

**Управляющие ЭВМ и комплексы**  
Раздел: **Программно-технические комплексы (ПТК)**

Доцент каф. ИУ-1 Суханов Владимир Александрович  
*Материалы к лекциям*

Список литературы

1. Суханов В.А. Автоматическое регулирование и оперативное управление на основе программно-технических комплексов: Учеб. пособие. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. 88 с.
2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. -М.:СОЛОН-ПРЕСС, 2004.-256 с. (“Библиотека инженера”).
3. КОНТАР. Современная система автоматического управления и мониторинга. Описание программно-технического комплекса КОНТАР. ОАО “Московский Завод Тепловой Автоматики”. 2004.  
<http://www.kontar.ru> , <http://www.mzta.ru>
4. Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Харазов В.Г. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. – С.Петербург: «П-2», 2004. – 368 с., ил. ISBN 5-93893-274-2
5. Галкин В.А., Григорьев Ю.А. Телекоммуникации и сети: Учеб. пособие для вузов.-М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.-608 с.:ил. ISBN 5-7038-1961-Х
6. Управляющие вычислительные комплексы: Учеб. пособие/Под ред. Н.Л.Прохорова. 3-е изд. перераб. и доп. - М. Финансы и статистика, 2003. - 352 с. ISBN 5-279-02551-8.
7. В.Л.Бройдо. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации - СПб.: Питер, 2003.-688 с.:ил. ISBN 5-318-00530-6
8. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2002.-672 с.:ил. ISBN 5-8046-0133-4

Журналы

9. Современные технологии автоматизации (СТА).
10. Приборы и системы управления.
11. Промышленные АСУ и контроллеры.
12. Информационные технологии.
13. Мир компьютерной автоматизации (МКА).
14. Мир Встраиваемых Компьютерных Технологий (МКА: мир ВКТ).

Используемые сокращения

АЦП	- аналого-цифровой преобразователь
ДЧ	- датчик
ИМ	- исполнительный механизм
ЛВС	- локальная вычислительная сеть
МП/МК	- микропроцессор / микроконтроллер
ОС/ОСРВ	- операционная система/ операционная система реального времени
ОУ	- объект управления
ПО	- программное обеспечение
ПРК	- программируемый контроллер
ПТК	- программно-технический комплекс
УВК	- управляющий вычислительный комплекс
УСО	- устройство сопряжения/связи с объектом
ЦАП	- цифро-аналоговый преобразователь
ЭВМ	- электронная вычислительная машина

**Введение**

Современная концепция построения средств автоматизации заключается в создании интегрированных систем управления. Это обусловлено тем, что управление динамическими системами подвергается воздействиям изменчивой внешней среды, сопряжено с привлечением и обработкой огромных объемов информации, причем подобная обработка в одном центре становится практически нереализуемой задачей.

Более того, управление из одного центра всеми компонентами объекта управления (ОУ), даже если оно в принципе реализуемо, не может быть эффективным.

Поэтому на практике современные системы управления, а соответственно и **управляющие системы и комплексы**, являются **распределенными**, их структура, как правило, строится по **иерархическому, многоуровневому** принципу.

Достаточно часто в процессах принятия решений участвует человек (операторы, диспетчеры, руководители тех или иных уровней, обобщенный термин - “лицо, принимающее решение” - ЛПР), поэтому осуществляется совместная обработка сложноорганизованных данных и знаний.

Далее будут рассматриваться вопросы, относящиеся к **управляющим логико-вычислительным средствам**, обеспечивающим решение задач **автоматического регулирования** (нижний уровень системы), **программно-логического** и **автоматизированного управления** (на верхних уровнях системы).

В системах подобного типа все большее значение приобретает возможность оперативного доступа к достоверной и точной информации из любой точки управления объектами, поэтому важными являются вопросы **организации сетевой структуры систем**.

Эволюционное развитие управляющих электронных вычислительных машин (ЭВМ) и комплексов привело в настоящее время к появлению **программно-технических комплексов** (ПТК), которые включают в себя **программируемые промышленные контроллеры** (ПРК) – аппаратную основу управляющего комплекса, и **программные средства**, обеспечивающие разработку, отладку и реализацию программного обеспечения (ПО) управляющих компонентов для всех уровней системы.

Задачи управления, которые решаются на нижних уровнях системы, позволяют разгрузить вычислительную сеть от передачи излишней информации, а на верхнем уровне решаются задачи, для выполнения которых вычислительные средства нижних уровней не приспособлены, например, отображение текущего состояния автоматизируемого объекта и оперативное/диспетчерское управление.

**Таким образом, при разработке современных логико-вычислительных управляющих средств необходимо опираться на современные программно-технические комплексы, сетевые и информационные технологии.**

## **1. Проблема управления и логико-вычислительные средства в системах управления**

### **1.1. Управляющие ЭВМ и комплексы**

В теории и практике систем управления можно выделить:

1. Системы управления простыми объектами – **одномерные** (один вход и один выход).
2. Системы управления **многомерными** объектами (объект содержит много входов/выходов).
3. **Многообъектные** системы управления, имеющие то или иное (топологическое) распределение своих компонентов на плоскости или в пространстве.

Тем не менее, каждую из них обобщенно можно представить как замкнутый динамический комплекс, состоящий из двух взаимодействующих подсистем (**рис. 1.1,а**):

- **управляемой системы**, которую называют также объектом управления,
- **управляющей системы** - в простейшем случае это регулятор.

**Объект управления** (ОУ) - технический объект (один или более) или технологический процесс, для обеспечения нормального функционирования или улучшения работы которых создается система.

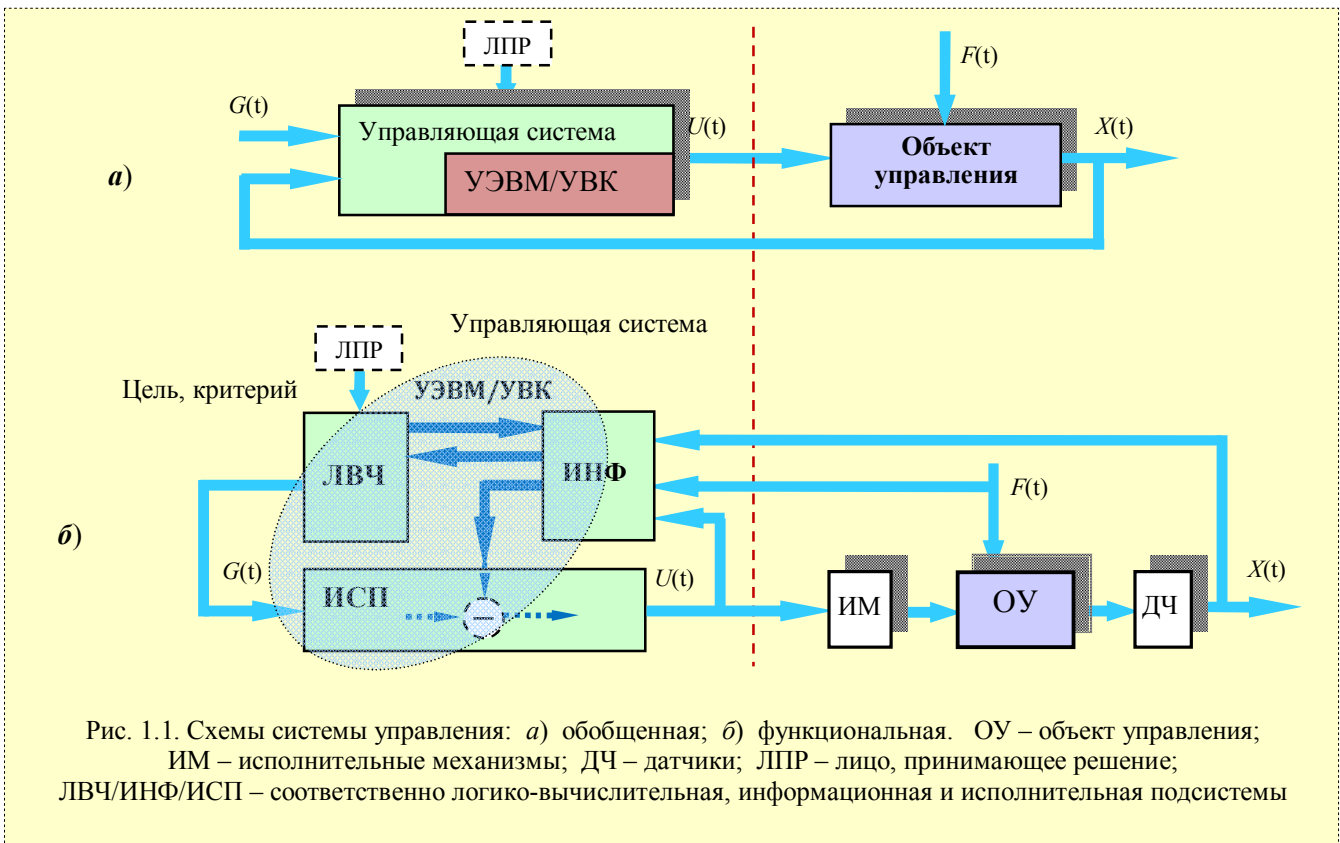
Под **управляющей системой** понимается комплекс средств сбора, обработки, передачи информации и формирования управляющих сигналов и/или команд. Ее действие направлено на поддержание или улучшение работы ОУ.

Процесс управления строится на решении следующих обобщенных задач (**рис. 1.1,б**):

- 1) сбор и анализ информации о состоянии ОУ;
- 2) сопоставление информации с целями (критериями) управления;
- 3) формирование по результатам этого сопоставления соответствующих управляющих воздействий;
- 4) реализация принятых решений.

Таким образом, **управление** – это прежде всего **информационный процесс**, предполагающий выполнение функций **сбора, обработки и анализа информации, ее передачи и хранения**, необходимых для выработки соответствующих управленческих решений. А современные управляющие системы являются сложными, многофункциональными, многорежимными, распределенными системами. Их базовую часть составляют **логико-вычислительные средства**, специально предназначенные для решения задач управления, обеспечивающие оптимальные (или близкие к ним) режимы работы системы управления.

Ранее такие средства называли *управляющими электронными вычислительными машинами* (УЭВМ), которые представляли собой специализированные вычислительные машины, используемые в качестве центрального звена управляющей системы.



УЭВМ как *вычислительная система* – это система *с фиксированным составом оборудования*, где главное место занимало само устройство обработки информации.

При решении более сложных задач управления использовались *управляющие вычислительные комплексы* (УВК), представляющие собой более гибкие структуры, *формируемые из соответствующего набора компонентов* (модулей).

УВК – это вычислительная система *с переменным составом оборудования*, которая определяется функциями, выполняемыми системой управления. Отдельные функциональные устройства выполняют в виде модулей, которые в нужной номенклатуре и количестве объединяют в вычислительную систему.

Современное понимание и трактовка управляющих ЭВМ и комплексов - это *программно-технические комплексы* (ПТК), включающие в себя *программируемые контроллеры* – управляющие устройства (от англ. *Control - управление*) и *инструментальные программные системы* для разработки и реализации программно-аппаратного обеспечения всех уровней системы.

*Программируемые контроллеры* (ПРК) – это основа современных управляющих систем, т.к. именно их структуры, в том числе и сетевые, оснащенные соответствующим системным и прикладным ПО, выполняют все функции управляющих вычислительных машин и комплексов, а также реализуют ряд новых функций и возможностей.

Далее будем использовать понятия *УВК и ПРК* (в том числе и их сетевые структуры) как *синонимы*.

В общем случае УВК *предназначены для:*

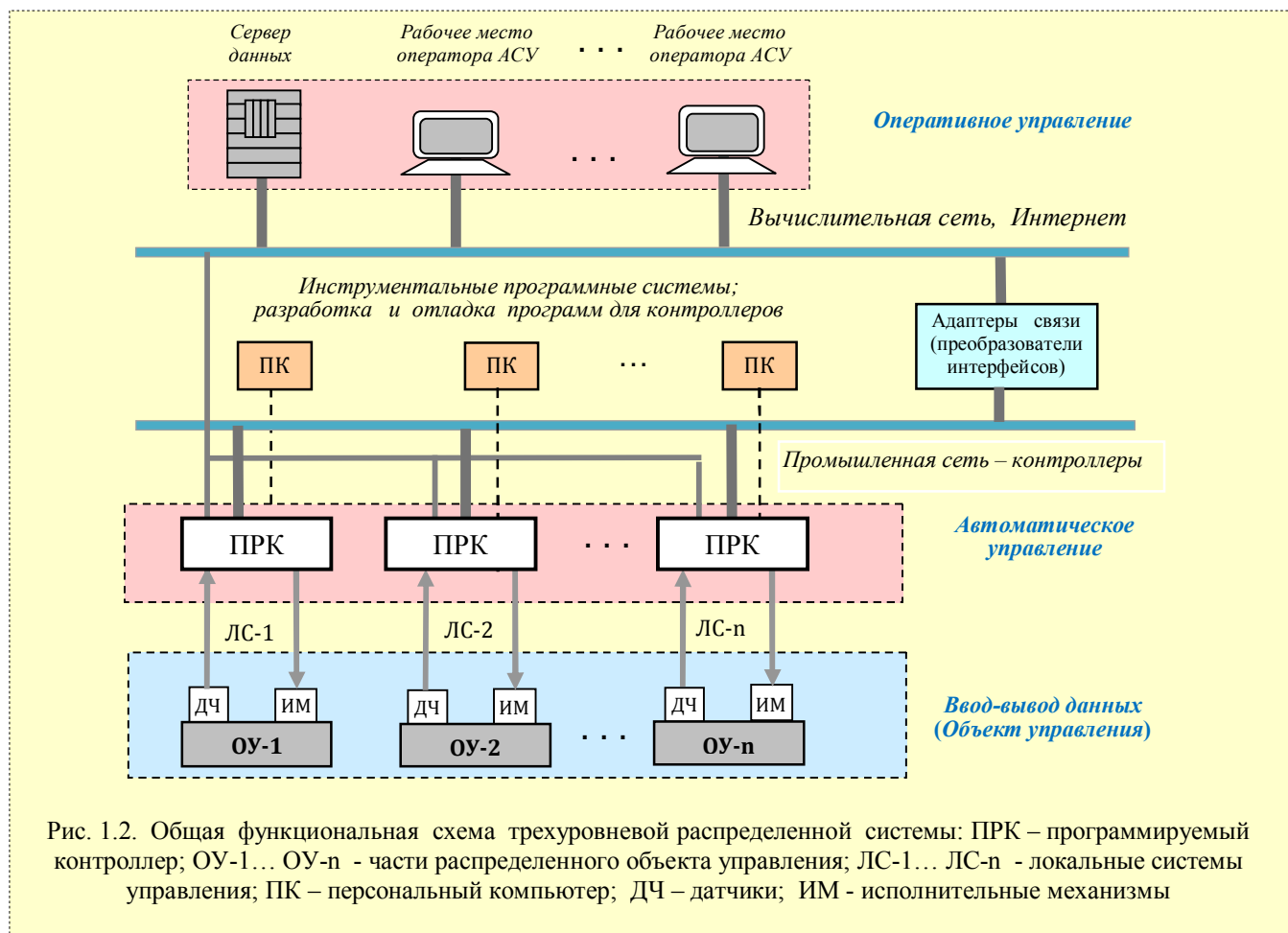
- *приема информации* от датчиков, измерительных устройств, локальных автоматических и автоматизированных систем, а также других источников информации;
- *переработки информации* по программам, определяемым заданным алгоритмом управления *в реальном масштабе времени*;
- *выдачи результатов* обработки информации на исполнительные устройства, в другие системы управления, а также оператору (ЛПР).

УВК работает с большим числом источников и потребителей информации, каждый из которых работает, как правило, *асинхронно*, т. е. информация от ОУ и запросы на обслуживание поступают в произвольные моменты времени.

При разработке алгоритма, предназначенного для использования в системе управления, нужно учитывать, что управляющие сигналы от УВК должны поступать не только в нужное место, но и в ограниченные отрезки времени, определяемые скоростью протекания (динамикой) управляемого процесса. Т.е. УВК должен работать *в реальном масштабе времени*.

## 1.2. Программно-технические комплексы (ПТК)

Выше было отмечено, что при разработке *логико-вычислительных управляющих средств* необходимо опираться на современные программно-технические комплексы, сетевые и информационные технологии, подобные средства представляют собой *многоуровневую иерархическую систему* (рис. 1.2).



**Нижний** (нулевой) уровень - **уровень ввода-вывода данных**, включает совокупность датчиков, измерительных преобразователей и исполнительных механизмов, которые достаточно часто встраиваются в конструктивные узлы технического оборудования, в настоящее время они часто содержат микропроцессоры, поэтому их называют *интеллектуальными*.

**Первый** уровень – **уровень непосредственного автоматического управления**, включает различного типа устройства связи с объектом и управляющие устройства, современной реализацией которых являются программируемые контроллеры.

**Второй** уровень - **уровень сбора данных и оперативного (диспетчерского) управления**, предназначен для отображения (визуализации) данных об ОУ для человека (оператора, диспетчера, ЛПР). Реализуются на основе систем SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition) - систем сбора данных и supervisory управления.

**Третий и четвертый** уровни (на схеме не приведены) – **уровни управления производством и планирования ресурсов предприятия**. Реализация этих функций осуществляется на основе использования локальных компьютерных сетей, Интернета, специальных программных пакетов.

Взаимодействие между компонентами различных уровней управления осуществляется:

- на нижнем уровне - посредством локальных промышленных сетей, которые обеспечивают физическую и логическую связь между ПРК, ДЧ и ИМ, распределенными в пространстве, их интеграцию в единую систему управления,

- на верхних уровнях - посредством локальных вычислительных сетей и Интернета.

*Сетевые технологии* определяют возможность оперативного доступа к достоверной и точной информации из любой точки управления объектами, что, в свою очередь, определяющим образом влияет на эффективность работы системы.

Таким образом, можно говорить о структуре *интегрированных распределенных автоматических и автоматизированных систем управления*, для разработки которых используются соответствующие средства, называемые *программно-техническими комплексами*, позволяющими получить комплексные решения следующих основных задач автоматизации: 1) реализация аппаратной конфигурации системы на основе соответствующих семейств ПРК (нижний уровень системы); 2) разработка ПО для нижнего уровня - используя соответствующие инструментальные программные системы, например, такие как Concept, ISaGRAF, Ultralogik, КОНГРАФ и др.); 3) технологическое программирование ПРК (используя соответствующие языки программирования ПРК стандарта МЭК 61131-3 - SFC, FBD и др.); 4) разработка ПО для верхнего уровня, включающего интерфейс человек-машина (используя системы SCADA), осуществление настройки и запуска системы в реальном масштабе времени.

### *Общая характеристика программно-технических комплексов*

*Архитектура ПТК отражает* его общую логическую организацию, методы представления данных, процессы обработки, состав, назначение и принципы взаимодействия технического и программного обеспечения. Для ПТК характерны модульный принцип построения систем, распределенное управление и обработка информации, свободное программирование (непрофессиональными программистами) алгоритмов, использование современных электронных компонентов и информационных технологий, таких как: *структурированный подход к построению систем; сетевые архитектуры на основе локальных вычислительных и промышленных сетей; интернет-технологии; SMS-сообщения; сотовая связь и др.*

В большинстве ПТК используются операционные системы реального времени (ОСРВ), удовлетворяющие требованиям международного стандарта как к аппаратным, так и к программным средствам.

Рассмотрим состав и назначение компонентов ПТК (*рис. 1.3*).

### **Целевая система**

Это система, которая *разрабатывается* (далее речь пойдет как об автоматических, так автоматизированных системах управления). Ее аппаратную часть составляют ПРК и промышленные компьютеры, объединяемые, как правило, в локальные промышленные сети, на основе которых разрабатывается нижний уровень системы.

В ПРК загружается соответствующее системное ПО, которое осуществляет выполнение прикладных программ, обеспечивающих необходимую обработку информации и непосредственное автоматическое управление, контроль, диагностику и другие функции.

Для организации связи ПРК с программными средствами верхнего уровня в настоящее время используется подход на основе OPC-технологии (OPC - OLE for Process Control).

### **Средства разработки и реализации ПО нижнего уровня системы:**

а) инструментальная программная система (ИПС), представляющая собой интегрированную среду разработки прикладного ПО нижнего уровня системы; она обеспечивает разработку и отладку прикладных программ, загрузку их в ПРК, содержит программы, эмулирующие функции системы исполнения и др.;

б) аппаратная основа - компьютеры, называемые инструментальными, в которые загружается ИПС, и ПРК или промышленные компьютеры, в которые загружается разработанное прикладное ПО.

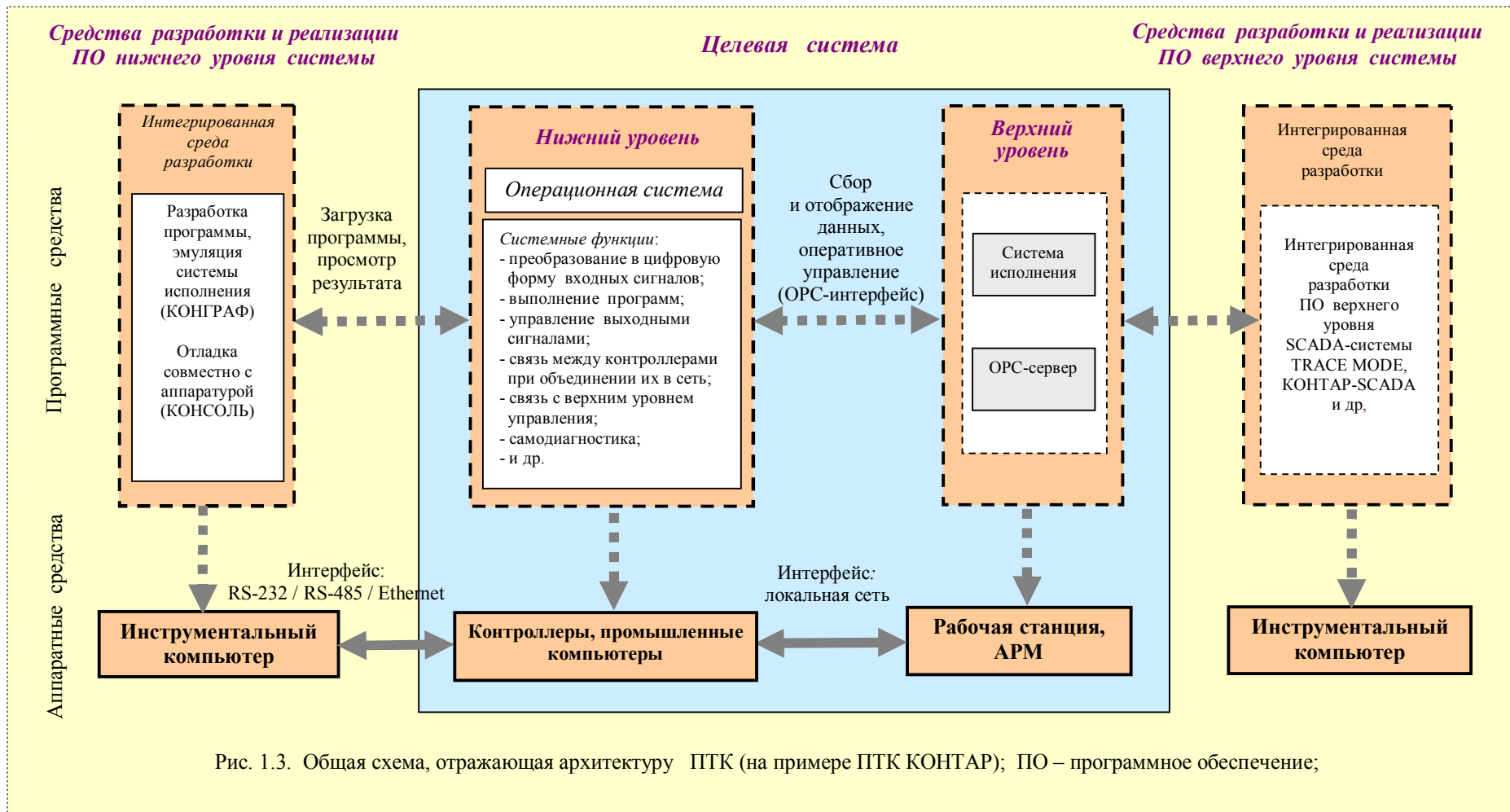
При разработке прикладных программ используются, в основном, языки программирования, удовлетворяющие требованиям международного стандарта IEC/МЭК 61131-3.

### **Средства разработки и реализации ПО верхнего уровня системы:**

а) ИПС, представляющая собой интегрированную среду разработки прикладного ПО верхнего уровня АСУ (для рабочих станций и АРМ), которая также загружается в инструментальные компьютеры; ИПС обеспечивает разработку, отладку и загрузку прикладных программ в рабочие станции и АРМ; при этом, как правило, используются системы SCADA;

б) аппаратную основу составляют инструментальные компьютеры, в которые загружается ИПС, а также рабочие станции и АРМ, в которые загружается разработанное прикладное ПО.

Если на нижнем уровне реализуется непосредственное автоматическое регулирование и программно-логическое управление, то на верхнем уровне осуществляется оперативное управление. Система исполнения и OPC-серверы, которыми оснащаются рабочие станции и АРМ, обеспечивают взаимодействие человека-оператора (ЛПР) с целевой системой.





*Таким образом*, аппаратную часть ПТК составляют:

- 1) ПРК, возможно различных типов, в которые загружается соответствующее системное и прикладное ПО: операционная система; программы, осуществляющие связь с инструментальным компьютером (загрузка программ и просмотр результатов); программы, реализующие пользовательские функции; и др.
- 2) компьютеры, выполняющие функции:
  - а) инструментальной системы для разработки и отладки прикладного ПО, загружаемого в контроллеры;
  - б) инструментальной системы для разработки ПО верхнего уровня;
  - в) исполнительной системы, обеспечивающей возможности оперативного управления (взаимодействие с ЛПР различного уровня).

### 1.3. Программируемые промышленные контроллеры (ПРК)

ПРК являются наиболее широко распространенными средствами автоматизации в составе локальных и распределенных систем контроля, регулирования и программно-логического управления.

*Термином ПРК обозначают* микропроцессорное устройство, ориентированное на обработку информации, обусловленной решением задач управления в реальном масштабе времени.

ПРК применяют также для экономичного варианта замены устаревшего электрооборудования и релейной логики при модернизации существующих систем, т.к. он является универсальным средством и позволяет в кратчайшие сроки создавать управляющие комплексы для различных областей применения.

*Как и любое вычислительное устройство, ПРК – это единство аппаратных и программных средств. При этом существенно, что в составе периферийного оборудования отсутствуют видеоплата, средства ручного ввода и дисковая подсистема. Вместо них ПРК имеет разнообразные модули ввода-вывода.*

#### *Место и функции ПРК в системах автоматического управления*

В современных системах функции УВК выполняют ПТК, логико-вычислительную основу которых составляют ПРК (*рис. 1.4*), часто объединенные в сетевую структуру. В конструктивном плане ПРК представляет собой блок (или их совокупность), имеющий определенный набор входов и выходов для подключения ДЧ и ИМ. Логика управления описывается программно на основе микропроцессорного ядра.

#### *Специфика логико-вычислительного ядра ПРК*

Вычислительным ядром ПРК является микропроцессор, ориентированный на обработку не только, а точнее не столько данных, сколько сигналов, на решение задач управления. Поэтому его называют *микроконтроллером* (МК). Это интегральная микросхема, реализованная по определенной технологии.

МК в принципиальном плане способен решать все задачи, связанные с управлением. Однако чтобы его соединить с внешними устройствами: ДЧ, ИМ и др. устройствами необходимо использовать печатную плату с соответствующими компонентами, которую необходимо заключить в соответствующий корпус. Аппаратная реализация входов и выходов ПРК ориентирована на сопряжение с унифицированными устройствами и мало подвержена изменениям.

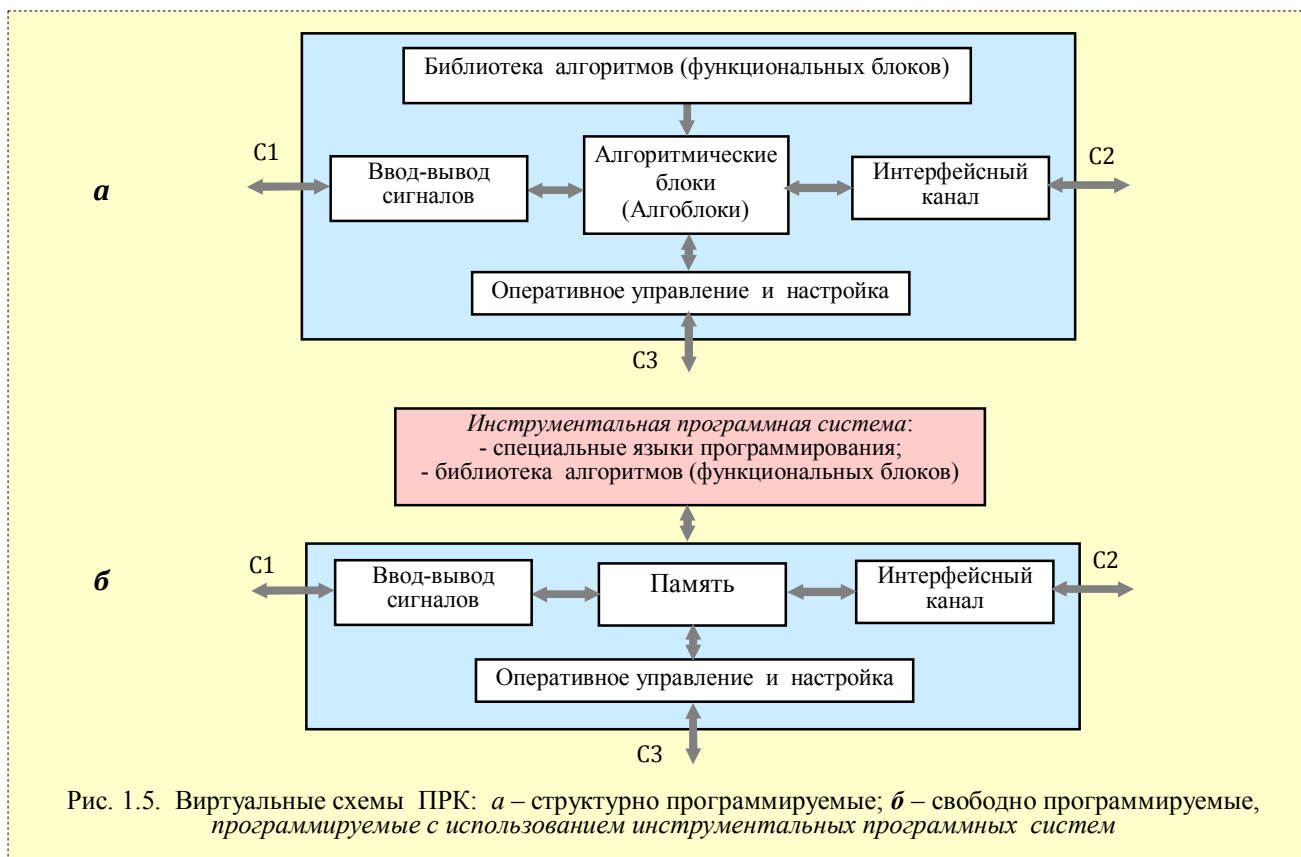
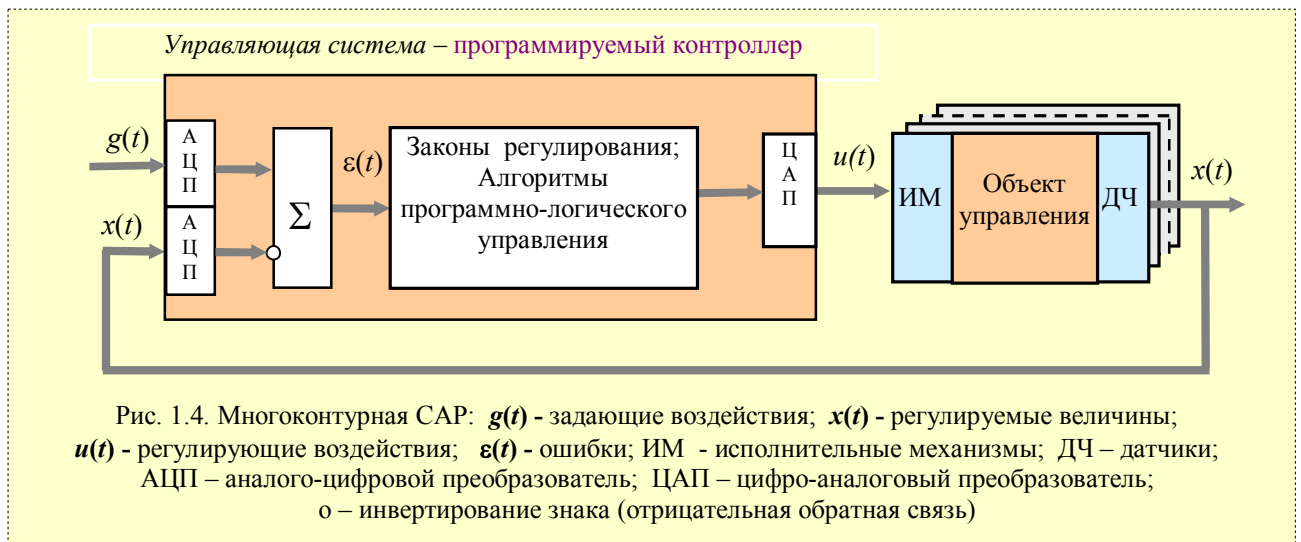
Задачей прикладного программирования ПРК является только реализация алгоритма управления конкретным ОУ. Опрос входов и выходов ПРК осуществляет автоматически, вне зависимости от способа физического соединения. Эту работу выполняет системное ПО. В идеале прикладной программист совершенно не интересуется, как подсоединены и где расположены ДЧ и ИМ. Мало того, его работа не зависит от того, с каким ПРК и какой фирмы он работает. Благодаря стандартизации языков программирования прикладная программа оказывается переносимой. Это означает, что ее можно использовать в любом ПРК, поддерживающем этот стандарт.

#### *Классификация и основные характеристики ПРК*

*Контроллеры (controller – управляющее устройство)* - это микропроцессорные устройства, которые могут быть запрограммированы на решение заданного круга задач, отсюда название - *программируемые контроллеры* (ПРК), используется также название программируемые логические контроллеры (ПЛК/PLC).

По различным признакам ПРК подразделяют на несколько типов (*рис. 1.5*).

ПРК требуются не только для больших систем, но и для малогабаритных устройств, к которым предъявляются жесткие требования по стоимости, габаритам и температурному диапазону работы, и именно поэтому в них применяют МК. В этом случае они выпускаются без специального корпуса, т.к. монтируются в общий корпус устройства или системы. В то время как 8-разрядные процессоры общего назначения полностью вытеснены более производительными моделями, 8-разрядные МК продолжают широко использоваться. Это объясняется тем, что существует большое количество применений, в которых не требуется высокая производительность, но важна низкая стоимость.



**Моноблочные** ПКК (рис. 1.6) - реализуют функции контроля и управления небольшим, достаточно изолированным ОУ, их корпуса рассчитаны на разные условия окружающей среды.

**Модульные** (рис. 1.7) - их основа магистрально-модульный принцип. Модули ввода-вывода устанавливаются в разном составе и количестве в зависимости от требуемой конфигурации. Так достигается минимальная аппаратная избыточность.

**Одноплатные или встраиваемые** ПКК (рис. 1.8) - это стандартизованные, готовые к применению модули, поставляемые в различных форматах и используемые в различных конструкциях. Они обеспечивают значительное сокращение времени на разработку новой системы, т.к. на них уже установлены все необходимые интерфейсы. Например, фирма Fastwel предлагает широкую номенклатуру одноплатных компьютеров для бортовых систем, выносные платы УСО и т.д. Большинство изделий, производимых фирмой, предназначено для работы в диапазоне температур от  $-40$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Процессорные платы Fastwel отвечают самым современным требованиям по функциональности и надежности. Могут использоваться также в качестве автономных одноплатных компьютеров. Как правило, это малоразмерные интегрированные одноплатные компьютеры, произведенные с использованием современных технологий, в результате они занимают минимум объема аппаратуры, в которую встраиваются.





Рис. 1.6. Контроллер со встроенным коммуникационным submodule

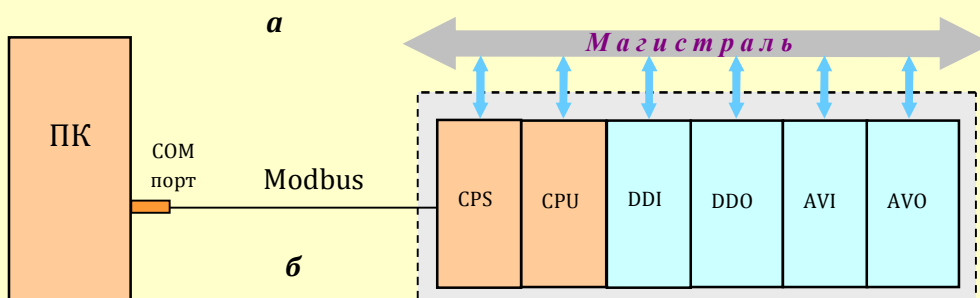


Рис. 1.7. Общий вид (а) и структура ПРК модульного типа Modicon TSX Quantum: ПК – персональный компьютер; CPS – блок питания; CPU – модуль центрального процессора; DDI, DDO, AVI, AVO - модули ввода-вывода.

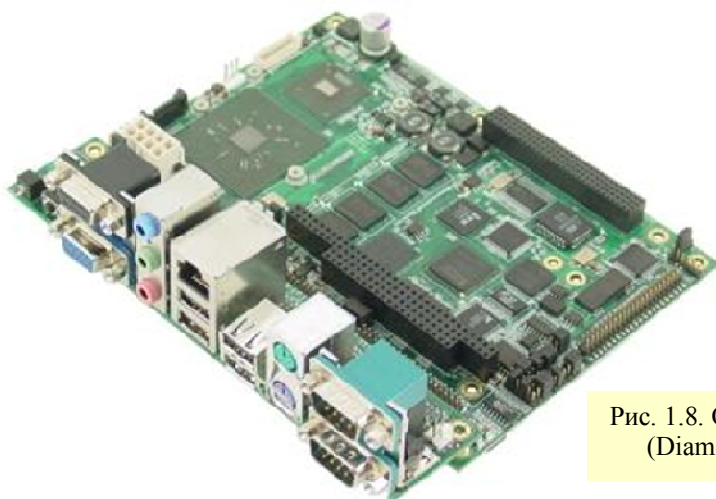


Рис. 1.8. Одноплатный компьютер (Diamond Systems Poseidon)

Компания Diamond Systems разработала мощный одноплатный компьютер (*рис. 1.8*), размеры платы – 115x165 мм, предусмотрен выпуск конфигурации с процессором, работающим на частоте 2 ГГц. Имеет развитые средства сбора данных, АЦП с автоматической калибровкой.

Функции ПРК могут быть реализованы также на базе персонального компьютера (ПК), оснащенного платами ввода-вывода. Благодаря наличию многозадачной ОС можно совместить в одном месте ПРК, среду программирования и систему SCADA. Становится возможным в кратчайшие сроки производить разработку новых систем, легко их модернизировать (смена программы), а также использовать готовые блоки.

Если же к ПРК предъявляются особенные требования (работа в условиях тряски, расширенном диапазоне температур, воздействия агрессивных сред), то приходится использовать промышленные варианты компьютеров. ПРК на базе ПК используют, как правило, для управления небольшими замкнутыми объектами в промышленности, в специализированных системах автоматизации в медицине, научных лабораториях, средствах коммуникации. Общее число входов-выходов такого ПРК обычно не превосходит нескольких десятков, а набор функций предусматривает сложную обработку информации с расчетом нескольких управляющих воздействий.

*Рациональная область применения ПРК на основе ПК определяется следующими условиями:*

- большой объем вычислений за достаточно малый интервал времени при небольшом количестве входов-выходов ОУ (нужна большая вычислительная мощность);
- работа в окружающей среде, не слишком отличающейся от условий работы офисных ПК;
- в силу нестандартности реализуемых ПРК функций целесообразно их программировать не на специальных технологических языках, а на обычном языке программирования уровня С++, Паскаль и др.;
- практически не требуется мощная аппаратная поддержка работы в критических условиях, которая обеспечивается обычными ПРК. *К функциям такой поддержки относятся:*
- глубокая диагностика работы вычислительных устройств,
- автоматическое резервирование и устранение неисправностей без остановки работы ПРК,
- модификация программных компонентов во время работы системы автоматизации и т.д.

На рынке ПРК в России успешно работают компании: Octagon, Advantech, Analog Devices и др.

Существенный недостаток такого варианта – большое время выхода на рабочий режим после включения питания или зависания компьютера. Загрузка ОС может отнимать несколько минут, все это время система оказывается неуправляемой. Для ПРК время “холодного” запуска измеряется миллисекундами.

*Мезонинная технология* – это еще одним вариант построения ПРК. Все силовые цепи, устройства защиты ПРК выполняются на несущей плате. Процессорное (ПРЦ) ядро ПРК, включающее систему исполнения, выполнено на отдельной сменной (*мезонинной*) плате. В результате появляется возможность составлять несколько комбинаций ПРЦ-ядра и разных силовых плат без необходимости корректировки ПО.

При необходимости ПРЦ можно заменить даже в готовой системе. Например, для одного из ПРК (Германия) – сверхминиатюрное ядро выполнено в виде модуля, рассчитанного на установку в стандартную колодку микросхем, имеющих корпус DIP40; несмотря на скромные размеры, модуль включает 16-разрядный ПРЦ, память данных, энергонезависимую память программ, встроенное ядро системы исполнения (CoDeSys), 8 дискретных входов и 8 выходов, 4 аналоговых входа, 2 парных входа квадратурных шифраторов, интерфейсы RS-232, SPI и обеспечивает работу сети CANopen.

Характерным для современных ПРК является использование *многопроцессорных* решений, когда модули ввода-вывода имеют собственные МК, выполняющие предварительную обработку данных.

Таким образом, ПРК – это конструктивно законченное изделие, физическое исполнение которого определяется требуемой степенью защиты, начиная от ПРК в легких пластиковых корпусах, предназначенных для монтажа в шкафу (степень защиты IP20), и до герметичных устройств в литых металлических корпусах, предназначенных для работы в особо жестких условиях.

Одним из основных требований к ПРК всегда было и остается обеспечение возможностей его эксплуатации существующим техническим персоналом и быстрой замены старого оборудования. Поэтому используются более простые и наглядные языки программирования, позволяющие представить задачу в близких к применяемым технологиям категориях. Привлечение же к программированию специализированной фирмы неизбежно порождает зависимость от нее, если реализация не является достаточно прозрачной.

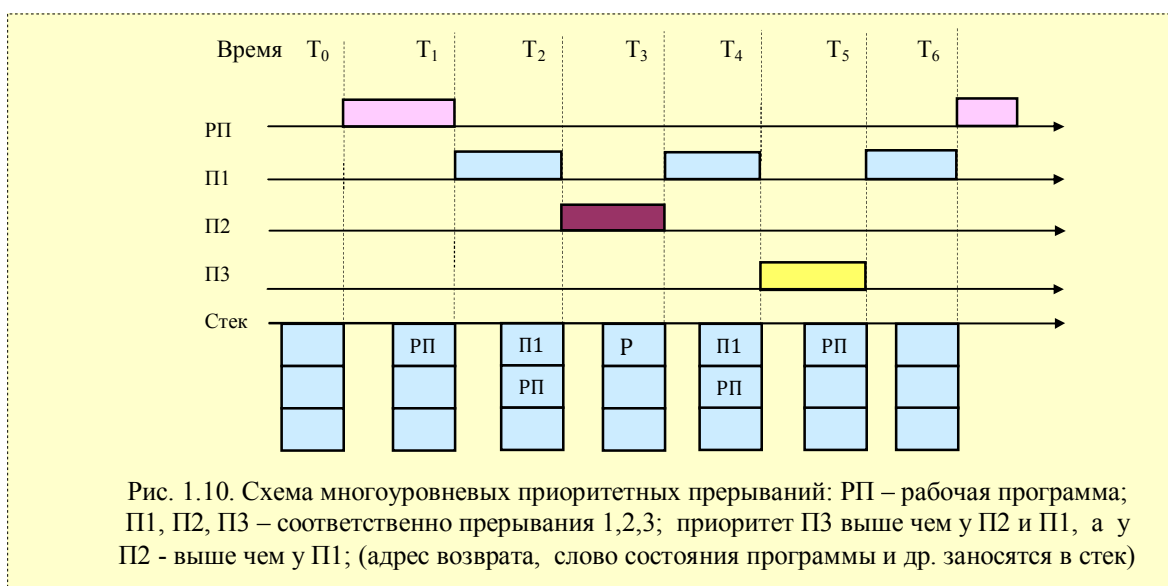
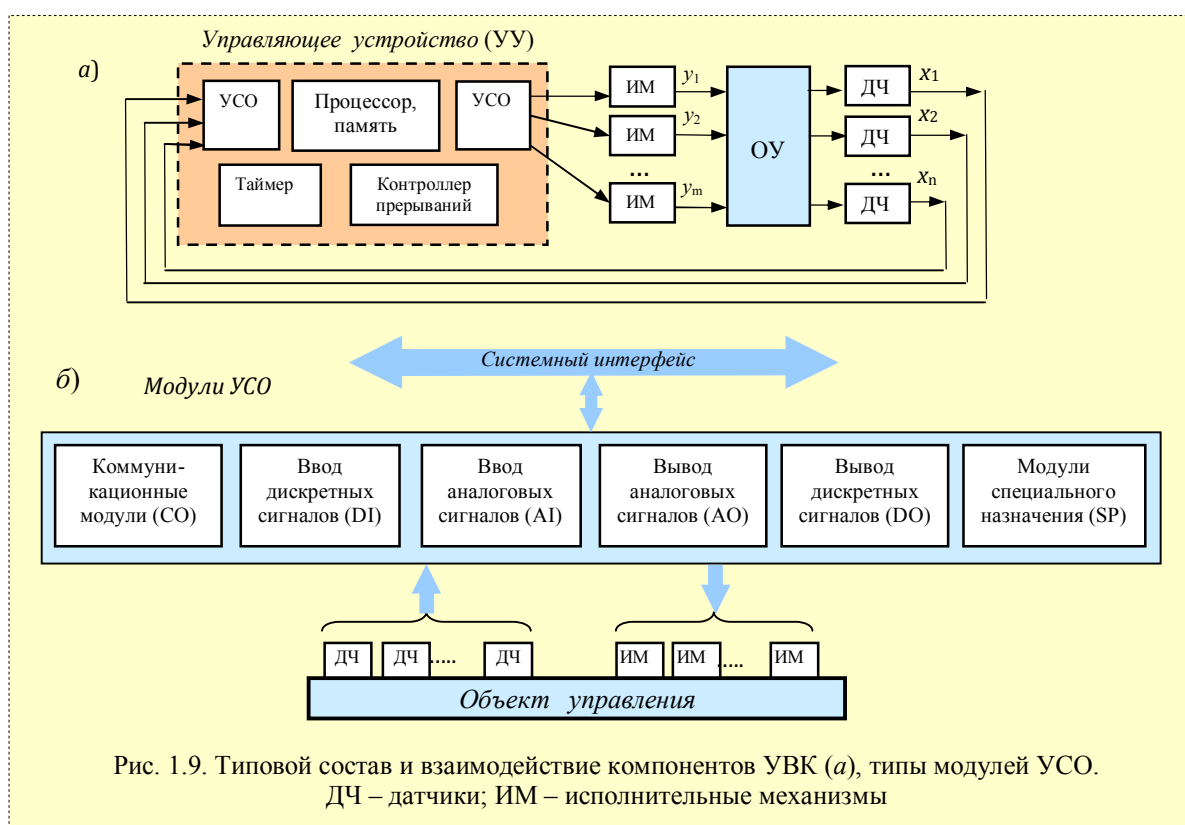
Система управления на базе ПРК эффективна потому, что поддерживает параметры процесса в режиме, близком к *оптимальному*. В результате сокращается расход материалов, энергии, обеспечивается быстрая перестройка оборудования и др.

#### 1.4. Типовой состав и взаимодействие компонентов УВК/ПРК

Для реализации управляющих и информационных функций в состав УВК должны входить (рис. 1.9):

- **процессор** (микропроцессор/микроконтроллер) — устройство, выполняющее заданные программой преобразования информации и осуществляющее управление всем вычислительным процессом и взаимодействием компонентов вычислительной системы;
- **постоянные и оперативные ЗУ** для хранения информации, программ управления и т. п.;
- **набор модулей с развитой системой ввода-вывода** и устройств сопряжения с объектом (УСО);
- **система приоритетных прерываний** (рис. 1.10) - **обеспечение режима реального времени**;
- **счетчик реального времени** (таймер);
- развитая система аппаратно-программного контроля;
- развитая система команд, обеспечивающая удобство в программировании и т.д.

На рис. 1.9,а штриховой контур означает, что рассматривается не конкретное управляющее устройство, а набор возможных основных компонентов.



С целью приоритетного обслуживания тех или иных устройств используется *система прерываний* - совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих переключение процессора с выполнения одной программы на другую, имеющую более высокий приоритет, при этом сохраняется возможность возврата к прерванной программе (рис. 1.10).

Прерывание может быть организовано как по внешним признакам, в том числе и формируемым оператором, так и по внутренним признакам, большинство из которых формируется в результате контроля неисправности системы управления.

Требования по надежности, предъявляемые к УВК, работающим в контуре управления, определяются необходимой надежностью системы в целом.

Обмен информацией между отдельными компонентами системы управления осуществляется посредством *интерфейсов*, под которыми понимают совокупность унифицированных аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации алгоритма взаимодействия различных функциональных блоков в системах управления и обработки информации. При условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости указанных блоков.

Реализация обмена между цифровой частью и УСО осуществляется на основе *системного интерфейса* (рис. 9,б). Следует отметить, что в некоторых системах управления логико-вычислительные устройства не выполняют сложных вычислений с высокой точностью, а являются ориентированными на реализацию интенсивного обмена.

*Микроконтроллер* (МК) - это, можно сказать, микрокомпьютер. Он имеет свой центральный процессор (*регистры, блок управления и арифметико-логическое устройство - АЛУ*), *память*, а также *периферию* (*порты ввода вывода, таймеры, контроллеры прерываний, генераторы импульсов, аналоговые преобразователи и др.*). Современные МК (почти все) имеют на борту АЦП, который позволяет измерить напряжение от 0 до опорного (обычно опорное равно напряжению питания) и представить его в виде числа от 0 до 1024 (или 255, в зависимости от разрядности АЦП).

Как пример процессорного модуля рассмотрим *однокристалльный МК* (рис. 11) серии C8051Fxxx (фирма CYGNAL Integrated Products. Inc.). Аналогичные МК используются в ПРК семейства КОНТАР.

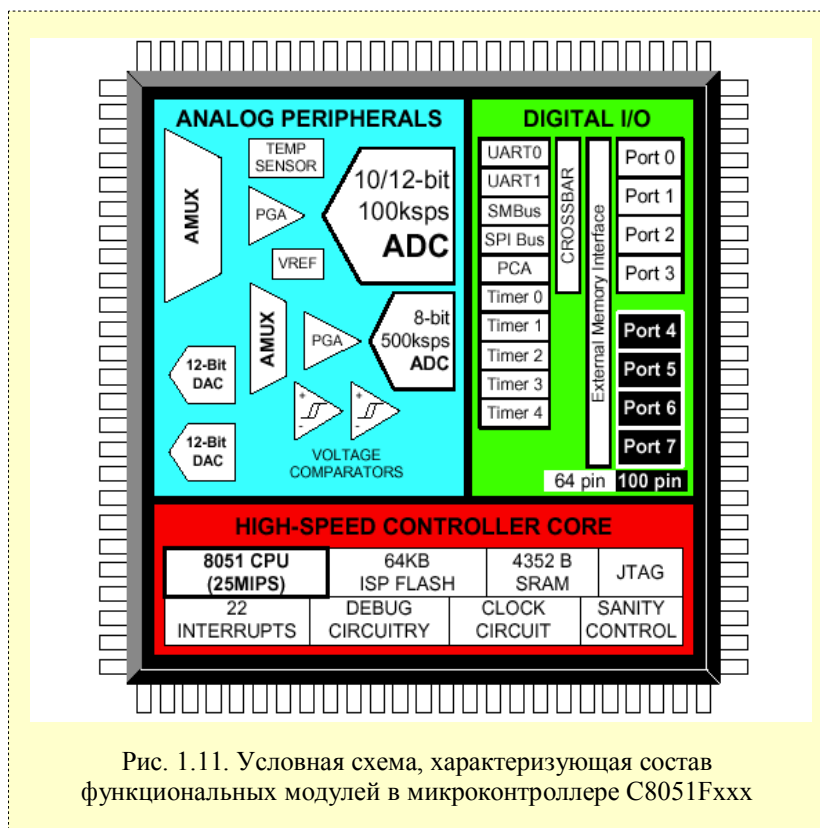


Рис. 1.11. Условная схема, характеризующая состав функциональных модулей в микроконтроллере C8051Fxxx

На *рис. 1.11* обозначено: CPU - центральный процессор; ADC - АЦП; DAC - ЦАП; AMUX – аналоговый мультиплексор; SRAM - статическое ОЗУ; FLASH – электрически репрограммируемое ПЗУ; INTERRUPT - прерывание; PGA - усилитель с программируемым коэффициентом усиления; SPI - последовательный интерфейс; External Memory Interface - интерфейс к внешней памяти; VREF - опорное напряжение; UART - универсальный асинхронный приемопередатчик; TEMP SENSOR - встроенный датчик температуры; SMBus - системная управляющая шина; VOLTAGE COMPARATORS – компараторы напряжения.

*Скоростное ядро 8051*: CPU – 8-разрядное; конвейерная архитектура инструкций; выполнение 70% команд за 1 или 2 такта; производительность до 100 MIPS на тактовой частоте 100 МГц;

*Цифровая подсистема* кристалла включает: пять 16-разрядных счетчиков-таймеров; сторожевой таймер; последовательные интерфейсы (два UART, SMBus и SPI); расширенная обработка прерываний (INTERRUPT) – до 22 источников прерывания.

Для внутрисхемной отладки и программирования встроена автономная отладочная система (JTAG), полный *внутрисхемный* эмулятор (in-circuit). МК имеет 64/100 линий ввода-вывода. Диапазон питающих напряжений составляет 2,7-3,6 В, температурный диапазон -40...+85 °С.

#### *Память*

- 4352/8448 байт внутренней памяти (*статическое ОЗУ/SRAM*);
- 64/128 кбайт Flash-памяти, программируемой «в системе» секторами по 512 байт.

#### *Аналоговая периферия*

- 10/12–разрядный АЦП/ADC *последовательного приближения*; до 100 тыс. преобразований в секунду; аналоговый мультиплексор (AMUX) на 8 каналов – поэтому быстродействие АЦП зависит от числа используемых входов;

- операционный усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA): 16, 8, 4, 2, 1, 0.5 (аппаратный сдвиг на соответствующее число разрядов влево/вправо);

- 8-битовый АЦП *последовательного приближения*; до 500 тыс. преобразований в сек.; аналоговый мультиплексор (AMUX) - быстродействие зависит от числа используемых входов;

- программируемый усилитель (PGA) с коэффициентами 4, 2, 1, 0.5 (аппаратный сдвиг);

- два 12-разрядных ЦАП/DAC с временем установки до 10 мкс;

- встроенный датчик температуры (TEMP SENSOR), точность +/-3 °С;

- 2 компаратора напряжения (Voltage Comparators).

*Цифровая периферия*: 64/32 полноценных портов ввода/вывода; аппаратные UART, SMBus/I2C и SPI последовательные порты; пять 16-разрядных счётчиков/таймеров общего назначения; 16-битный программируемый счётчик (PCA); сторожевой таймер (Watchdog); интерфейс для внешней памяти (External Memory Interface); коммутационная матрица (Crossbar) для перераспределения функции портов.

Важно отметить, что для осуществления АЦ-преобразований не нужно останавливать цифровую подсистему МК. Аналоговая и цифровая подсистемы разделены на кристалле таким образом, что работа последней не вносит помех в работу аналоговой подсистемы.

*Источники тактового сигнала*: источник опорного напряжения  $U_{оп}=2,43$  В (2430 мВ) для поддержания работы АЦП и ЦАП; при использовании *внешнего* источника  $U_{оп}$  этот блок может быть программно отключен; минимальное напряжение сохранения информации в ОЗУ – 1,5 В; режим реального времени с использованием таймера или PCA.

Имеется *отладочный комплект разработчика*, содержащий необходимые аппаратные и программные средства для данного семейства - C8051F040DK-E.

Подобные МК с интегрированными АЦП и ЦАП позволяют эффективно обрабатывать данные от многих ДЧ. Уступая чисто аналоговой обработке только в быстродействии, они отличаются большой функциональной гибкостью и точностью благодаря наличию обширной аналоговой и цифровой периферии.

В свое время были выпущены МК с 24-разрядным сигма-дельта АЦП, а также МК с 16-разрядным АЦП последовательного приближения с частотой выборки до 1 млн. отсчетов в секунду (Msps).