 6.24).

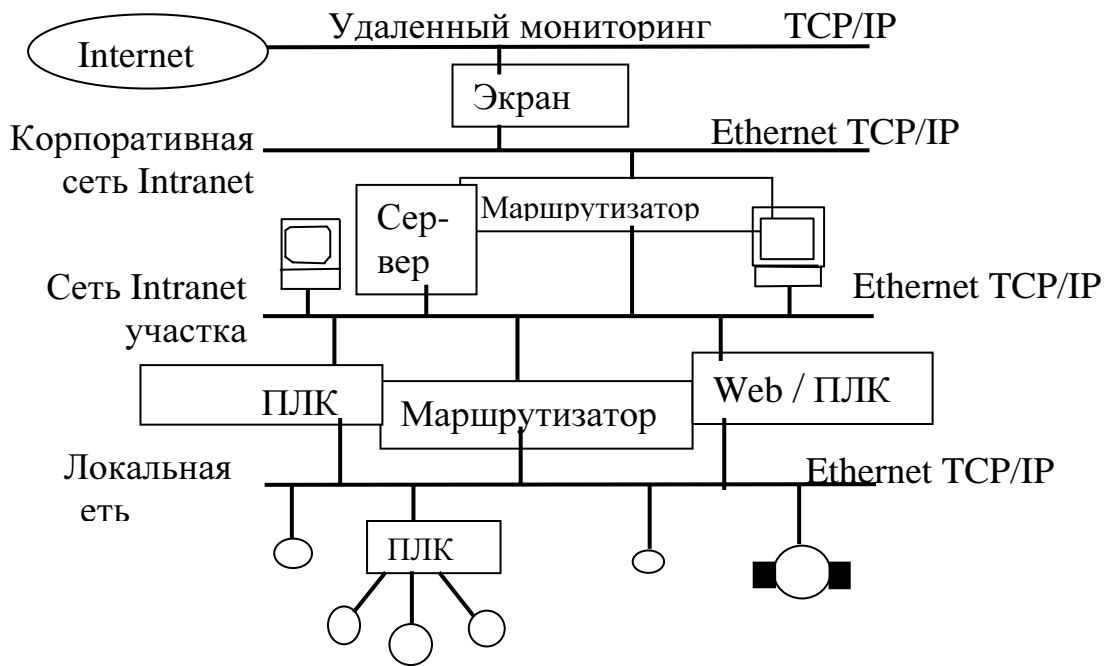


Рис. 6.24. Концепция “Transparent Factory” (прозрачное производство)

Датчики, исполнительные устройства и программируемые контроллеры подключают к локальной промышленной сети LAN (Local Area Network), использующей протокол Ethernet TCP/IP. Эту сеть через контроллеры со встроенными Web – серверами или через маршрутизаторы подключают к сети Интранет предприятия. Маршрутизаторы нужны для прямого подключения первичных устройств объекта к сети. На этом уровне инженеры и технологи могут анализировать первичную информацию и управлять процессом. Сеть Интранет предприятия через маршрутизатор соединяют с сетью Интранет корпорации, которая через защитный экран соединяется с сетью Интернет. Менеджеры корпорации отправляют запрос на информацию через маршрутизатор в сеть Интранет предприятия. Если запрос касается текущей информации о процессе, то он без преобразований доходит до локальной сети LAN и любого устройства локальной автоматике. Ответ снизу проходит через все уровни, сохраняя присвоенный ему внизу формат Ethernet TCP/IP. Благодаря встроенным в контроллеры Web-серверам появляются новые возможности управления:

- диагностика устройств управления с помощью встроенных в сервер контроллера Web – страниц;
- получение данных в реальном времени;
- отображение данных в виде мнемосхем, графиков и таблиц Web – формата;
- привлечение необходимой информации с любых серверов Интернет, например для диагностики устройств автоматике с вызовом инструкций производителя из другой страны.

Главным преимуществом концепции "Transparent Factory" является так называемая "Открытость для бизнеса" (Open for Business) или возможность применения в системах автоматизации продукции любых производителей. Специалисты, реализующие системы автоматизации на удаленных предприятиях, могут с помощью встроенных в оборудование Web-серверов вести обслуживание и диагностику систем из своего офиса. Разработчики оборудования получают возможность мониторинга его работы по всему миру. Эффективно осуществляется управление объектами из центра корпорации, например контроль и управление газоперекачивающими станциями газопровода.

Web – технологии автоматизации обеспечивают удаленный доступ к данным и средствам управления в режиме реального времени. Доступ к данным о производстве из любой точки мира возможен в любой момент .

Система автоматизации содержит внутреннюю сеть Intranet, к которой подключены устройства уровня управления технологическим оборудованием и уровня административного управления: программируемые контроллеры PLC, компьютеры и терминал – персональный компьютер диспетчера с системой SEADA со встроенными WEB – серверами (рис.6.25).

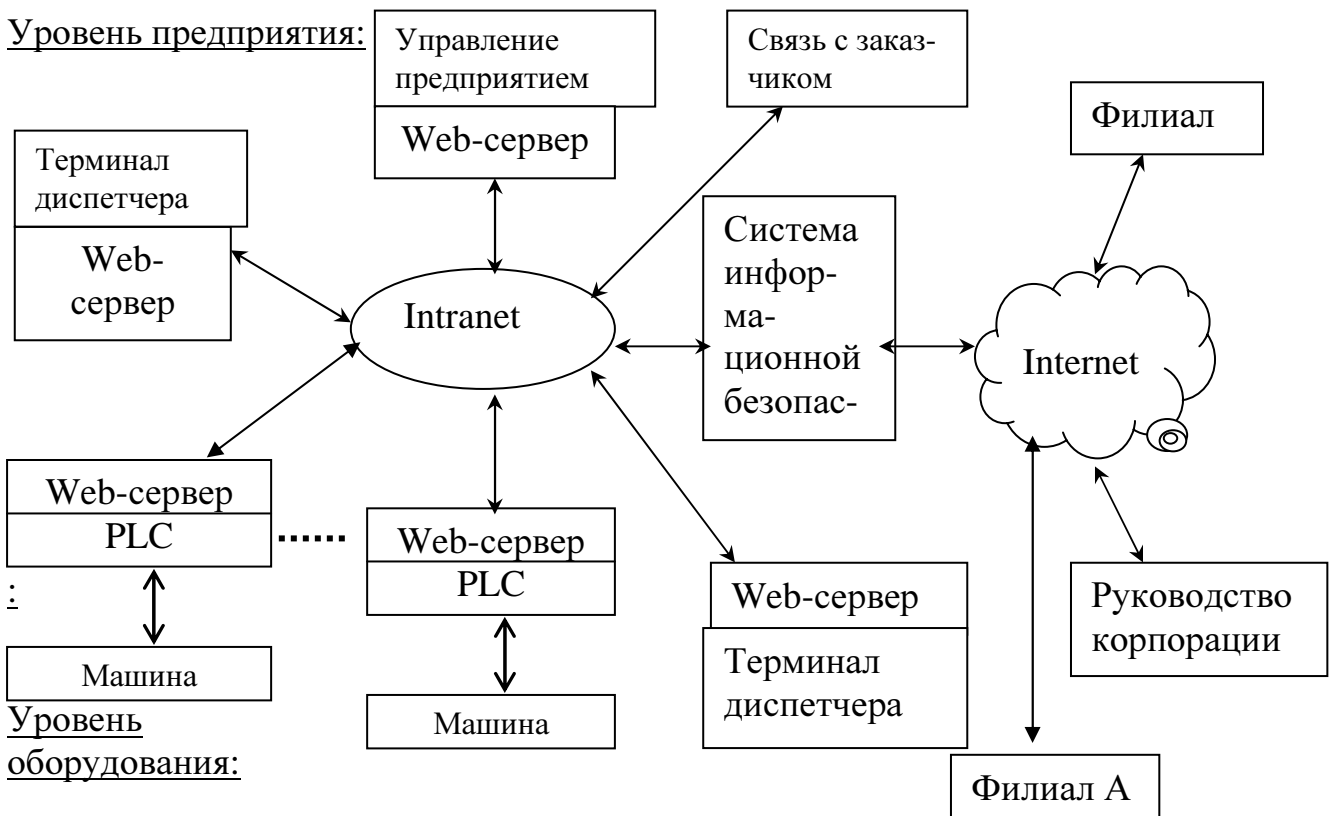


Рис.6.25. Структура системы автоматизации на базе Web – технологий

Оснащение устройств управления собственными Web – серверами позволяет через Интернет анализировать работу единицы оборудования на уровне управления корпорацией.

К сети Intranet подключены персональные компьютеры диспетчерского контроля за ходом производства, управления предприятием и связи с заказчиками. При поступлении заказа система управления предприятием оценивает возможность и срок его выполнения на имеющемся оборудовании, после чего формирует очередность исполнения заказов. Изменение программ управления оборудованием и контроль производства осуществляется с помощью терминала диспетчера.

Внутренняя сеть предприятия Intranet через систему информационной безопасности соединена со встроенной сетью Internet, к которой подключены сеть Intranet руководства корпорацией и распределенные по миру сети Intranet других предприятий. Система информационной безопасности между сетями Intranet и Internet обеспечивает защиту предприятия от утечки коммерческой информации и нарушения работы предприятия через сеть Internet.

Автоматизация на базе Web – технологий обеспечивает:

- эффективное управление территориально распределенными предприятиями;
- оптимальное планирование поставок сырья и выполнение заказов на основе оперативной информации о текущих потребностях, возможностях и состоянии складов;
- сокращение сроков выполнения заказов;
- оперативную диагностику и устранение неисправностей сложного оборудования разных изготовителей.

### *ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 6*

1. Чем интеллектуальное управление отличается от обычного?
2. Для чего нужна обучающая выборка?
3. Какую задачу выполняет база знаний?
4. Опишите этапы перехода от естественного языка к машинному.
5. Что показывает функция принадлежности в системах нечеткого управления?
6. Что получается в результате объединения, пересечения и дополнения функций принадлежности?
7. Что такое терм и лингвистическая переменная? Приведите примеры.
8. Чем фаззи-регулирование отличается от традиционного регулирования?
9. Для чего нужна фаззификация и дефаззификация?
10. Как работает фаззи-контроллер?
11. Чем нейронное регулирование отличается от традиционного?
12. Как научить перцептрон Розенблатта распознавать образы?
13. Как функционирует искусственный нейрон?
14. Зачем нейроны объединяют в сеть?
15. Как организуется обучение нейронной сети с учителем и без учителя?
16. Как нейронная сеть работает в системе автоматического регулирования?
17. Чем мультиагентное управление отличается от обычного?

18. Что такое агент и мультиагентная система? Какими свойствами они обладают?
19. Приведите собственные примеры мультиагентных систем.
20. Чем имитационное моделирование отличается от аналитического? Какие этапы оно включает?
21. Опишите три способа имитационного моделирования.
22. Как осуществить анимацию имитационных экспериментов?
23. Опишите четыре структуры имитации и анимации объектов управления.
24. Как обеспечивается гибкость автоматизированного производства?
25. Чем групповая технология производства отличается от традиционной?
26. Для чего нужна открытость автоматизированного производства?
27. Что такое прозрачность производства и как она достигается?
28. Зачем в программируемые контроллеры стали встраивать Web-серверы?

## Глава 7. Практика компьютерной автоматизации

### 7.1. Системная интеграция

Автоматизацию производства часто сводят к замене человека автоматическим устройством. При этом новые возможности автоматизации ограничиваются низким потенциалом приспособленной к человеку технологии – малыми рабочими скоростями, невозможностью одновременного выполнения нескольких операций, неточной информацией о процессе, зависимостью качества продукции от квалификации рабочих.

Грамотная стратегия автоматизации сводится не только к высвобождению человека в существующем производстве, но и к созданию высокоэффективных технологий с автоматически работающим оборудованием, которые невозможно применять без автоматизации. В результате обобщения специалистами опыта автоматизации производства выработаны следующие принципы:

- главная цель автоматизации – не замена ручного труда, а повышение эффективности производства. Экономия зарплаты при автоматизации составляет 10-15 % экономического эффекта, в то время как 60-70 % эффекта образуется за счет повышения производительности производства и 15-20 % – за счет улучшения качества продукции. Применение роботов в процессах сварки, окраски или гальванической обработки повышает скорость и качество операций. Замена роботом рабочего по загрузке станка без изменения технологии увеличивает время рабочего цикла при небольшой экономии зарплаты;
- автоматизация должна охватывать технологическую цепь целиком, включая обслуживание и обеспечение кадрами. В отличие от ручного производства, отказ одного автоматизированного звена приводит к остановке всей технологической цепи;
- средства автоматизации следует применять не там, где их можно приспособить к производству, а там, где без них нельзя обойтись;
- первоочередными являются такие объекты автоматизации, где человек не способен конкурировать с автоматическими устройствами;
- внедрение непроверенных технических решений и ненадежных устройств автоматики дискредитирует идеи автоматизации.

Особое значение приобретает системный подход к компьютерной автоматизации производства.

При несистемном подходе сначала разрабатывают элементы системы, из которых komponуют систему в целом (рис.7.1,а). В процессе компоновки некоторые элементы не согласуются друг с другом или не соответствуют требованиям к системе, поэтому их приходится заменять.

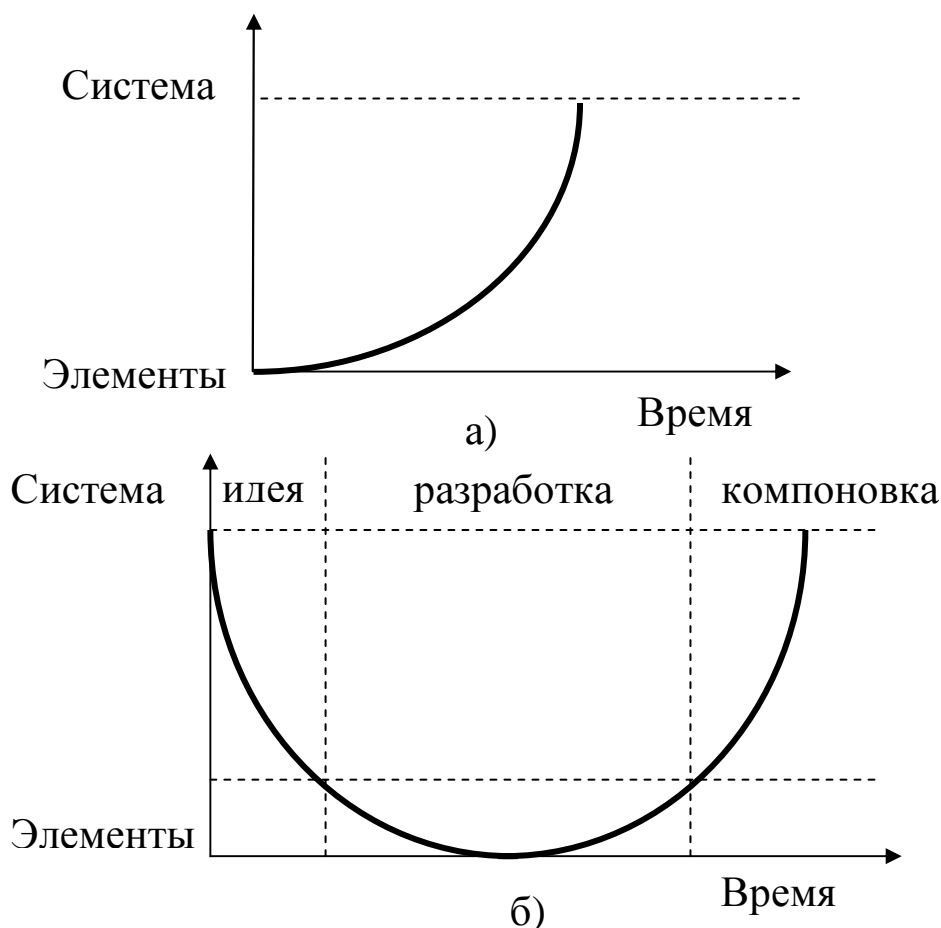


Рис.7.1. Несистемный (а) и системный (б) подходы к созданию компьютерно интегрированного производства

Системный подход отличается тем, что сначала формируют концепцию системы в целом (рис.7.1,б). Затем разбивают систему на элементы и разрабатывают каждый элемент согласно концепции системы. После разработки элементов их объединяют в реальную систему.

Сравним оба подхода на примере развития города. При несистемном подходе сначала строят здания в удобных местах, затем определяют положение улиц. При системном подходе сначала разрабатывают план города с будущими улицами, затем строят здания вдоль улиц.

Система обладает свойством эмерджентности, если объединение элементов приобретает новое свойство, которого не было у суммы элементов. Например, библиотека отличается от горы книг свойством эмерджентности.

В практике автоматизации отечественных предприятий выбирают одну из стратегий, перечисленных в порядке снижения затрат:

- поставка и монтаж зарубежной фирмой-поставщиком системы автоматизации «под ключ»;
- поставка зарубежной фирмой типовой системы автоматизации с выполнением ее монтажа и наладки местной специализированной организацией;
- привлечение зарубежной инжиниринговой фирмы для разработки и внедрения системы автоматизации на предприятии;

- разработка и внедрение системы автоматизации на базе зарубежных устройств силами отечественной инжиниринговой фирмы.

Первый или второй варианты часто выбирают, если оборудование, например, на линии разлива или упаковки, не может работать без автоматизации. После ввода автоматизированной линии в эксплуатацию возникает необходимость поддержания работоспособности оборудования, изменения алгоритмов управления, быстрого устранения отказов. Вызов представителей фирмы-разработчика приводит к значительным потерям времени и денег. В третьем варианте специалисты предприятия, которым предстоит эксплуатация системы автоматизации, отодвигаются от ее предварительного изучения.

Опыт показывает, что в большинстве случаев самым выгодным является четвертый вариант, позволяющий учесть особенности объекта автоматизации и сократить эксплуатационные затраты. Процесс выработки концепции автоматизации предприятия, подбора технических средств и разработки проекта системы автоматизации называют **системной интеграцией**. Вначале системы компьютерной автоматизации строили на базе отечественных датчиков, исполнительных устройств и программируемых контроллеров типа "Ремиконт", "Ломиконт", МКП, "Униконт", ФК5501. Это позволило преодолеть предубеждение заказчиков перед микропроцессорной техникой и снизить затраты на автоматизацию. Однако низкая надежность отечественных устройств автоматики приводила к росту потерь от простоя оборудования. Особенно часто отказывали периферийные устройства – датчики, электропневматические клапаны, гидро- и пневмоцилиндры, регуляторы скорости электродвигателей. Ограниченные функциональные возможности отечественной техники автоматизации не позволяли доводить систему до периода эффективной эксплуатации.

Поэтому в системах автоматизации стали применять зарубежные устройства автоматизации и программное обеспечение, которые могли совмещаться друг с другом и соответствовали международным стандартам промышленных шин. Такие системы месяцами не требовали ремонта и легко модернизировались на предприятии.

## *7.2. Учет потребления энергии*

При плановой экономике доля энергоресурсов в себестоимости продукции составляла единицы процентов и не влияла на конкурентоспособность производства. В настоящее время затраты на электроэнергию, газ, тепло и воду составляют 20-30 %, а для энергоемких производств – 40-50 % себестоимости продукции. Создание системы компьютерного контроля и учета расхода энергоресурсов, позволяющей снизить затраты предприятия, становится весьма актуальным.

Расчет предприятия с поставщиком энергоресурсов ведется по одной из трех схем (рис.7.2):

- одноставочной, при которой вся потребляемая за расчетный период Т энергия оплачивается по фиксированной ставке;

- двухставочной, при которой устанавливается лимит потребляемой мощности; ниже лимита оплата энергии осуществляется по обычной ставке, а выше лимита – по повышенной ставке;
- многоставочной, при которой потребляемая мощность делится на несколько уровней с дифференцированной для каждого уровня оплатой расхода энергии (рис. 7.2,в).

В одноставочной схеме (рис.7.2,а) счетчик энергии учитывает общий расход энергии  $P_{\text{ср}}$ , хотя ее стоимость зависит от времени суток. Защищаясь от штрафов за неполную оплату, предприятие вынуждено переплачивать поставщику энергии. По мере удорожания энергии объем переплаты возрастает.

В двухставочной схеме (рис. 7.2,б) поставщик и потребитель энергии согласовывают некоторый лимит потребляемой мощности  $P_{\text{лим}}$ . При его превышении стоимость энергии для потребителя резко возрастает. Для такой формы расчета, кроме счетчика энергии, необходим регистратор времени превышения лимита.

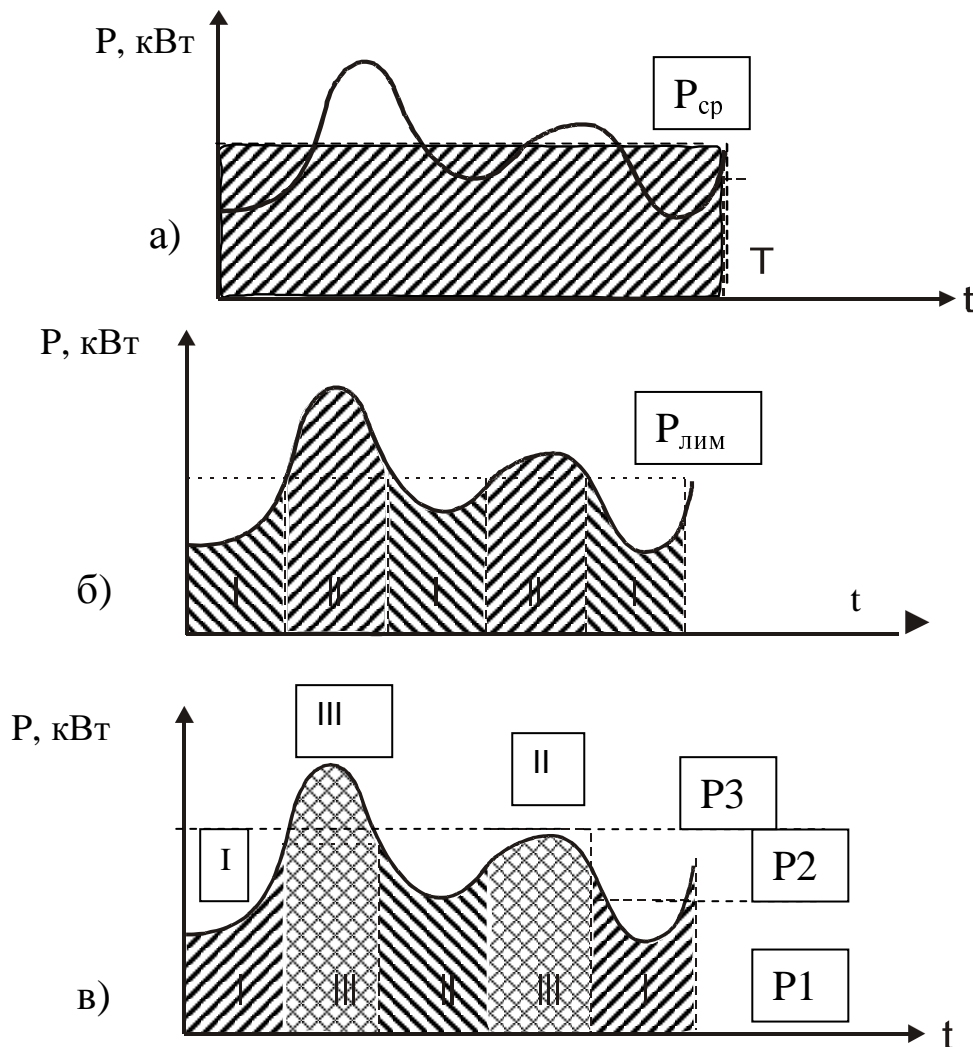


Рис. 7.2. Расчет за энергию по одноставочной (а), двухставочной (б) и многоставочной (в) схемам

В многоставочной схеме (рис. 7.2,в) устанавливают несколько лимитов потребления  $P_1, \dots, P_n$  с разными тарифами за потребляемую мощность. Это позволяет дифференцировать оплату энергии в зависимости от уровня ее потребления, согласовывать оплату с учетом противоположных интересов поставщика и потребителя энергии, избегать излишних затрат потребителя на оплату энергии. Но ее применение невозможно без автоматизированной системы контроля и учета расхода энергии. В такой системе могут быть дополнительно учтены специальные тарифы, например за превышение реактивной мощности.

Автоматизированная система контроля и учета энергии включает три уровня (рис.7.3):

- уровень датчиков;
- уровень сбора и учета данных датчиков по каждому потребителю;
- уровень обработки и отображения обобщенных данных.

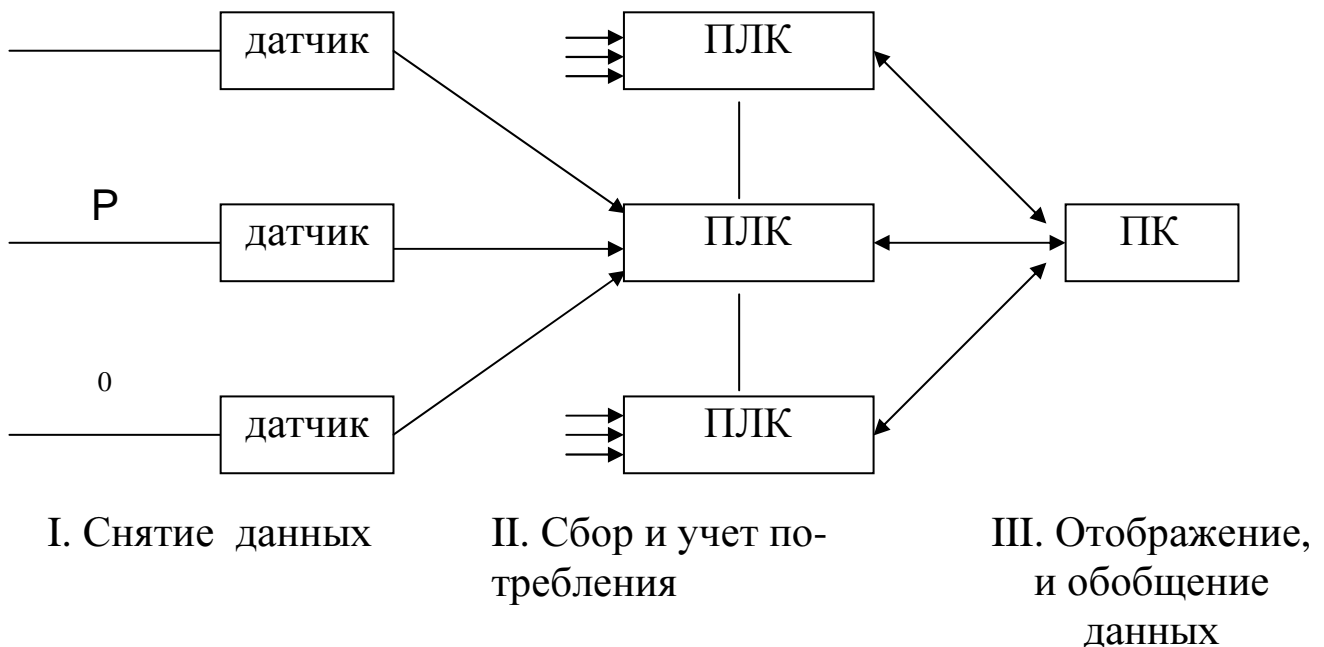


Рис. 7.3. Уровни системы автоматизированного контроля и учета энергопотребления

Для контроля электроэнергии на нижнем уровне применяют измерительные трансформаторы тока и напряжения, электрические счетчики. Эту информацию, как и данные о расходе других видов энергии, передают на второй уровень, где программируемые логические контроллеры ПЛК ведут накопление данных по каждому потребителю. С выходов контроллеров информацию передают через провода, телефонную линию или радиоканал на компьютер ПК главного энергетика. Запрос энергетиком потребителя и передачу информации о расходе каждого вида энергии ведут по стандартному протоколу, например RS-232, обеспечивающему передачу данных на расстояние до 900 м со скоростью 1,2 Кбит/с. Контроллер ПЛК часто встраивают в датчик, получая двухуровневую схему с "интеллек-

туальными" счетчиками, которые соединяют с компьютером энергетика (рис.7.4,а). В другом варианте контроллер устанавливают на входе компьютера энергетика и используют его в качестве концентратора данных от датчиков запрашиваемых потребителей (рис.7.4,б).

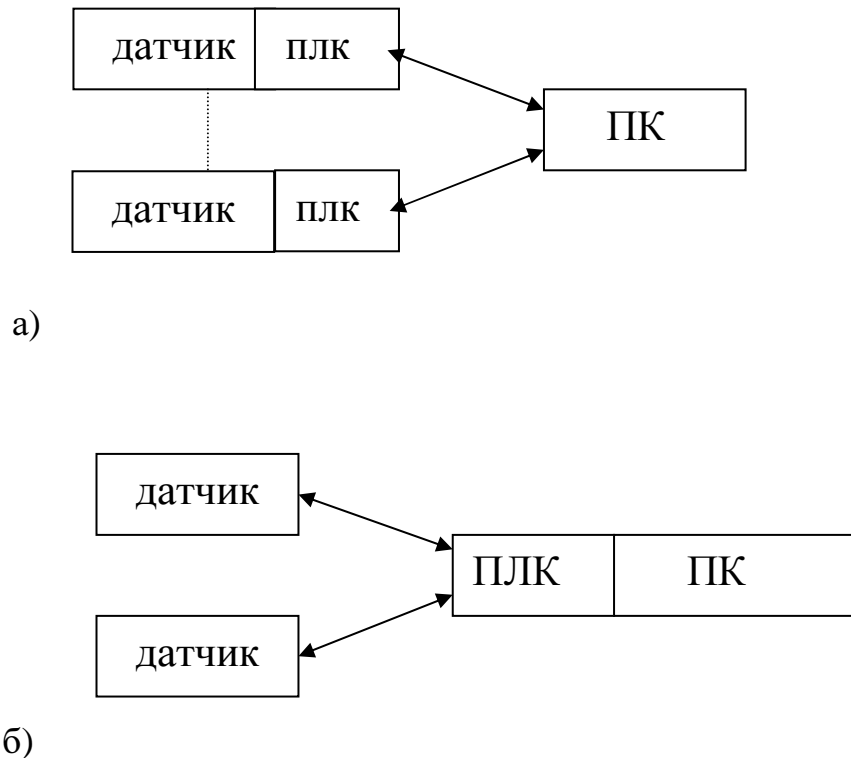


Рис. 7.4. Двухуровневая система учета потребления энергии с интеллектуальными счетчиками (а) и концентратором данных на входе компьютера (б)

Автоматизированные системы контроля и учета энергии делят на *коммерческие* и *технические*. *Коммерческие* системы предназначены для согласования расчетов между потребителем и поставщиком. В них применяют сертифицированные устройства и методы учета потребления энергии предприятием, согласованные между поставщиком и потребителем энергии. В *технических* системах ведут текущий анализ потребления энергии на объектах предприятия и применяют обычные устройства учета.

В минимальном варианте система обеспечивает коммерческий и технический учет энергии по предприятию и его подразделениям, дифференцированный контроль потребления энергоресурсов по видам, объектам и времени, обнаружение и сигнализацию об отклонениях от установленного энергопотребления. Для этого она должна иметь базу данных о потребителях, применяемых тарифах и средствах учета, собирать и накапливать текущие данные о потреблении энергии, обрабатывать данные по разным ставкам, сравнивать фактическое потребление с

нормативным, выявлять отклонения от нормы, прогнозировать потребление энергоносителей, вести диагностику потребителей [24].

В полном варианте, помимо решения перечисленных задач, система обеспечивает:

- прогнозирование потребления энергии по отдельным потребителям;
- автоматическое распределение энергопотребления с учетом приоритетов потребителей;
- расчеты за энергопотребление между подразделениями одного уровня;
- расчеты за энергопотребление между потребителями разных уровней.

По мере развития системы становится возможным автоматически переключать потребителей по программе, обеспечивающей снижение расходов предприятия на потребление энергии.

Благодаря быстрой окупаемости компьютерный контроль и учет энергопотребления стал первым применением компьютерной автоматизации производства. Для большинства внедренных систем экономический эффект достигает 15-20 % от затрат на годовое энергопотребление предприятия при сроке окупаемости системы 6-9 месяцев.

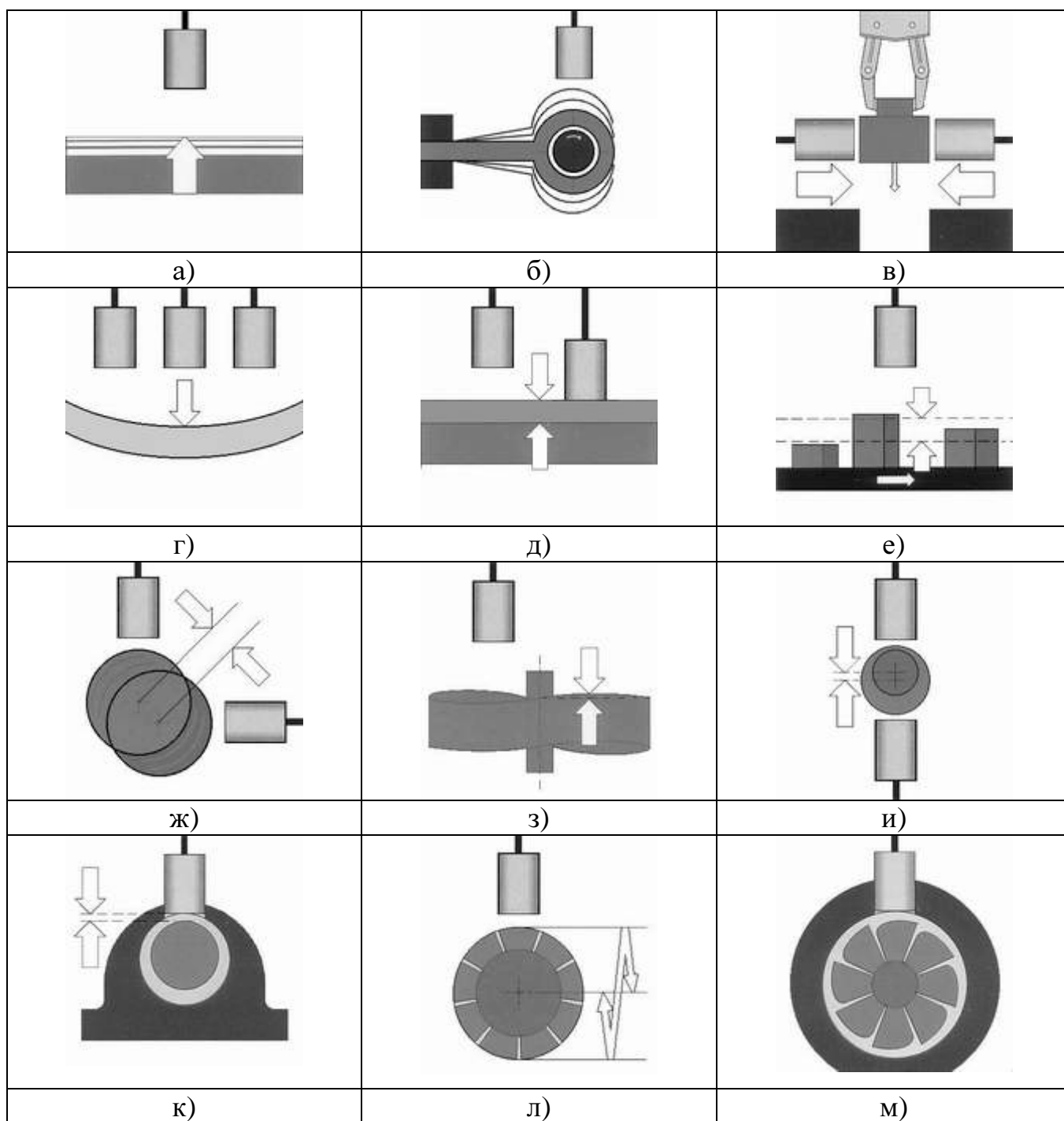
За счет чего он образуется? Энергопотребление предприятия содержит базовую и организационно-техническую составляющие. Первая составляющая определяется энергопотреблением установленного технологического оборудования, поэтому не может быть снижена с помощью автоматизированного учета и контроля. Вторая состоит из шести частей:

- договорная, связанная с расчетом не по фактическому потреблению энергии, а по согласованному с поставщиком;
- тарифная, связанная с расчетом по фактическому потреблению с невыгодным для потребителя тарифом из-за отсутствия у него системы дифференцированного учета расхода;
- режимно-тарифная, связанная с уходом от выгодного тарифа из-за неоптимального подключения неприоритетных потребителей, например включения насосов днем, а не ночью;
- технологическая, связанная с потреблением, несогласованным между потребителями;
- личностная, связанная с использованием оборудования в личных целях;
- бесхозная, связанная с незаинтересованностью персонала в экономии энергии.

Вторая составляющая достигает 30 % общего потребления энергии и может быть значительно уменьшена с помощью компьютерного учета и контроля энергопотребления.

### *7.3. Контроль положения объектов*

Датчики положения движущихся элементов находят самое широкое применение при автоматизации производства. Датчик положения, помещенный над движущейся полосой, позволяет выявить изменения толщины полосы (рис. 7.5, а).



*Рис.7.5. Примеры применения датчиков положения для решения практических задач: а- контроль толщины полосы; б- биения шатуна относительно вала; в- ввод вала в отверстие; г- деформации листа; д- толщина слоя на листе; е- изменение высоты объектов; ж- биения вращающегося вала; з- скручивание диска; и- равномерность вращения вала; к- несовпадение оси вала и оси вращения; л- выявление неоднородностей в теле вращения; м- счет числа оборотов вала*

Сигнал датчика положения, помещенного над шатуном, позволяет выявить биения шатуна относительно вала (рис. 7.5, б). Датчики положения, размещенные вокруг отверстия, выдают сигналы наведения захватного устройства робота

при вводе вала в отверстие (рис. 7.5, в). Сравнение сигналов датчиков положения над плоским листом позволяют выявить деформации листа (рис. 7.5, г). Датчики положения, подвешенные на разной высоте, позволяют определить толщину слоя на листе (рис. 7.5, д). Датчик положения, подвешенный над транспортером, может распознавать изменение высоты движущихся объектов (рис. 7.5, е). Два датчика положения, размещенные под прямым углом друг к другу, выявляют биения вала при его вращении (рис. 7.5, ж). Датчик положения над вращающимся диском предназначен для выявления скручивания диска при вращении (рис. 7.5, з). Сопоставление сигналов двух датчиков положения по обе стороны вращающегося вала позволяет выявить неравномерность вращения вала (рис. 7.5, и). Аналогичная задача решается при выявлении несоосности вращения вала в корпусе (рис. 7.5, к). Если в теле вращения имеются равномерно распределенные щели, то сигналы датчика положения позволяют сосчитать число щелей и скорость вращения тела (рис. 7.5, л). Установка переключающего упора на вращающемся вале позволит по импульсам на выходе датчика положения определить скорость вращения вала (рис. 7.5, м).

Два датчика положения, размещенные сверху и снизу края движущейся полосы, могут контролировать смещение полосы относительно нормального положения (рис. 7.6) Установка переключающего упора на вращающемся вале позволит по импульсам на выходе датчика положения определить скорость вращения вала (рис. 7.5, м). Два датчика положения, размещенные сверху и снизу края движущейся полосы, могут контролировать смещение полосы относительно нормального положения (рис. 7.6)

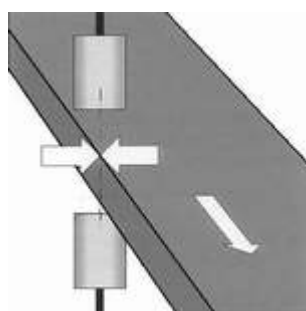


Рис. 7.6. Контроль края полосы

Такие же датчики, размещенные сверху и снизу движущейся полосы, могут контролировать ее толщину (рис. 7.7).

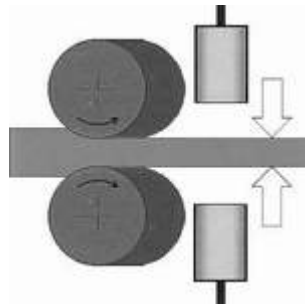


Рис. 7.7. Контроль толщины листа

В процессе движения полосы между роликками необходимо своевременно определять дефекты роликков и останавливать движение бракованной полосы. Для этого устанавливают два датчика положения сверху и снизу ролика (рис.7.8). При изменении формы ролика появляются сигналы на выходе датчиков.

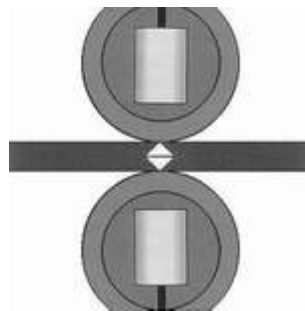


Рис. 7.8. Обнаружение дефекта ролика

#### 7.4. Измерение размеров объекта

Оптический измеритель позволяет точно оценить размеры объекта. Плоский луч от линейного источника света 1 через линзу 2 передается в линзу 3 и попадает в фотоприемник 4 (рис.7.9). Объект 5 загроаживает попадание части луча на линзу 3, что фиксируется фотоприемником 4, измеряющим размеры объекта. Несимметричный объект может поворачиваться так, что результат измерения будет зависеть от угла поворота.

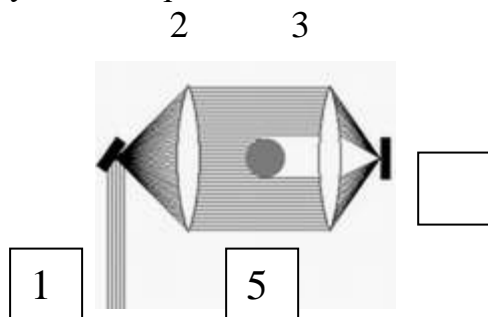


Рис. 7.9. Измерение размеров объекта 5 между излучателем 1 и приемником 4

Часто необходимо проверить отклонение диаметра нити от заданного диаметра.

Нить проходит через отверстия в оптическом приемнике и передатчике

(рис.7.10). Через отверстие в приемнике пропускают свет. В зависимости от диаметра нити изменяется площадь светового пятна на приемнике.

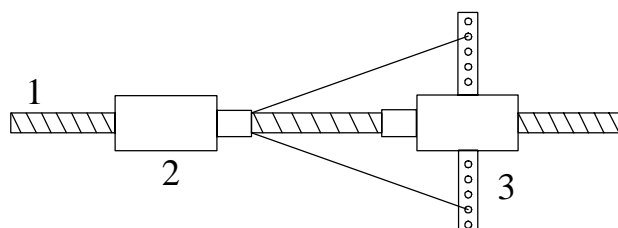


Рис. 7.10. Измерение диаметра нити оптическим методом: 1- нить; 2- источник света; 3- фотоприемник

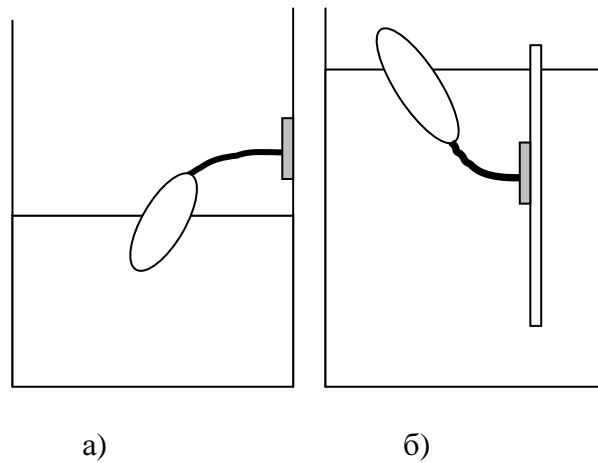
### 7.5. Контроль заполнения резервуара

При автоматизации непрерывных процессов возникают задачи измерения уровня жидких или сыпучих веществ в резервуарах, например с целью регулирования уровня путем загрузки и разгрузки резервуара. Для их решения применяют разные физические принципы. Датчики контроля заполнения резервуара делят на двuzначные сигнализаторы определенного уровня заполнения и непрерывные измерители уровня заполнения.

Сигнализаторы уровня применяют для сигнализации о превышении заданного уровня жидкости или сыпучего материала в резервуаре. Различают шесть типов сигнализаторов уровня:

- поплавковый выключатель;
- выключатель с вибрирующим чувствительным элементом;
- кондуктометрические переключатели;
- генераторный переключатель;
- емкостной зонд;
- магнитный погружной зонд;
- гидростатический переключатель.

Поплавковый сигнализатор представляет собой поплавок, внутри которого размещен выключатель (рис. 7.11).

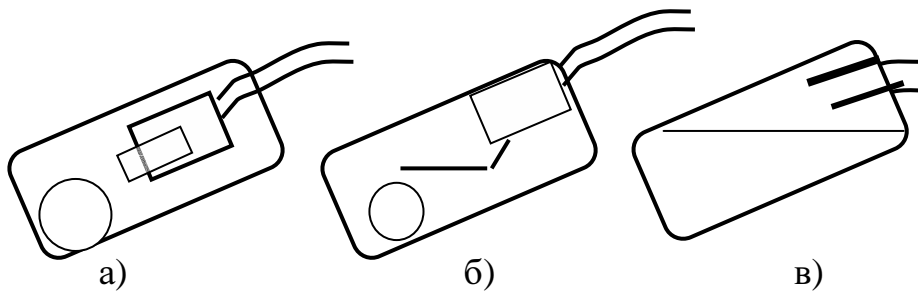


а)

б)

Рис. 7.11. Поплавковый сигнализатор уровня жидкости : а- контакты разомкнуты, б-контакты замкнуты.

Выключатель выполнен в виде индуктивного датчика положения или нажимного выключателя, на чувствительный элемент которого воздействует шарик, перекатывающийся при изменении положения поплавка (рис.7.12). В некоторых конструкциях поплавков частично заполняют электропроводящей жидкостью, замыкающей контакты при всплывании поплавка.



а)

б)

в)

Рис. 7.12. Конструкция выключателя внутри поплавкового сигнализатора уровня: а – с индуктивным датчиком положения; б – с нажимным выключателем; в – с электропроводящей жидкостью.

Внутри резервуара поплавковые сигнализаторы уровня можно устанавливать на разной высоте. На рис. 7.13 показано применение поплавковых сигнализаторов. Если оба поплавка опущены, то открывается клапан подачи жидкости в резервуар. Когда всплывает правый поплавок, подача жидкости прекращается. Когда всплывает левый поплавок, включается насос, выкачивающий жидкость из резервуара.

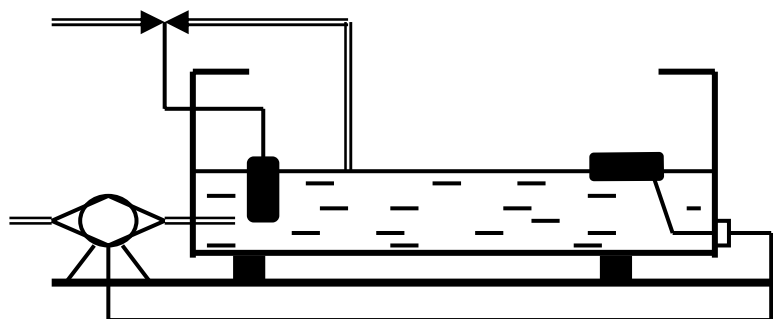


Рис. 7.13. Применение поплавковых сигнализаторов для поддержания уровня жидкости в резервуаре

Вибрационный сигнализатор уровня представляет собой камертон, опущенный в жидкость (рис.7.14). С помощью генератора в нем возбуждают механические колебания определенной частоты.

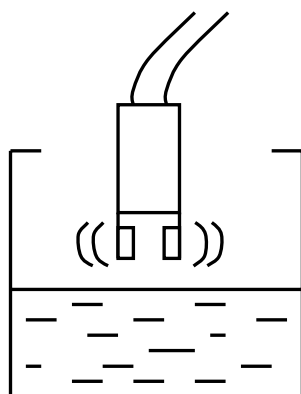


Рис. 7.14. Вибрационный сигнализатор уровня

Подъем уровня жидкости или сыпучего материала плотностью не менее  $0,6 \text{ г/см}^3$  до места установки камертона приводит к уменьшению амплитуды колебаний, что фиксируется сигнализатором.

Вибрационный сигнализатор контролирует уровень с точностью до 10 мм, не требует ухода и регулировки, нечувствителен к вибрации. Но он не может применяться для клейких веществ и отказывает при заклинивании камертона твердыми частицами размером более 5 мм.

В кондуктометрическом сигнализаторе уровня измеряют величину тока между двумя электродами, погруженными в электропроводящую жидкость. По мере подъема уровня жидкости электрическое сопротивление между электродами уменьшается, что приводит к срабатыванию реле в цепи сигнализатора. Разные виды топлива, масла, растворители и другие воспламеняющиеся вещества не проводят электрический ток. Поэтому сигнализатор можно применять для выявления границы между водным раствором и непроводящей жидкостью. Для агрессивных жидкостей, например щелочи или кислоты применяют электроды из химически устойчивых материалов.

Для жидкостей и сыпучих материалов, как проводящих, так и непроводящих электрический ток, применяют генераторный сигнализатор уровня (рис.7.15). Два электрода или один электрод и стенка металлического резервуара включаются в колебательный контур генератора. При повышении уровня частота колебаний генератора изменяется, что приводит к появлению сигнала на выходе датчика.

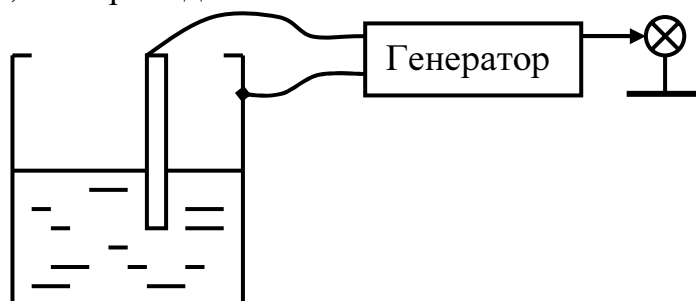


Рис. 7.15. Генераторный сигнализатор уровня

В емкостном сигнализаторе уровень определяют по изменению электрической емкости между стенкой резервуара и опущенным в резервуар щупом. Щуп

выполнен в виде троса, металлического стержня или трубки. Конденсатор вводят в плечо моста переменного тока (рис. 7.16). Помимо уровня на емкость конденсатора влияют изоляция зонда, форма резервуара, давление, температура, зернистость, абразивность и вязкость материала.

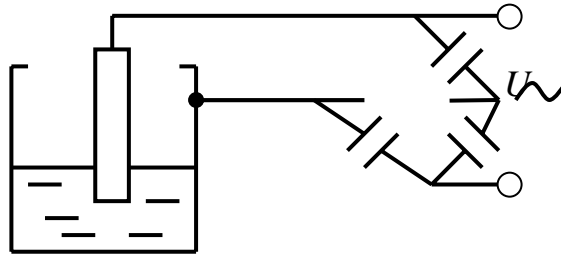


Рис. 7.16. Емкостный сигнализатор уровня

Работа гидростатического сигнализатора основана на том, что давление жидкости на стенки резервуара одинаково во всех направлениях, причем величина давления пропорциональна степени заполнения резервуара. Сигнализатор представляет собой датчик усилия, который врезают в стенку резервуара. Обычно его устанавливают на дне, чтобы датчик реагировал на минимальное заполнение (рис. 7.17).

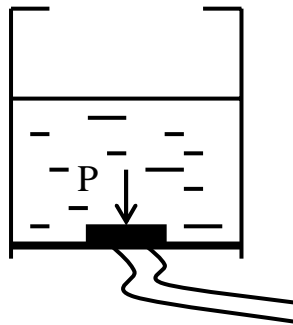
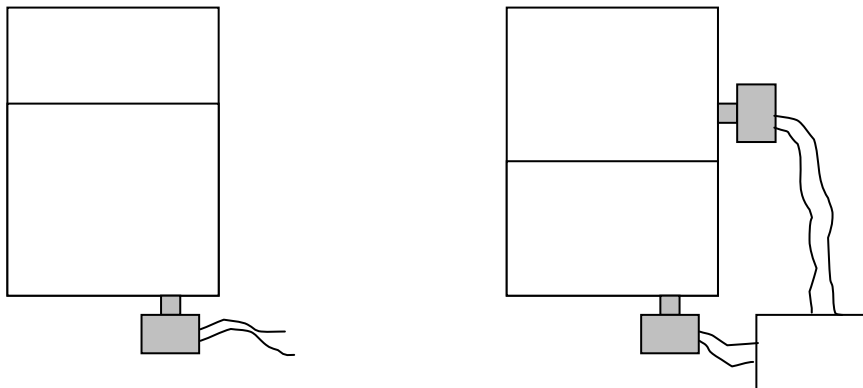


Рис. 7.17. Гидростатический сигнализатор уровня

Если сравнивать сигналы двух гидростатических сигнализаторов, один из которых установлен на стенке, а другой - на днище резервуара, то можно повысить точность оценки уровня (рис. 7.18).



а)

б)

Рис. 7.18. Измерение гидростатического давления на стенке резервуара:  
а – прямое измерение; б – оценка разности сигналов

Непрерывное измерение уровня в резервуарах позволяет не только оценивать уровень заполнения, но и учитывать приход и расход жидких или сыпучих материалов. Различают четыре метода измерения уровня:

- гидростатический;
- ультразвуковой;
- электромагнитный;
- с магнитным зондом.

Гидростатический метод основан на измерении давления жидкости на стенку резервуара:

$$P = \frac{P_{atm}}{\rho g h}, \text{ откуда } h = \frac{P - P_{atm}}{\rho g},$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $h$  – высота столба жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $P_{atm}$  – атмосферное давление.

В жидкость опускают зонд с датчиком усилий на конце (рис. 7.19).

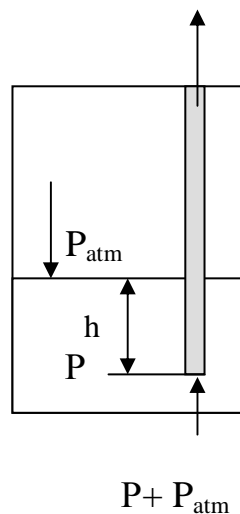


Рис. 7.19. Измерение уровня гидростатическим методом

Его выходной сигнал соответствует уровню жидкости. Для компенсации атмосферного давления зонд выполнен в виде трубки, поэтому:

$$h = \frac{P}{\rho g}$$

На результат измерения гидростатическим методом не влияют пена, изменение электрических свойств жидкости и форма резервуара. Недостатком метода является невозможность его применения для сыпучих материалов, коррозия зонда, сложность гидроизоляции датчика.

Ультразвуковой метод основан на отражении ультразвукового сигнала (более 30 кГц) от границы сред (рис. 7.20).

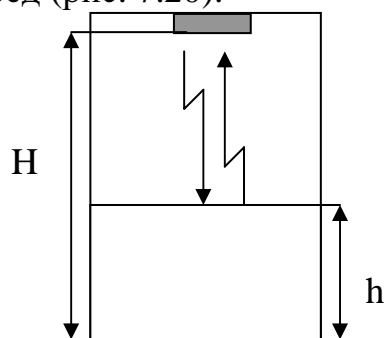


Рис.7.20 . Измерение уровня ультразвуковым методом

Расстояние до границы определяют по формуле:

$$k = H - \frac{vt}{2} ,$$

где  $v$  – скорость распространения ультразвукового сигнала в данной среде,  $t$  – время между отправкой и приемом ультразвукового сигнала;  $H$  – расстояние от места установки датчика до дна резервуара.

При измерении расстояний от 0,1 до 10 м, время прохождения сигнала увеличивается от 0,6 до 60 миллисекунд при точности измерения 0,5 % и разрешающей способности 2 мм. Точность измерения зависит от температуры, давления, влажности и состава воздуха, запыленности, образования пены и движущихся препятствий для сигнала. Вместе с тем, результаты измерения не зависят от плотности среды и загрязненности жидкости. Благодаря отсутствию контакта с содержимым резервуара и относительной дешевизне ультразвуковой метод чаще всего применяется при автоматизации производства.

При электромагнитном методе в резервуар опускают зонд. Вдоль зонда, как направляющей, передают импульсы сверхвысокой частоты и принимают отраженный от границы сред сигнал (рис. 7.21).

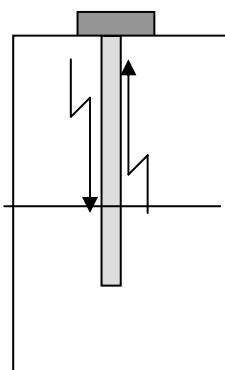


Рис.7.21. Измерение уровня электромагнитным методом

Расстояние до границы сред определяют, оценивая изменение пилообразного напряжения  $\Delta U$  за время между излучением прямого  $U_{\text{пр}}$  и приемом отраженного  $U_{\text{отр}}$  сигналов (рис. 7.22).

Это позволяет измерять уровень с точностью 10 мм. Метод направленного электромагнитного излучения нечувствителен к температуре, давлению, подвижным предметам и появлению пены, легко калибруется для линеаризации измерений и защиты от помех. Вместе с тем, он неработоспособен для клейких веществ, и диэлектрической постоянной среды менее 1,6.

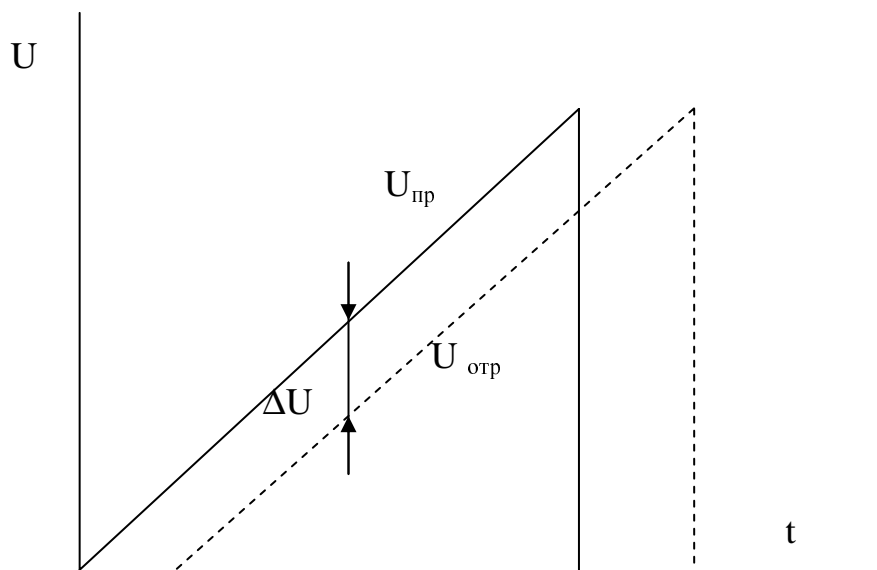


Рис. 7.22. Оценка уровня по изменению напряжения между прямым и отраженным сигналами

Магнитный погружной зонд представляет собой опущенный в жидкость стержень, вдоль которого может перемещаться поплавков с постоянным магнитом (рис. 7.23).

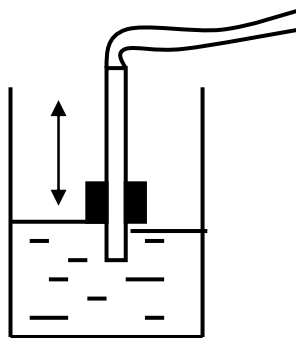


Рис. 7.23. Магнитный погружной зонд

Внутри стержня в линию размещены магнитоуправляемые контакты. Изменение уровня жидкости приводит к перемещению поплавка вдоль зонда и срабатыванию соответствующих контактов. Разрешающая способность уровнемера зависит от шага установки контактов (8 – 16 мм.). Он не требует сложных монтажа,

регулировки и технического обслуживания, однако работает только в очищенных жидкостях с плотностью не менее  $0,6 \text{ г/см}^3$ .

Точное измерение уровня жидкости или тяжелого газа возможно с помощью инфракрасного датчика, выполненного из химически устойчивого полупрозрачного материала (рис. 7.24). В цилиндр, заканчивающийся конусом, вводят инфракрасный луч. Если уровень жидкости ниже конуса (рис. 7.24,а), то луч отражается от стенок конуса и принимается оптическим приемником. Если жидкость достигает уровня конуса (рис. 7.24,б), то прямой луч попадает в жидкость и интенсивность отраженного луча уменьшается пропорционально уровню и показателю преломления жидкости.

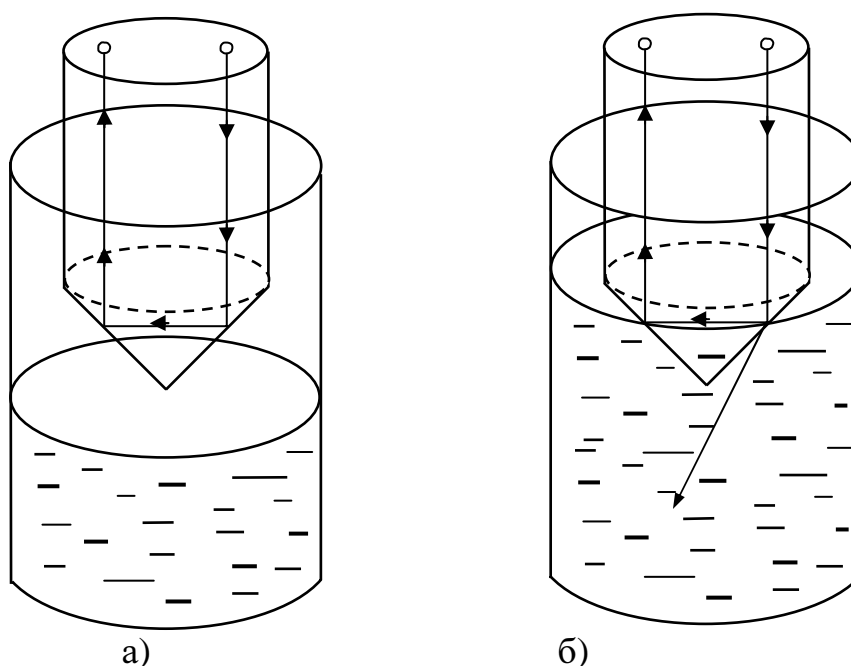


Рис.7.24 . Измерение уровня инфракрасным датчиком:

а – уровень жидкости ниже конуса; б – уровень жидкости на уровне конуса.

### 7.5. Радиочастотная идентификация

Система радиочастотной идентификации (RFID – Radio Frequency Identification) разработана для записи, хранения и распознавания информации об изделиях в процессе их изготовления, транспортировки, упаковки и отправки. С ее помощью осуществляют дистанционный обмен информацией между стационарной приемно-передающей антенной и носителем информации на подвижном объекте. В отличие от ранее разработанных штрих-кодовых систем, радиочастотные носители информации, прикрепленные к изделию, сохраняют информацию в условиях влажности, высоких и низких температур и могут дополняться информацией в процессе прохождения изделия через технологический процесс.

Система содержит (рис. 7.25 ):

- носитель информации (транспондер, тэг) 1 с объемом памяти до 32 Кб, скоростью обмена до 3000 бит/с, дальностью действия до 240 мм, возможностью работы в температурном диапазоне от  $-40$  до  $240^{\circ}\text{C}$ ;
- приемопередающую антенну 2 с дальностью действия 240-840 мм, скоростью обмена 3000 бит/с, длиной кабеля 1200 м;
- контроллер 3 для обмена информацией с тэгами на скорости 3000 бит/с через 4 антенны одновременно;
- портативное устройство 4 чтения/записи информации с объемом памяти до 512 Кб и 16-строчным дисплеем.

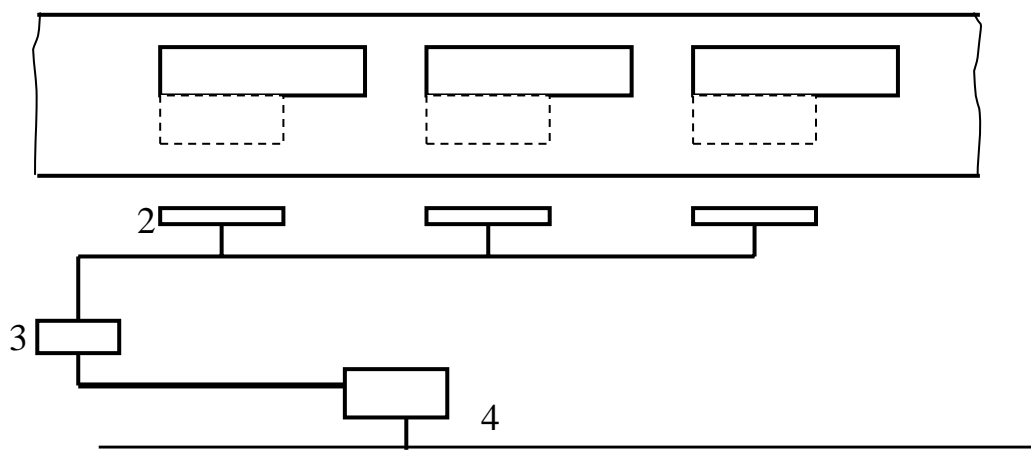


Рис.7.25 . Структура системы радиочастотной идентификации: 1- тэг; 2- антенна; 3- контроллер; 4- устройство записи/считывания

Носитель информации представляет собой герметичную шайбу толщиной 3-5 мм, диаметром 8-100 мм. Шайба крепится к палете с изделием или непосредственно к изделию. Пассивные носители имеют объем памяти от 16 до 1000 байт. Активные носители отличаются наличием источника питания и емкостью, повышенной до 256 Кбайт. Источник питания, обеспечивает работу носителя в течение 5-10 лет. Память может быть с однократной записью и многократным считыванием или с возможностью дополнения в процессе работы.

Записанная информация сохраняется при температуре от  $-40$  до  $+240$  градусов по Цельсию, при воздействии масла, воды, электромагнитных полей и вибрации. Информацию записывают и считывают с помощью портативного приемо-передающего устройства, снабженного дисплеем и клавиатурой. Приемо-передающая антенна обеспечивает передачу и прием информации со скоростью 3 Кбит в секунду. Скорость прохождения объектов мимо антенны может достигать 10 м/с. Программируемый контроллер предназначен для первичной обработки информации и связи с промышленным компьютером через информационную шину.

Рассмотрим практические приложения систем радиочастотной идентификации.

### *1. Производство моторов.*

Завод компании «Форд» в США ежегодно выпускает около 700 тыс. моторов одиннадцати типов. Система радиочастотной идентификации применена для слежения за сборкой каждого мотора, проходящего через 2000 рабочих станций. После прохождения каждой станции требуется информация о правильном выполнении операции: установлен ли поршень, затянута ли гайка и т.п. Если такой информации нет, то поддон с мотором передают на ремонтную площадку. Кроме того, каждый тип мотора собирают по отдельной программе из собственных комплектующих. Записываемая информация должна выдерживать воздействие горячего мыльного раствора и вибрации, опрыскивание маслом.

Тэг крепят к поддону с каркасом мотора. В него записывают тип и серийный номер мотора. Эта информация считывается на каждой станции, передается в систему управления сборочным роботом для переключения на соответствующую программу и дополняется информацией о проведении операции на этой станции. Там, где сходятся сборочные линии, информация с одного тэга переписывается на другой.

### *2. Производство тракторов*

Завод компании «Джон Дир» (США) выпускает несколько типов тракторов. Для высокотемпературной окраски тракторных рам в окрасочное устройство вводят информацию о типе рамы, загружаемой в окрасочную печь.

Кроме этого, радиочастотная идентификация применена для пополняемой информации о прохождении трактора через сборочную линию. Тэг емкостью 8 Кб крепят к задней оси трактора. Помимо идентификации трактора перед окраской и контроля процесса сборки появляется возможность показа покупателю вида будущего трактора.

### *3. Сопровождение почтовых отправлений.*

В структуру итальянской почты внедрена система сопровождения мешков с почтовыми отправлениями.

К каждому мешку крепят тэг, в который записывают пункт назначения и характеристики содержимого.

В пунктах перегрузки мешок проходит через туннель с антеннами. Информация с тэга через антенну передается в ЭВМ, которая подтверждает правильность маршрута и фиксирует время прохождения каждого пункта перегрузки.

В результате ввода радиочастотной идентификации время доставки отправления сократилось до 24 часов.

### *4. Сортировка мясных туш.*

Радиочастотная идентификация применяется при производстве мясных продуктов для слежения за прохождением мясных туш при температуре  $-40 - +100$  °С. Полутуши подвешивают на крюки монорельсового конвейера. В процессе движения их обрабатывают паром, а затем направляют в холодильные камеры.

Необходимо идентифицировать каждую полутушу, чтобы подсчитать число полутуш каждого вида, выбрать соответствующую программу обработки паром и

рассортировать полутуши по маршрутам дальнейшего движения. К полутуше крепят тэг, в который записывают данные об объекте и добавляют информацию об этапах обработки. Эта информация считывается и передается в персональный компьютер. В зависимости от полученной информации происходит выбор маршрута и переключение стрелок подвешенного конвейера.

Для радиочастотной идентификации выделены 4 диапазона:

- Низкая частота (125-134 КГц)
- Высокая частота (13,56 МГц)
- Ультравысокая частота (860-930 МГц)
- Сверхвысокая частота (2,45 ГГц).

Различают индуктивные и микроволновые системы радиочастотной идентификации (табл.7.1). В индуктивных системах расстояние между носителем информации и устройством записи/считывания не превышает 100 мм. Связь между ними осуществляется на частоте 120-300 кГц со скоростью более 8000 бит в секунду. Микроволновые системы работают на частоте более 2 ГГц. Это позволяет увеличить расстояние передачи информации до 5 м, исключить влияние пыли, краски, грязи или масел, передавать информацию через немагнитный экран.

Табл. 7.1. Возможности систем радиочастотной идентификации

Параметр	Индуктивные системы	Микроволновые системы
Рабочая частота, кГц	120-300	2450-2480
Расстояние между антенной и носителем информации, мм	80-100	5 000-6 000
Объем памяти носителя, кбайт	0,12- 32	32
Скорость обмена, кбит/с	8	80
Предельный нагрев, °С	150	200

### 7.6. Системы технического зрения

Широкое применение систем технического зрения в промышленности началось с 2000 г. Скорость обработки информации в промышленных системах технического зрения быстро достигла 200 кадров в секунду и продолжает увеличиваться. Такие характеристики превосходят возможности человека.

В режиме обучения системе показывают эталонный объект, например, электронную плату. В режиме распознавания системе показывают изготовленную электронную плату. Система сравнивает эту плату с эталонным объектом и делает вывод о соответствии или несоответствии платы эталону.

Типовые технологические приложения систем технического зрения:

- Сортировка объектов, движущихся по конвейеру;

- Снятие заданных объектов с конвейера;
- Управление операциями окраски, пайки, резки;
- Сборка изделия и контроль операций сварки, клепки, завинчивания.

При применении систем технического зрения решают задачи: классификация объектов распознавания, выбор видеодатчика, оптимизация уровней дискретизации и градаций яркости, разработка алгоритмов распознавания.

Рассмотрим практические приложения систем технического зрения.

Объектив системы направляют на изделия, движущиеся по конвейеру и задают интервал попадания изображения изделия в систему технического зрения (рис.7.26). Система выдает сигнал в случае отсутствия изделия через заданный интервал.

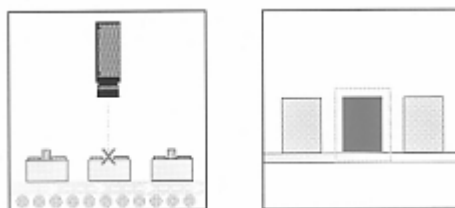


Рис.7.26 . Выявление отсутствующих объектов

Объектив системы направляют на прозрачные емкости, перемещающиеся по конвейеру, и задают уровень заполнения емкости (рис. 7.27 ). Система выдает сигнал при расхождении между заданным и фактическим заполнением емкости.

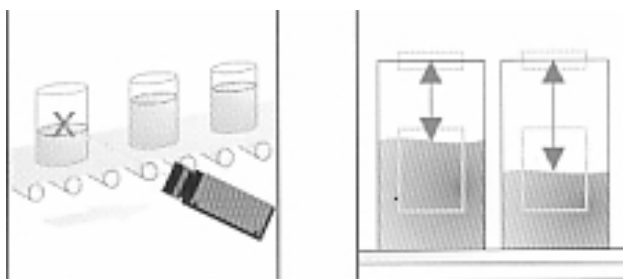


Рис. 7.27 . Измерение заполнения емкости

После изготовления необходимо отбраковать изделия. На электронное изображение изделия (рис.7.27 ) накладывают измерительную сетку, с помощью которой измеряют геометрические размеры изделия. Система оценивает степень близости параметров изготовленного изделия к стандартным.

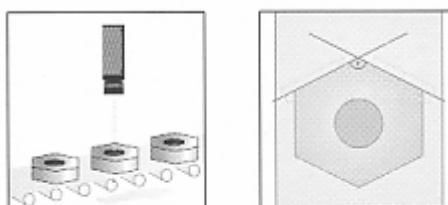


Рис. 7.28.Измерение геометрических параметров изготовленного изделия

Подобная задача решается системой технического зрения при контроле ширины конвейерной ленты (рис.7.29). Если ширина ленты отличается от заданной, например, в случае износа, то система подает сигнал остановки конвейера и указывает место износа ленты.

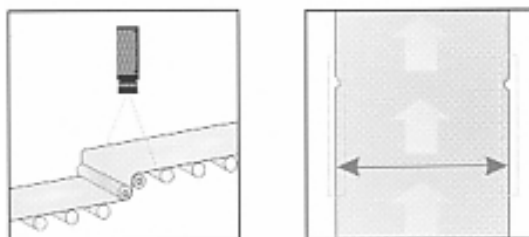


Рис. 7.29 . Контроль ширины ленты

Размещение системы технического зрения над пустой лентой помогает выявить ее дефекты ( рис. 7.30). При отклонении изображения ленты от эталонного определяют и записывают место появления дефекта на ленте. Аналогично решают многочисленные задачи соответствия эталону надписи, нанесенной на готовое изделие.

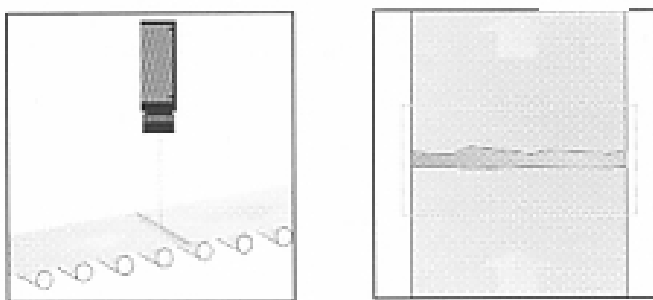


Рис.7.30. Распознавание дефектов на поверхности ленты

При прохождении изделий между этапами изготовления мимо системы технического зрения требуется определить, соответствует ли число отверстий на изделии заданному. Для этого в систему распознавания вводят признак «число отверстий» и сравнивают его с эталонным значением (рис. 7.31).

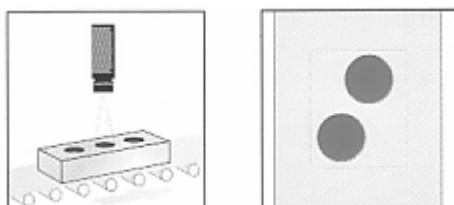


Рис. 7.31 . Счет числа отверстий при контроле изделия

Системы технического зрения стали широко применять в разных отраслях промышленности. В автомобилестроении с их помощью ведут контроль качества сборки, сварочных швов, окраски, крепления деталей. В микроэлектронике системы технического зрения показывают эталонный образец изделия, после чего она сравнивает изготовленное изделие с эталоном и делает вывод о соответствии изделия эталону.

В фармацевтике с помощью систем технического зрения контролируют маркировку готовых таблеток.

Мобильный робот, оснащенный системой технического зрения, может распознавать объекты в задымленном здании, под водой и в других условиях, где присутствие человека невозможно.

### 7.6. Гибкое производство

Машиностроение оказалось наиболее подготовленным к внедрению компьютерной автоматизации производства, поскольку в нем уже применялись оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) и групповая технология производства. Появились системы прямого числового программного управления DNC, при котором программы управления передают от центральной ЭВМ к нескольким единицам оборудования, выполняющим законченный технологический процесс. Стала развиваться концепция САПР/АСТПП/ГПС (CAD/CAM)- Система Автоматизированного Проектирования / Автоматизированная Система Технологической Подготовки Производства / Гибкая Производственная Система. Ее отличие от традиционной системы САПР+АСТПП+ГПС состоит в том, что все три подсистемы имеют общую базу данных БД (рис. 7.32).

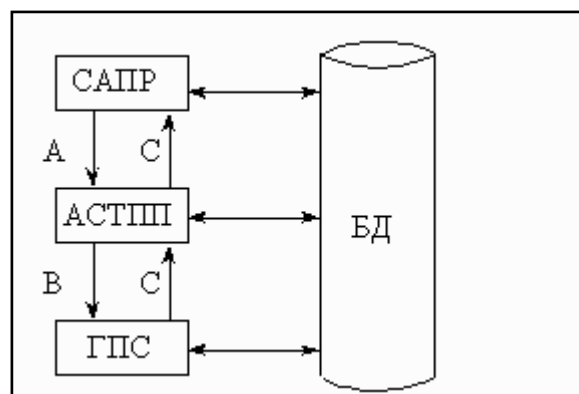


Рис. 7.32 . Производство по схеме САПР/АСТПП/ГПС:

*А – проектно – конструкторская документация; В – программы для устройств ЧПУ; С – технологические ограничения*

Это позволило сопровождать процессы проектирования, изготовления и отгрузки изделий одновременным перемещением блока информации об этом изде-

лии. Три подсистемы стали взаимно корректировать стадии проектирования и изготовления изделия через каналы обмена информацией.

Компьютеризованное машиностроительное производство содержит подсистемы (рис.7.33):

- оперативно – календарного планирования (ОКП);
- технологической подготовки производства (ТПП);
- управления инструментальным обеспечением (УИО);
- управления технологическим процессом (УТП);
- управления автоматизированной транспортно – складской системой (УАТСС).

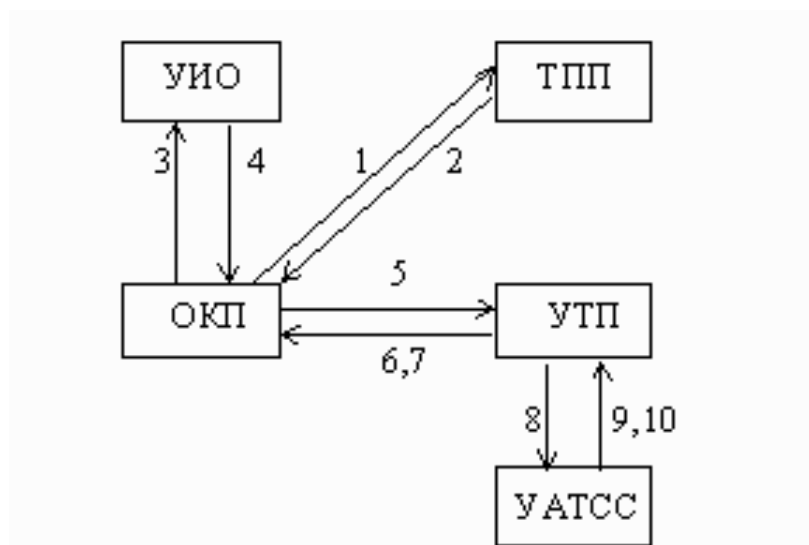


Рис.7.33. Последовательность информационного взаимодействия подсистем гибкой производственной системы

Обмен информацией между компьютерами этих подсистем происходит в следующем порядке. При поступлении заказа на партию определенных деталей подсистема оперативно-календарного планирования (ОКП) формирует задание 1 на подготовку технологического процесса (код детали, номер операции, код оборудования) и задание 3 на подготовку комплектов инструментов (срок обработки и подготовки, код комплекта, тип и число деталей, номер маршрута, код оборудования). Затем ОКП принимает информацию 2 от подсистемы технологической подготовки производства ТПП о готовности комплекта технологических документов (карт наладки и управляющих программ) и информацию 4 от подсистемы управления инструментальным обеспечением УИО о результате подготовки комплектов инструментов (код комплекта, готовность) о выполнении этих заданий. Если подготовка производства завершена, то ОКП передает подсистеме управления технологическим процессом (УТП) сменно-суточное задание 5, в котором указывается номер партии, число деталей, код станка и соответствующей программы его работы. Выполнение сменно-суточного задания контролируется в ОКП путем получения информации 6 от УТП. В ходе выполнения задания ОКП

следит за состоянием оборудования (7), анализируя данные об аварии, поломке инструмента, браке, начале и окончании работы по управляющей программе.

Подсистема управления технологическим процессом УТП обменивается заготовками, полуфабрикатами и готовыми изделиями с подсистемой управления автоматизированной транспортно-складской системой (УАТСС). Управляющий участком компьютер формирует задания на транспортировку и складирование (8), указывая код детали, адреса назначения и получения. При этом анализируют данные о содержимом ячеек склада (9). Перемещение детали заканчивается отчетом о выполнении запроса и изменением данных о содержимом ячеек склада (10). После выпуска заказанной партии УТП представляет в ОКП отчет о выполнении сменно-суточного задания (6).

Прохождение заказанной партии через все этапы проектирования и изготовления сопровождается синхронной передачей информации о партии, содержащей коды инструментов, управляющих программ, чертежей полуфабрикатов и деталей. Например, код инструментов используют для учета его наличия и подачи заявок на склад, подготовки и замены инструментов, переналадки станков, адресации ячеек автоматизированного склада и инструментального магазина. Код управляющей программы содержит информацию о размере партии, номере детали, технологическом маршруте, номере управляющей программы для каждой единицы оборудования.

В качестве примера приведем разработанную итальянской фирмой «Эльсаг» схему компьютерно – интегрированного производства для выпуска роторов асинхронных электродвигателей на заводе "Ле Рой Зоммер" во Франции (рис.7.34).

Рис. 7.34. Гибкое производство роторов электродвигателей :

Т – транспортер, Р – робот, ТС - токарный станок,  
К - контроль деталей, ФС - фрезерный станок, СС - сверлильный станок,  
ШС - шлифовальный станок, З - закалка, РС - расточный станок, П - печь для термообработки, С - склад заготовок

Заготовки со склада С подают на один из четырех входных транспортеров Т, откуда снимают роботом Р и устанавливают на токарный станок ТС. После обработки и проверки в позиции контроля К портальные роботы Р подают полуфабрикаты на фрезерные ФС и сверлильные СС станки, откуда они снимаются другим роботом и поступают на промежуточный склад. Управление операциями шлифования ШС, закалки З, растачивания РС, фрезерования ФС и термообработки в печи П на первом этапе автоматизации ведут диспетчеры. Робот Р подает термически обработанный полуфабрикат на токарный ТС и шлифовальный ШС станки, затем на позицию контроля, после чего изделие подается на выходной транспортер.

Связь систем управления станками и роботами с центральной ЭВМ осуществляется через 19 интерфейсов и линию связи ЭЛЬСАНЕТ. Координация работы оборудования осуществляется с помощью прикладных программ: ДИСПЕТЧЕ-

РИЗАЦИЯ (передача программ обработки на станки с ЧПУ) и МОНИТОР (сбор и визуализация информации о состоянии оборудования, наличии инструмента, приспособлений и программ на входе, автоматизированного склада, сборки, состоянии инструментов).

Прикладные программы технологов завода контролируют загрузку оборудования, очередность выполнения заказов, маршруты обработки партии. Время от подачи заготовок до выпуска изделий не превышает 2 суток при среднем времени обработки 1,5 мин. Производство обеспечивает выпуск до 30 тыс. типов роторов, до 2 тыс. различных валов и 600 типов вращающихся корпусов партиями от 1 до 50 штук.

## *7.7. Примеры компьютерной автоматизации на предприятиях*

### **7.7.1. Metallurgy**

Технология электроплавильного производства считается весьма перспективной в металлургии. В отличие от традиционной технологии выплавки она требует непрерывного управления множеством технологических параметров. В рудотермическую печь с электродами засыпают многокомпонентную шихту – сырье для выплавки металла. Электроды и днище печи обдувают воздухом. Необходимо точно дозировать соотношение компонентов шихты и поддерживать заданные параметры технологического процесса. Система компьютерной автоматизации должна управлять электроприводами дозаторов для подачи компонентов шихты в подвижную тележку, затворов тележки для высыпания шихты в печь, перемещения электродов в процессе выплавки, а также вентиляторами обдува электродов и днища печи [26]. На ее вход подается информация о потреблении электроэнергии, температуры электродов и днища печи, положения электродов, веса компонентов шихты. Система разделена на уровни печи и цеха.

На уровне печи работают три подсистемы автоматизации (рис. 7.35):

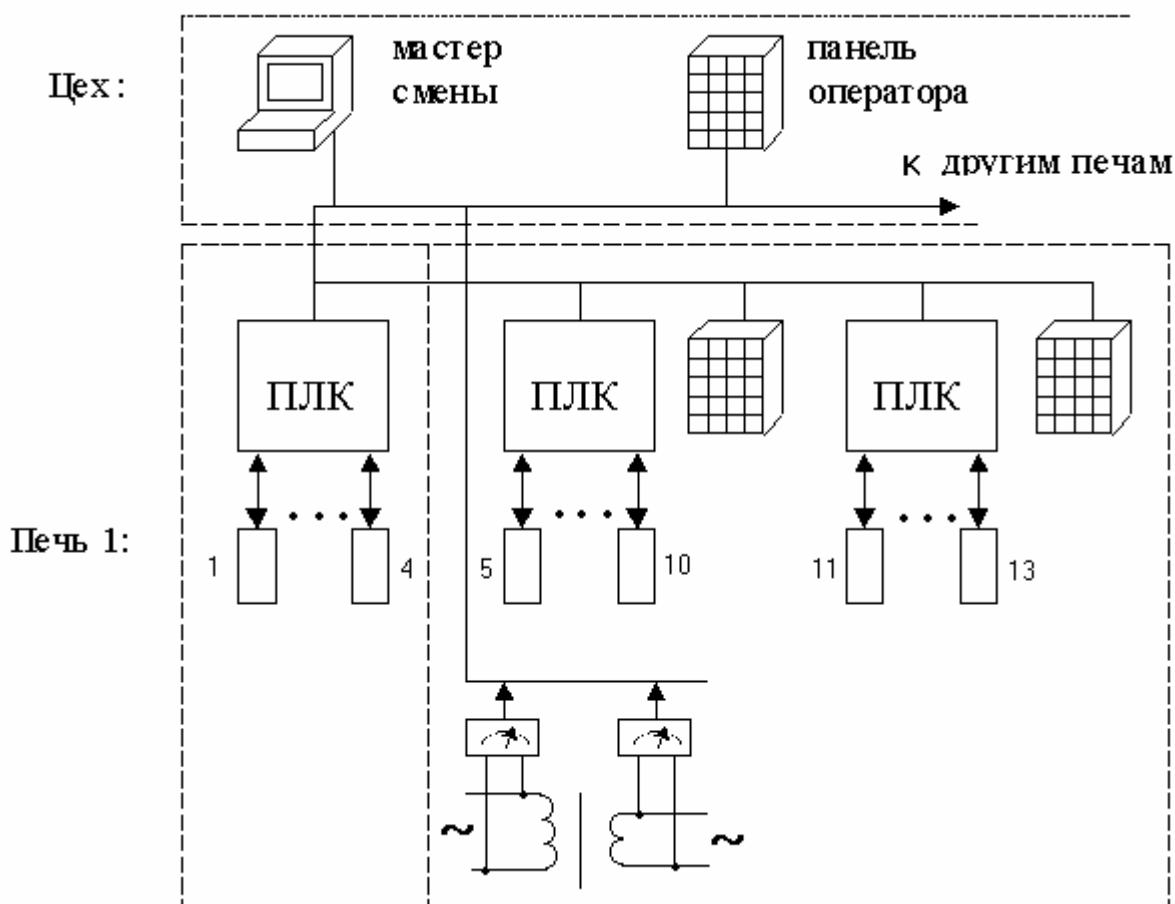


Рис. 7.35 .Структура системы автоматизированного управления рудотермической печью

### 1. Управление перемещением и обдувом электродов

Фактическое положение электродов контролируют измерителями линейных перемещений, ограничивая верхнее и нижнее положения. Управление перемещением электродов ведут, измеряя напряжение и ток в первичной и вторичной обмотках трансформатора. Температуру воздуха вокруг электрода измеряют термосопротивлением, а температуру самого электрода – термопарой. По сигналам этих датчиков контроллер управляет подачей воздуха для обдува электродов. На панели оператора отображают положение и температуру электродов.

### 2. Подача электроэнергии и контроль ее потребления, управление обдувом днища, накопление текущей информации

Термопары, установленные в днище печи, измеряют температуру днища и подают сигналы в контроллер (ПЛК), управляющий вентиляторами обдува днища. Одновременно измеряют токи и напряжения, активную и реактивную составляющие потребляемой электроэнергии. Эти сигналы также вводят в контроллер для переключения защит трансформатора и накопления информации о текущем потреблении электроэнергии.

### 3. Управление дозаторами компонентов шихты

В подвеску дозаторов встроены датчики веса, сигналы с которых поступают в контроллер, управляющий подачей компонентов. Это позволило менять соотношение компонентов в шихте согласно заданному рецепту. Кроме того, контроллер управляет перемещениями тележки и разгрузкой компонентов шихты в печь. Состав шихты и процесс загрузки печи выводятся на пульт оператора.

На уровне цеха система ведет автоматическую диагностику технологического оборудования и устройств электроснабжения, обеспечивает защиту от ошибочных действий персонала. Для выработки системой рекомендаций по предотвращению развития аварийных ситуаций оператор должен подтверждать прием любого из 300 сообщений об аварии. В компьютере мастера смены хранится информация о времени появления аварии, времени ее восприятия дежурным персоналом и времени устранения аварии. Программное обеспечение предусматривает работу системы в автоматическом, ручном, наладочном и дистанционном режимах управления.

### 7.7.2. Пищевая промышленность

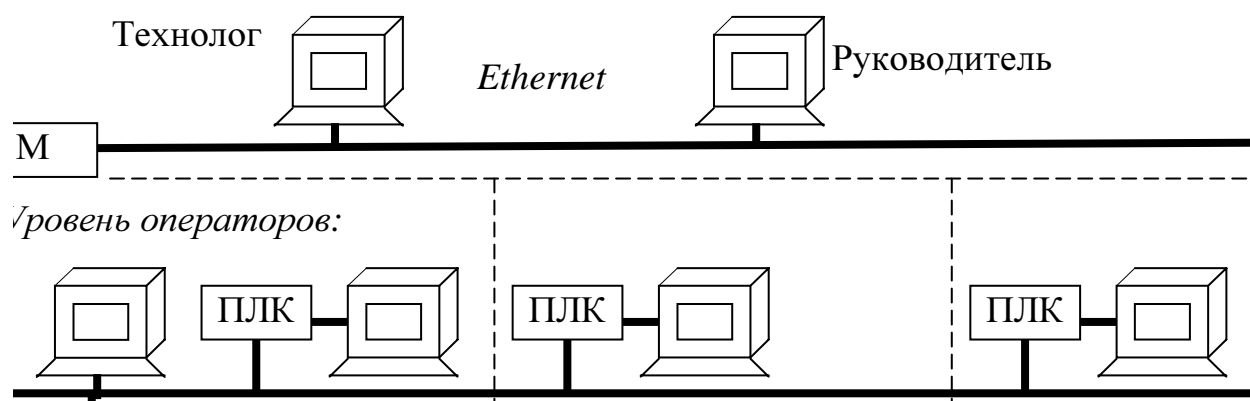
Пивоваренные, хлебобулочные, молочные, мясоперерабатывающие, сахарные и другие пищевые производства с быстрым возвратом инвестиций лучше других адаптируются к рыночной экономике. Для этого они вводят высокопроизводительные автоматизированные технологические линии, позволяющие повысить качество продукции и снизить ее себестоимость.

В качестве примера рассмотрим систему автоматизации крупнейшего в СНГ спиртового комбината в Семипалатинске [27]. Система имеет 128 аналоговых и 238 дискретных входов, 109 аналоговых и 73 дискретных выходов. Она обеспечивает:

- контроль технологических параметров с их архивацией в виде графиков;
- дистанционное управление технологическим процессом с автоматическим регулированием параметров;
- контроль работы электроприводов технологического оборудования;
- сигнализацию диспетчеру об отклонении фактических параметров от заданных;
- регистрацию сообщений о неполадках;
- контроль и запись действий операторов.

Каждый из трех этапов производства имеет три уровня автоматизации, связанные между собой сетью FIPWAY (рис. 7.36).

уровень АСУ производством:



*Рис. 7.36 . Структура автоматизированной системы производства спирта*

На уровне оборудования контроллеры (ПЛК) по сигналам датчиков обеспечивают автоматическое управление исполнительными устройствами технологического оборудования. На уровне операторов отображают работу оборудования в целом и ведут учет технологических параметров. На уровне АСУ производством осуществляют контроль производства в целом. Сеть Ethernet этого уровня соединена с шиной FIPWAY нижних уровней через маршрутизатор М.

На этапе варки сырья осуществляются: контроль и регулирование температуры и расхода воды для замеса сырья; контроль и регулирование плотности замеса; контроль и управление температурным режимом; управление потоком замеса через технологические емкости; управление отбором сусла для следующего отделения; контроль работы электроприводов и насосов.

На этапе брожения осуществляются: контроль и регулирование температуры в дрожжевых и бродильных аппаратах; контроль уровня и времени заполнения, брожения и опорожнения бродильных аппаратов; контроль и управление подачей браги; контроль и управление электроприводами и насосами.

На этапе ректификации осуществляются: контроль и регулирование расхода браги и воды, отвода барды; контроль и управление насосами.

Разработка и внедрение системы на комбинате заняли менее шести месяцев.

#### *7.8. Сопоставление затрат и эффективности автоматизации*

Особенностями компьютерной автоматизации являются крупные начальные затраты и разностороннее влияние на эффективность производства. После ее внедрения у предприятия появляется способность быстро реагировать на изменения рыночной ситуации. Экономятся затраты на содержание производственных помещений и рабочей силы. Возникает возможность оперативного планирования и оптимизации производства. Благодаря повторному использованию перепрограммируемых устройств сокращаются затраты на модернизацию производства.

По результатам опроса фирмы выделяют следующие мотивы внедрения систем гибкой автоматизации: снижение издержек производства (61 %); повышение гибкости производства (39 %); снижение брака (29 %); компенсация нехватки квалифицированных рабочих (25 %); уменьшение травматизма (21 %); улучшение условий труда на рабочем месте (19 %); уменьшение утомляемости рабочих на монотонных операциях (13 %); уменьшение зависимости нововведений от квалификации персонала (13 %); компенсация нехватки рабочей силы (10 %); улучшение окружающей среды (8 %).

Вместе с тем компьютерная автоматизация иногда не обеспечивает ожидаемого эффекта по ряду причин:

- ориентация разработчиков на традиционные формы производства, приспособленные для человека;
- формальное обоснование целесообразности автоматизации, не учитывающее многовариантности построения автоматизированной системы;
- некомплексность автоматизации, приводящая к ограничению ее возможностей неавтоматизированными участками производства (ручная подготовка программ, комплектов инструмента и технологической оснастки; неритмичная подача материалов со смежных участков);
- несовместимость новых возможностей автоматизированной системы со сложившейся организационно – информационной структурой производства;
- отсутствие методов оценки косвенной эффективности компьютерной автоматизации.

Разделим источники эффективности автоматизации на *прямые* и *косвенные*. К *прямым* относятся повышение производительности, снижение затрат на рабочую силу, экономия материалов и энергии, более полное использование оборудования. Их можно оценить обычными методами:

*Повышение производительности оборудования путем увеличения его загрузки.*

Использование дорогостоящего оборудования в неавтоматизированном производстве не превышает 8 % возможного времени его работы. Остальное время теряется из-за отсутствия обслуживающего персонала во вторую и третью смены (40%), ручных установки и снятия полуфабрикатов (4 %), ручных переналадок и измерений (7%), ручной смены инструмента (7%), появления и устранения неисправностей (6%), отсутствия обслуживающего персонала в период отпусков и праздников (28 %). Кроме того, возможности ручного обслуживания оборудования ограничены такими свойствами человека, как низкая скорость восприятия и обработки количественной информации, необходимость накопления опыта, потребность в перерывах на отдых, плохое запоминание количественной информации.

Эффект от автоматизации достигается за счет повышения коэффициента сменности с 1,6 (при двухсменной работе и ручном управлении) до 3,0, что дает прибавку 1260 часов в год; эксплуатации автоматизированного оборудования в выходные и праздничные дни – дополнительно 2735 часов в год; исключения внутрисменных и междусменных простоев в связи с отдыхом персонала (400 ча-

сов в год) и ожиданием оператора при многостаночном обслуживании (около 300 часов в год).

В результате коэффициент загрузки повышается с 0,4-0,6 до 0,85-0,90. Благодаря этому для выпуска прежнего объема продукции требуется меньшее количество единиц оборудования.

*Повышение производительности за счет сокращения времени обработки изделия.*

Это достигается путем увеличения числа технологических операций, выполняемых в единицу времени. Автоматизированное оборудование может работать со скоростями, недоступными человеку, вследствие чего повышается среднесменная производительность.

*Экономия зарплаты высвобождаемых рабочих.*

С 70-х годов затраты на час работы рабочего в США превысили стоимость часа работы робота и стали расти в 6-8 раз быстрее затрат на эксплуатацию роботов. В конце 80-х годов стоимость часа работы робота составила 6 долларов при стоимости часа работы рабочего США 15 долларов. В 1991 г. один час работы робота в США приносил прибыль 13 долларов при высвобождении 2-7 человек.

*Сокращение убытков от незавершенного производства*

К незавершенному производству относят запасы материалов, полуфабрикатов и деталей в промежуточных складах, необходимые для продолжения работы при простое предыдущего участка. Хранение в промежуточных складах приводит к убыткам от оплаты труда, вложенного в еще непроданную продукцию. Увеличиваются потери от брака, допущенного на предыдущем участке. Убытки зависят от объемов незавершенного производства и сроков его хранения в промежуточных складах. По мере увеличения сложности выпускаемой продукции растут число этапов ее производства и убытки от хранения незавершенного производства между участками. Ухудшается адаптация производства к рынку.

Автоматизация позволяет организовать ритмичную работу участков производства в режиме "делать то, что нужно, когда нужно и сколько нужно". По опыту обоснования целесообразности автоматизации сокращение незавершенного производства является основным источником эффективности автоматизации.

*Сокращение производственных площадей.*

Повышение загрузки оборудования после автоматизации позволяет выполнять поступающие заказы меньшим числом единиц оборудования. Это приводит к сокращению площади, занимаемой оборудованием. Возможность быстрого перепрограммирования производства на выпуск новых изделий уменьшает число специализированных технологических линий. Эффект от сокращения производственных площадей оценивается по экономии капитальных затрат на строительство помещений и текущих затрат на их содержание. Один квадратный метр производственной площади стоит более тысячи долларов капитальных затрат, не считая текущих затрат.

*Снижение потерь от брака.*

К этому приводят независимые от индивидуальных особенностей рабочего стабилизация операций обработки и соблюдение технологической дисциплины.

*Экономия материалов и энергии.*

Обеспечивается за счет рационального выполнения операций в автоматическом режиме: минимизации отходов при раскрое материалов; сокращения расхода краски при нанесении покрытий; оптимизации режимов сварки.

*Выручка от продажи заменяемого оборудования.*

Оценивается как ликвидационная стоимость демонтируемого оборудования при его замене на автоматизированное оборудование. В дальнейшем вместо модернизации механической части оборудования меняют программу управления. Так, на некоторых предприятиях до сих пор работают первые промышленные роботы «Versatran» и «Unimate», выпущенные в 1962 г., но оснащенные микропроцессорными устройствами управления.

*Косвенными* источниками эффективности автоматизации являются улучшение условий труда персонала, снижение текучести кадров, стабилизация операций, сокращение затрат на модернизацию производства, увеличение конкурентоспособности продукции. В отличие от прямых источников эффективности для их выявления и оценки требуются специальные методы:

*Улучшение социальных характеристик труда рабочих*

Проявляется в виде сокращения социальных затрат, которые обусловлены непосредственным участием рабочих в технологическом процессе и скрыты в общих затратах предприятия. К ним относятся: потери от травматизма, утомляемости, профессиональных заболеваний и текучести кадров; затраты на охрану труда и подготовку кадров, дотации на жилье и социально – бытовое обслуживание, различные компенсации и льготы. По нашим оценкам, на шахтах и разрезах Кузбасса доля социальных факторов эффективности автоматизации составляет 80-120 % экономии зарплаты высвобождаемых рабочих [ 28 ] .

*Снижение затрат на технологическую подготовку производства.*

Эффект образуется вследствие перепрограммируемости универсального оборудования и автоматизированной подготовки программ управления оборудованием. Компьютерная подготовка техдокументации и непосредственная передача технологических заданий к устройствам управления оборудованием позволяют в несколько раз повысить производительность труда проектировщиков и технологов, оптимизировать конструкции изделий и технологические маршруты.

*Снижение расходов на эксплуатацию и ремонт оборудования.*

Образуется за счет выполнения заказов меньшим числом единиц оборудования в автоматизированном производстве. Оценивается как экономия затрат на зарплату ремонтников и запчасти.

*Повышение качества продукции за счет стабилизации процессов и исключения влияния субъективного фактора.*

Образуется за счет автоматического повторения рациональных циклов управления независимо от степени усталости и квалификации рабочего, например при сварке, окраске, нанесении покрытий. Так, при ручной окраске 10-20 % изделий возвращают для исправления дефектов окраски. Автоматизация окраски исключает появление дефектов, повышает производительность в 1,7 раза за счет большей скорости распылителя, сокращает расход окрасочного материала на 30

%, исключает вентиляционные устройства, позволяет наносить на поверхность рисунки по заданным программам.

*Сокращение потерь на приобретение опыта и квалификации рабочим .*

Хотя подготовка кадров для компьютерной автоматизации требует повышенных затрат, в автоматизированном производстве нет необходимости в длительном накоплении рабочими профессионального опыта, например для сварки, окраски, сборки или резания материалов. Адаптивное управление этими операциями по рациональным алгоритмам и с высокими скоростями приводит к независимости качества процесса от опыта рабочего.

*Сокращение убытков от несчастных случаев.*

Страховые выплаты в случаях травматизма или гибели рабочего на производстве достигают 10 млн долларов. Это приводит к росту обязательных страховых отчислений для фирм, не внедряющих автоматизированные технологии производства. Эффект оценивают как сокращение страховых выплат и компенсаций в связи с несчастными случаями. Кроме того, высокая вероятность несчастных случаев на рабочих местах приводит к нехватке кадров и требует компенсирующего повышения зарплаты, не связанного с производительностью и качеством труда.

*Повторное использование устройств автоматизации при модернизации производства.*

В отличие от традиционного производства, развитие компьютерно-автоматизированного производства не требует замены промышленных компьютеров, программируемых контроллеров и персональных ЭВМ. Устаревшее программное обеспечение просто заменяют на новое. Эффект проявляется в сокращении затрат на обновление производства.

*Повышение конкурентоспособности продукции.*

Компьютерно-автоматизированное производство способно быстро переходить на выпуск новой продукции в соответствии с колебаниями спроса, обеспечивая фирме рыночную инициативу. В машиностроении становится рентабельным выпуск единичных экземпляров продукции по заказу потребителя, выставляющего индивидуальные требования. Передача через Интернет технологической информации от головного предприятия в базы данных дочерних предприятий, распределенных по миру, позволяет ускорить выход с новой продукцией на рынок и получить повышенную прибыль.

*Интеграция подсистем производства.*

Внедрение только локальной автоматики, как правило, неэффективно и оказывает слабое влияние на производство. При объединении автоматизированного оборудования в сеть появляются возможности согласования работы смежных звеньев и участков производства, ввода оперативного управления оборудованием, планирования и организации производства. Интеграция подсистемы автоматизированного производства с подсистемами автоматизированного проектирования и автоматизированной технологической подготовки производства приводит к качественному изменению всех ступеней производства.

*Сокращение сроков опытно – конструкторских работ.*

Себестоимость изделий, изготавливаемых по индивидуальным заказам, в 10 и более раз выше, чем при массовом производстве. Это обусловлено необходимостью частой смены инструмента и настройки оборудования, индивидуального проектирования, изменения технологических маршрутов. Присущая автоматизированному производству гибкость позволяет быстро перестраиваться на выпуск новых изделий, делая рентабельным оперативный выпуск изделий по индивидуальным заказам. Появляется возможность выпуска экспериментальной проверки новых узлов и машин, быстрого освоения принципиально новой продукции. Это приводит к ускорению научно-технического развития общества.

Конечно, техническое и программное обеспечение компьютерной автоматизации намного дороже простых орудий производства. Как сопоставить затраты на автоматизацию с эффектом от ее применения? Выделим понятия живого и овеществленного труда. Живой труд – это затраты труда человека, непосредственно занятого в производственном процессе. Например, это некоторое количество человеко-часов землекопа, потраченных на выкапывание ямы лопатой. Овеществленный труд – это затраты труда человека, вложенного в создание орудий живого труда. В данном примере это затраты труда, вложенные в создание лопаты. На выкапывание ямы затрачивается много живого труда и мало овеществленного труда. Такой же результат можно получить, применив экскаватор. При этом на выкапывание ямы будет затрачено мало живого труда и много овеществленного труда, вложенного в создание экскаватора.

Через всю историю человечества проходит замена живого труда людей на работу механизмов. Появление принципиально новых средств замены живого труда, таких как паровые машины, электричество или микропроцессоры, позже оценивают как научно-техническую революцию. В таких средствах овеществлен многолетний интеллектуальный и физический труд их создателей. Если затраты этого труда компенсируются опережающим сокращением живого труда людей за счет роста производительности, сокращения расходов на энергию, материалы и рабочую силу, то применение средств замены живого труда будет целесообразно.

В ткацком производстве требуется выявить дефекты в рулоне ткани перед его отправкой заказчику. Обычно эту задачу решают за счет живого труда, когда человек рассматривает движущуюся перед ним полосу ткани. Скорость движения полосы ограничена способностями человека к распознаванию новой информации. Эту же задачу можно решить путем замены живого труда на овеществленный, установив систему технического зрения с эталонным образцом в виде бездефектного образца ткани. За счет этого удастся значительно увеличить скорость движения ткани, обеспечить круглосуточную работу контрольного участка, точно фиксировать места дефектов, быстро адаптироваться к разным видам ткани. Но в создание системы технического зрения был вложен овеществленный труд, который должен быть компенсирован опережающим сокращением живого труда. Как сопоставить изменения затрат живого и овеществленного труда в результате такого варианта автоматизации? Они зависят от стоимости труда человека, стоимости системы технического зрения, изменения производительности, затрат на переоборудование контрольного участка.

Представим годовые затраты труда на выпуск некоторого объема продукции  $Q$  в виде суммы:

$$T = T_o + N(T_m + T_{жс}),$$

где  $T_o$  – затраты овеществленного труда людей, вложенного в создание оборудования;  $T_m$  – затраты овеществленного труда, вложенного в материалы и энергию;  $T_{жс}$  – затраты живого труда людей, занятых в технологическом процессе;  $N$  – срок эксплуатации оборудования.

На этапе ручного труда затраты труда  $T_o$ , овеществленного в орудиях производства, невелики и основной составляющей общих затрат труда  $T$  является живой труд  $T_{жс}$  (рис.7.37).

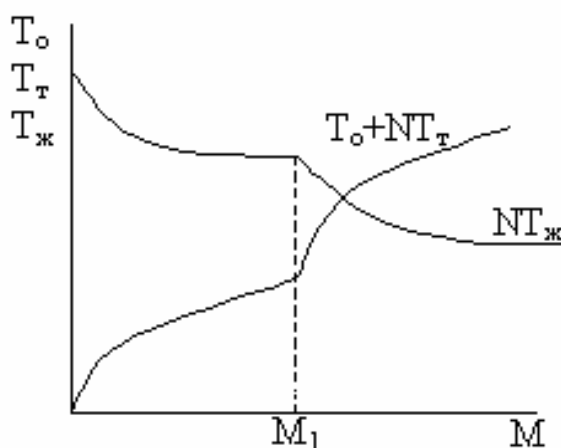


Рис. 7.37. Соотношение затрат живого и овеществленного труда по мере развития производительных сил  $M$  ( $M_1$ - технологическая революция).

По мере повышения технологического уровня производства  $M$  происходит перераспределение затрат труда – растет доля овеществленного труда и уменьшается доля живого труда. Изменения живого и овеществленного труда происходят с разной интенсивностью.

1. Затраты овеществленного труда  $T_o + NT_m$  выросли больше, чем сократились затраты живого труда  $NT_{жс}$ . В результате общие затраты труда  $T$  увеличились.

В этом случае автоматизация нецелесообразна. Например, предлагается разработать робот с искусственным интеллектом для автоматического поиска неисправностей и ремонта технологического оборудования. Вместо этого целесообразно вложить средства в повышение надежности оборудования.

2. Увеличение затрат овеществленного труда  $T_o + NT_m$  равно уменьшению затрат живого труда  $T_{жс}$ . Общие затраты труда  $T$  не изменились.

Это граничное условие целесообразности автоматизации. Следует проанализировать, нет ли дополнительных источников эффективности, есть ли потенциальная эффективность автоматизации.

3. Затраты овеществленного труда  $T_o + NT_m$  выросли меньше, чем сократились затраты живого труда  $NT_{ж}$ . В результате общие затраты труда  $T$  уменьшились.

Только в этом случае автоматизация целесообразна, поскольку здесь произошла опережающая замена живого труда на овеществленный.

Как сопоставить изменения живого и овеществленного труда с учетом дополнительных затрат на автоматизацию, надежности автоматизированного оборудования, изменения производительности и эксплуатационных расходов?

Уровень совершенства технологии можно оценить по отношению объема выпущенной продукции к общим затратам на ее выпуск:

$$P = \frac{QN}{T} = \frac{QN}{T_o + N(T_T + T_{Ж})}$$

где  $Q$  – годовой выпуск продукции;  $N$  – срок эксплуатации оборудования;  $T$  – общие затраты единовременного овеществленного  $T_o$ , текущего овеществленного  $T_m$  и текущего живого  $T_{ж}$  труда на выпуск продукции.

Смысл этого выражения прост: чем больше выпуск продукции и меньше затраты на ее производство в течение срока службы оборудования, тем выше уровень совершенства технологического процесса.

В зависимости от срока эксплуатации  $N$  объем выпущенной продукции линейно растет, если считать годовой выпуск продукции  $Q_i$  постоянным (рис.7.38). Единовременные затраты на оборудование  $K_i$  распределяются на весь срок эксплуатации  $N_i$ . Поэтому надо иметь в виду, что  $N_i$  на рисунке является не текущим, а общим временем работы оборудования. К затратам  $K_i$  добавляются расходы на рабочую силу  $Z_i$ , материалы и энергию  $C_i$ , линейно растущие по мере увеличения срока эксплуатации  $N_i$ .

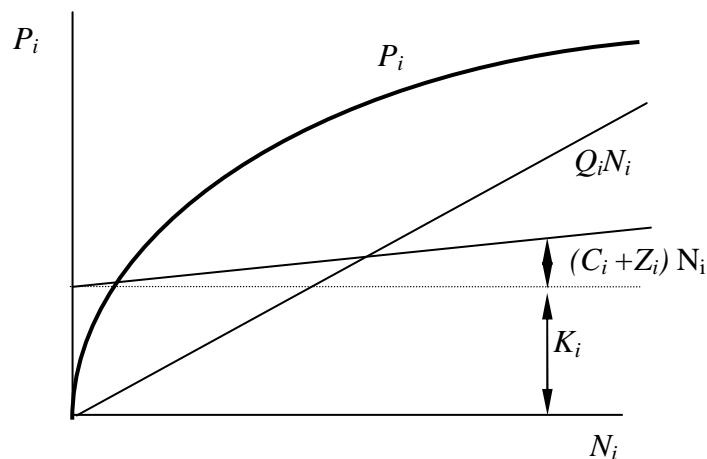


Рис. 7.38. Оценка уровня совершенства технологического процесса

В результате деления объема продукции на суммарные затраты зависимость уровня совершенства  $i$ -го технологического процесса  $P_i$  от общего срока эксплуатации оборудования  $N_i$  принимает форму гиперболы. По мере увеличения  $N_i$  единовременные затраты овеществленного труда  $K_i$  распределяются на все больший выпуск продукции, и уровень технического совершенства  $P_i$  становится выше, приближаясь к пределу морального износа:

$$P_{\text{макс}} = \frac{Q_i}{C_i + Z_i}.$$

Но для неавтоматизированной технологии можно также построить кривую уровня совершенства технологического процесса:

$$P_0(N_0) = \frac{Q_0 N_0}{K_0 + N_0(C_0 + Z_0)}.$$

Она может находиться выше, ниже или пересекать гиперболу для автоматизированного технологического процесса  $P_i(N_i)$  (рис. 7.39).

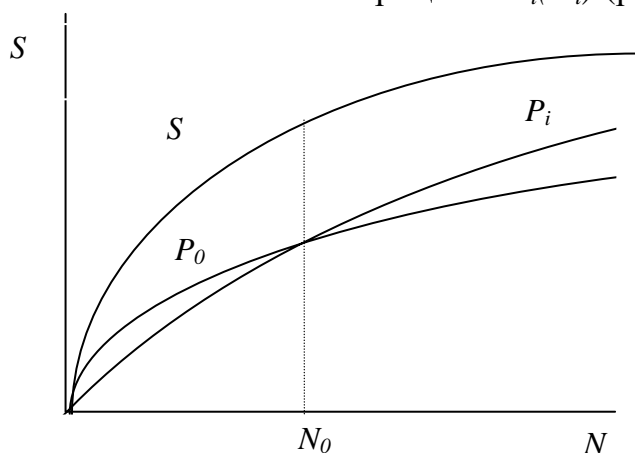


Рис. 7.39. Сопоставление уровней совершенства существующей  $P_0$  и автоматизированной  $P_i$  технологий

Таким образом, если уровень совершенства автоматизированного технологического процесса выше, чем неавтоматизированного, то должно выполняться неравенство:

$$S = \frac{P_i(N_i)}{P_o(N_o)} = \frac{Q_i N_i [K_o + N_o(C_o + Z_o)]}{Q_o N_o [K_i + N_i(C_i + Z_i)]} > 1.$$

На графике это условие выполняется после пересечения гиперболы  $P_o(N_o)$  существующей технологии гиперболой  $P_i(N_i)$  автоматизированной технологии (см. рис. 7.39). Проекция точки пересечения гипербол на горизонтальную ось показывает минимальный срок эксплуатации системы автоматизации  $N_o$ . Зависимость критерия  $S$  от срока эксплуатации  $N$  на рисунке также имеет гиперболическую форму. При увеличении срока эксплуатации прирост производительности замедляется.

Анализ условий, при которых гипербола  $P_i(N_i)$  пересекает гиперболу  $P_o(N_o)$ , позволяет решать стратегические задачи автоматизации: определение срока морального старения применяемой технологии, сопоставление альтернатив автоматизации, ранжирование целей применения и источников эффективности автоматизации, оценка минимального объема автоматизации, выбор оптимальных сроков замены неавтоматизированного оборудования на автоматизированное, оценка срока службы устройств автоматики.

Для определения границ целесообразности автоматизации введем условие  $S > 1$  и решим обратные задачи.

Требуется определить лимит затрат  $K_i$  на средства автоматизации, если известны стоимость существующего оборудования  $K_o$ , производительность  $Q_o$ ,  $Q_i$ ; годовые затраты на рабочую силу  $Z_o$ ,  $Z_i$ , материалы и энергию  $C_o$ ,  $C_i$  до и после автоматизации. Преобразуем выражение при условии роста производительности труда  $S > 1$ :

$$K_i < \frac{Q_i}{Q_o} [K_o + N(C_o - C_i) + N(Z_o - Z_i)].$$

Используя преобразование формулы для  $S$ , можно определить, на какую величину должна повыситься производительность в результате автоматизации, если известны затраты на существующую  $K_o$  и автоматизированную  $K_i$  технологии, годовые затраты на рабочую силу  $Z_o$ ,  $Z_i$ , материалы и энергию  $C_o$ ,  $C_i$ :

$$\frac{Q_i}{Q_o} > \frac{K_i + NC_i + NZ_i}{K_o + NC_o + NZ_o}.$$

Таким образом, рассмотренный метод позволяет сопоставить в одной формуле затраты и эффект от модернизации производства, а затем сделать вывод о целесообразности автоматизации.

### *ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ 7*

1. Когда появляется объективная необходимость в автоматизации производства?
2. Чем системный подход отличается от несистемного?
3. В чем выражается эмерджентность системы?
4. Каковы задачи системной интеграции?
5. Сопоставьте три схемы расчетов предприятия за энергию.
6. Чем коммерческий учет энергии отличается от технического?
7. В чем состоит эффективность компьютерного учета энергии?
8. Чем концепция производства САПР/ АСТПП/ ГПС отличается от концепции САПР +АСТПП + ГПС?
9. Опишите последовательность обмена информацией между подсистемами гибкого производства.
10. Каковы задачи системы SCADA при автоматизации рудотермической печи?
11. В чем заключаются функции уровней автоматизированного управления производством спирта?
12. Как распределены мотивы перехода к автоматизированному производству?
13. По каким причинам компьютерная автоматизация может не дать ожидаемого эффекта?
14. Перечислите прямые и косвенные источники эффективности автоматизации.
15. Чем овеществленный труд отличается от живого?
16. Приведите примеры замены живого труда овеществленным в процессе развития производства.
17. При каком соотношении изменений живого и овеществленного труда автоматизация целесообразна?
18. Как оценить уровень технологического совершенства производства?
19. Как оценить целесообразность автоматизации производства?
20. Как определить границы целесообразности автоматизации производства?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Появление микропроцессорной техники привело к изменению принципов автоматизации производства. Аппаратные устройства управления стали уступать место программным устройствам. Произошел переход от централизованных к распределенным системам управления производством. Появление промышленных шин позволило связать разные уровни управления производством, сделать производство гибким, открытым и прозрачным.

Специалистам рекомендуется обратить особое внимание на быстро развивающиеся направления компьютерной автоматизации:

- системы компьютерной диспетчеризации SCADA;
- промышленные шины;
- управление оборудованием с помощью промышленных компьютеров;
- системы технического зрения;
- системы радиочастотной идентификации;
- интеллектуальные датчики.

В них ярко проявился эффект от перехода к программным средствам автоматизации.

Конечно, каждый из разделов книги заслуживает более подробного рассмотрения, но автор стремился дать краткий обзор новых тенденций в компьютерной автоматизации мирового производства. Если у читателя возникнет мысль решения проблем своего предприятия на основе описанных в книге устройств, то задача автора будет выполнена.

## СЛОВАРЬ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТЕРМИНОВ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Страны, активно внедряющие средства компьютерной автоматизации, первыми сформировали термины в этой области. Теперь специалисты должны знать и использовать эту терминологию в своей работе.

ASI (Actuator/Sensor Interface- интерфейс исполнительных устройств и датчиков)– стандарт связи устройства управления с распределенными датчиками и исполнительными устройствами объекта автоматизации

CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) – объединение компьютеризованных систем автоматизированного проектирования (CAD) и автоматизированного производства (CAM) с помощью общей для обеих систем информации;

CRC (Cyclic Redundance Checking – проверка цикличной избыточности) – распространенный способ проверки правильности цифрового сообщения, заключающийся в проверке остатка после деления сообщения на несколько частей.

DCS (Distributed Control System- система распределенного управления) – распределенная система управления производством, содержащая устройства управления оборудованием, связанные линией передачи информации.

DDL (Device Description Language- язык описания устройства) – стандарт описания HART-устройств, разработанных разными фирмами. На этом языке задают способ преобразования HART – сигналов в технологические данные, перечень выводимых на экран данных,

FIELDBUS (полевая шина) – общее название промышленной шины.

FBD (Function Block Diagram) – стандартный язык функционально-блочных диаграмм для программирования устройств управления

HART (Highway Addressable Remote Transducer- удаленный адресный преобразователь с высокой пропускной способностью)- протокол связи распределенных устройств автоматизации, при котором по линии связи одновременно передаются аналоговые и цифровые сигналы.

I/O (Input/Output) – вход/выход; блоки согласования датчиков и исполнительных устройств объекта управления с устройством управления объектом; с их помощью при логическом управлении решаются задачи преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму и обратно, гальванической развязки, восстановления формы прямоугольных импульсов, нормализации напряжений;

INTERBUS- распространенный протокол промышленной шины, разработанный в США.

IEC 61131-3 – международный стандарт языков программирования устройств логического управления

IEC 61158-3 – международный стандарт протокола промышленной шины

IL (Instruction List- список инструкций) – стандартный язык списка инструкций для программирования устройств управления.

ISO/OSI (International Standard Organisation /Open System Integration) – стандарт протокола промышленных для открытых систем, в котором определены задачи каждого из семи уровней протокола

LAN (Local Area Network- локальная сеть) – информационная сеть участка с автоматизированным оборудованием

LD (Ladder Diagram- лестничная диаграмма) – стандартный язык лестничных диаграмм для программирования устройств управления

M2M (Machine-Machine- машина-машина) – система беспроводной цифровой связи между двумя компьютерами

Machine Vision (машинное зрение)– система технического зрения, содержащая видеодатчик и блок распознавания изображения; в режиме обучения система запоминает показанный объект, в режиме распознавания – оценивает близость нового объекта к показанному;

Main Frame (основная структура) – централизованная структура управления предприятием, в которой вся информация о ходе процесса передается в центральную управляющую ЭВМ

MAP (Manufacturing Automation Protocol- протокол автоматизации производства) – первый протокол промышленной шины, имеющий семиуровневую структуру

MES (Manufacturing Execution System – система исполнения производства)- подсистема компьютерно-интегрированного производства, контролирующая ход производства ;

MMI (Man-Machine Interface) или HMI (Human-Machine Interface) – человеко-машинный интерфейс, предназначенный для интуитивно понятного человеку отображения процесса на экране компьютера.

MRP (Manufacturing Resources Planning- планирование ресурсов производства) – подсистема компьютерно-интегрированного производства, обеспечивающая слежение за рынком аналогичной продукции и направленная на достижение максимальной прибыли предприятия;

OLE (Object Linking and Embedding) – программное обеспечение для захвата и переноса объекта из одного приложения в другое;

OPC (OLE for Process Control) – программное обеспечение для захвата и переноса объекта из одного приложения в другое в задачах контроля и управления технологическим процессом.

PC-based control – система автоматического управления, в которой устройством управления является промышленный компьютер.

PLC (Programmable Logic Controller) – программируемый логический контроллер;

PLC (Programmable Logic Controller) – работающее по записанной программе логическое устройство управления, к которому подключают датчики и исполнительные устройства объекта управления.

PROFIBUS- распространенный протокол промышленной шины, разработанный в Европе.

RFID (Radio Frequency Identification- система радиочастотной идентификации) – система записи и считывания информации с изделий в процессе их изготовления

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)- система обобщенного контроля и приобретения данных; с ее помощью диспетчер наблюдает за ходом технологического процесса,

SDS (Smart Distributed System – интеллектуальная распределённая система)- стандарт объединения устройств управления в CAN – сеть с управлением от сетевого контроллера.

SFC (Sequential Function Chart – диаграмма последовательных функций) – стандартный язык диаграмм последовательных функций для программирования устройств управления.

SSD (Solid State Disk- диск твердого состояния) – полупроводниковое запоминающее устройство

ST (Structured Text- структурированный текст)- стандартный язык структурированного текста для программирования управляющих систем

Transparent Factory (прозрачное производство) – связь всех уровней автоматизации предприятия одной промышленной шиной , что обеспечивает получение информации с любого уровня автоматизации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конюх В.Л. Компьютерная автоматизация производства. Учебное пособие для студентов вузов в 2-х частях. Кемерово: КузГТУ, 2003 г. 118 и 104 с.
2. Костяков С. Промышленность – в центре внимания. Концепция построения современных систем автоматизации производства // CompUnity. 1996, № 9. С. 74-80.
3. Konyukh V. Use of Intelligent Automation for Mine Robot Cars / Proc. of the Third International Symposium on Mine Mechanization and Automation. – USA: Golden, Colorado School of Mines, 13-16 June 1995. V.1, -pp. 1.45-1.56.  
Конюх В.Л. Прогнозирование сложности управления шахтным роботом // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1987. – №2. – 57-61с.
- Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М. «Энергия», 1975. 374 с.
- Солодовников В.В. Основы автоматического регулирования. М.: Машгиз, 1954, 354 с.
- Захаров В.Н., Поспелов Д.А., Хазацкий В.И. Системы управления. -М.: Энергия, 1977. -С. 419.
- Срибнер Л.А. Программируемые устройства автоматики. Киев: Техніка, 1982, 176 с.
9. Конюх В.Л. Информационные устройства и системы в автоматизированном производстве: Учебное пособие. – Кемерово: КузГТУ, 2000. – 132с.
10. Системы очувствления и адаптивные промышленные роботы /Брагин В.Б., Войлов В.Г., Жаботинский Ю.Д. и др. М.: Машиностроение, 1985, 256 с.
11. Кругляк К. Практика построения промышленных сетей на базе AS-интерфейса. Современные технологии автоматизации, 2002, №4, с.30-39
12. Конюх В.Л. Основы промышленной робототехники. Учебное пособие. - Кемерово: Кемеровский госуниверситет, 1993, -С. 155.
13. Конюх В.Л. Гибкие производственные системы. Учебное пособие. - Кемерово: КемГУ, – 1993. -С.75.
14. Скотт П. Промышленные роботы -переворот в производстве. – Пер. с англ. -М: Экономика, 1987. – С. 304.
15. Бармин А. Устройства локальной автоматики. Микроконтроллеры / Современные технологии автоматизации, 2003, №4, с. 38-42
16. Шпиз Б. Применение UltraLogic в проектировании систем управления инженерным оборудованием / Б.Шпиз, Б.Якубович, В.Журавлев, Р.Биусов, С.Шакиров // Современные технологии автоматизации. 1998. №2. С. 90-95.
17. Бунин В. и др. SCADA-системы: проблемы выбора//Современные технологии автоматизации, 1999. №4. С.6-10.
18. <http://www.ankey.ru>. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) // Мир компьютерной автоматизации. 1999. №3 . С.4-9.
19. Reissenweber V. Feldbusysteme / R.Oldenbourg Verlag. Muenchen Wien. 1998, 262 p.

20. Половинкин В. Основные понятия и базовые компоненты AS- интерфейса Современные технологии автоматизации. 2002, №4, с. 18-29.
21. Шербаков А. Протоколы прикладного уровня CAN – сетей // Современные технологии автоматизации. 1999. № 3. С. 6 – 15.
22. Половинкин В. HART- протокол // Современные технологии автоматизации. 2002. №1. С. 6-14.
23. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. – М.: Энергия, 1981. -С. 232.
24. Конюх В.Л., Игнатъев Я.Б. Обеспечение работы роботизированной сборочной линии при отказе работа / Сборка в машиностроении, приборостроении, 2003 г., №9, с. 24-27.
25. Гуртовцев А. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах // Современные технологии автоматизации. 1999. №3. С. 34-47.
26. Германский А.П. Автоматизированная система управления открытой рудотермической печью / А.П.Германский, А.Ф.Штайер // Schneider Automation Club Информ. бюл. представительства "Шнайдер Электрик". 1999. №7. С. 18-21.
27. Мироненко В.Д., Реализация фирмы "КТС" в спиртовой промышленности: комплексная поставка и внедрение / В.Д. Мироненко, С.М. Коломиец // Schneider Automation Club. Информ. бюл. представительства «Шнайдер Электрик». 1999. №7. С. 10-13.
28. Конюх В.Л., Юровская М.А. Стоимостная оценка социальных характеристик труда шахтера / Уголь. 1990. – №5. – 38-39с.