

М.М. Благовещенская Л.А. Злобин

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

*Допущено Министерством образования  
Российской Федерации в качестве учебника  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки  
бакалавров "Технология пищевых продуктов"  
и направлениям подготовки дипломированных  
специалистов "Производство продуктов питания  
из растительного сырья", "Технология  
продовольственных продуктов специального  
назначения и общественного питания"*



Москва  
«Высшая школа»  
2005

УДК 004:663/664  
ББК 32.81:34.7  
Б 68

Рецензенты:

Кафедра информационных технологий МГТА (зав. кафедрой  
д-р физ.-мат. наук., проф. *А.Е. Краснов*);  
зав. кафедрой автоматизации биотехнологических производств МГУБТ,  
д-р техн. наук, проф. *В.И. Попов*

**Благовещенская, М. М.**

**Б68** Информационные технологии систем управления технологическими процессами. Учеб. для вузов/М. М. Благовещенская, Л. А. Злобин.— М.: Высш. шк., 2005.— 768 с.: ил.

ISBN 5-06-004863-2

Изложена современная концепция формирования и эксплуатации технологических систем управления при производстве пищевых продуктов. Определены и описаны современные аппаратные и программные средства микропроцессорной техники для сбора, обработки, передачи и хранения информации, а также формирования воздействий для управления технологическими системами. Рассмотрены типовые технологические процессы и их модели при производстве продуктов питания. Установлена иерархия уровней управления производствами для ряда отраслей пищевой промышленности.

*Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Технология пищевых продуктов» и направлениям подготовки дипломированных специалистов «Производство продуктов питания из растительного сырья», «Технология продовольственных продуктов специального назначения и общественного питания».*

УДК 004:663/664  
ББК 32.81:34.7

ISBN 5-06-004863-2

© ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2005

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время в России постепенно складываются рыночные взаимоотношения между производителями продукции и ее потребителями, т. е. создается рыночная экономика. В этих условиях факторы личности, сочетающей профессионализм и предпринимательство, а также обеспечение качества и конкурентоспособности продукции и услуг являются определяющими при выполнении научных, хозяйственных, производственных и социальных программ. Их реализация, соответствующая современному мировому уровню, немыслима без целенаправленной подготовки научных, инженерных и экономических кадров, в том числе и для отраслей пищевой промышленности.

Развитие пищевой промышленности является одной из главных составляющих хозяйственной и производственной программ государства, существенно влияющих на благосостояние трудящихся, так как продукция пищевой промышленности характеризуется широким ассортиментом и массовостью спроса. Реализация этих программ требует системного подхода в целенаправленном изучении различных вопросов метрологии и сертификации, а также контроля и управления технологическими процессами с использованием современных технологий при производстве высококачественных и экологически безопасных продуктов питания.

Для пищевой промышленности характерны непрерывные, дискретные или непрерывно-дискретные производства. Системы их управления должны обеспечить требуемое протекание различных технологических процессов путем поддержания оптимальных режимов работы технологического оборудования, гарантирующих выпуск качественных полуфабрикатов или готовой продукции, что невозможно без использования современных разработок теории и практики автоматического управления, анализа технологических процессов, агрегатов и их комплексов как объектов управления, построения математических моделей и алгоритмов оптимального управления технологическими процессами, создания систем автоматического и автоматизированного управления с использованием вычислительной техники.

В целях облегчения изучения, осмысления и усвоения сложных вопросов регулирования и управления технологическими процессами пищевых производств на базе современных технологий, в том числе информационных, и создан настоящий учебник.

В нем систематизирован материал, накопленный к настоящему времени по автоматическим системам регулирования, автоматизированным системам управления технологическими процессами, системам управления как дискретными процессами, так и объектами производства продуктов питания. Учебник содержит основные понятия и определения теории автоматизации, информатизации и автоматического управления. Здесь показаны особенности управления непрерывными и периодическими технологическими процессами пищевых производств, рассмотрены основные информационные технологии сбора и обработки информации, методы и современные микропроцессорные средства формирования информации о состоянии технологических процессов и оборудования, средства обработки информации и ее использования при управлении пищевыми производствами. Изложены методы и средства управления технологическими процессами, вопросы стандартизации при разработке систем управления, математические модели технологических процессов, а также вопросы практического использования информационных технологий в управлении технологическими процессами пищевых производств.

На страницах учебника представлены современные аппаратные и программные средства вычислительной техники и описаны их функциональные возможности при управлении технологическими процессами и организации автоматизированных рабочих мест (АРМ) оператора (технолога).

Дана классификация автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), рассмотрены режимы их функционирования с использованием вариантов разработок ряда отраслевых НИИ, специализированных конструкторских бюро пищевой промышленности, а также ряда фирм.

Предложена тематика курсовых и дипломных работ по использованию микропроцессорных средств управления производствами ряда отраслей пищевой промышленности.

Рассмотрены основные положения стандартизации и метрологического обеспечения функционирования программно-технических комплексов вычислительной техники для управления технологическими процессами пищевых производств.

Это позволит студентам и специалистам пищевой и перерабатывающей промышленности получить базовые знания по рассмотренным выше вопросам.

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

Характерным свойством систем управления, определяющим их как особый класс динамических систем, является использование текущей информации об управляемых и управляющих воздействиях при реализации обратных и компенсирующих связей, предназначенных для обеспечения оптимального качества управления по выбранному критерию. Критерием эффективности пищевых производств принято считать стандартное качество выпускаемых продуктов питания.

Основы научного подхода к проектированию автоматических устройств были заложены еще в XIX в. русским ученым И. А. Вышнеградским, определившим, что машина и регулятор образуют единую динамическую систему. Им сформулированы также основные положения теории устойчивости и важнейшие закономерности регулирования по принципу обратной связи.

Повышение мощности, сложности и стоимости технологических комплексов и систем как объектов управления, ужесточение требований к качеству продукции, охране окружающей среды и безопасности персонала, а также обеспечение длительной работоспособности оборудования являются экономическими и социальными предпосылками к непрерывному совершенствованию систем управления.

В настоящее время достигнуты определенные успехи в создании автоматизированных (с участием человека) и полностью автоматических управляющих систем. Это способствовало бурному развитию микропроцессорных средств, способных выполнять весь комплекс функций по преобразованию, передаче, обработке, хранению и использованию информации для воздействия на технологический процесс и для связи с оператором. В первую очередь осуществляются измерение, контроль и регулирование состояния технологических объектов.

Дальнейшее совершенствование технических средств и методов управления привело к созданию систем централизованного контроля, которые послужили технической основой автоматизированных систем управления технологическими процессами. Для управления отдельными технологическими процессами, машинами и аппаратами в целом применяют системы автоматического регулирования и управления, обеспечивающие без непосредственного участия человека весь комплекс операций управления.

Соотношение между автоматизированными и неавтоматизированными операциями в автоматизированных системах управления технологическими объектами различно. Повышение уровня автоматизации технологических процессов пищевых производств требует создания и внедрения инструментальных методов и средств для экспресс-анализа сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, технических комплексов, оснащенных вычислительной техникой и роботизированными устройствами.

Благодаря использованию вычислительной техники, обеспечивающей возможность формирования, хранения и обработки больших массивов информации, созданы условия, позволяющие освободить человека от выполнения однообразных интеллектуальных функций, связанных с получением и обработкой информации, а также принятием решений по управлению производством.

Использование программно-управляемого комплекса упрощает адаптацию к изменяющимся условиям производства и делает реальным эволюционное совершенствование управления технологическими процессами в основном за счет изменения программного обеспечения.

Одним из главных моментов, способствующих автоматизации технологических процессов, является совершенствование технологии вычислительных процедур обработки информации при одновременном расширении их функциональных возможностей и повышении надежности, что экономически стимулирует разработку технологического оборудования со встроенными системами управления. Проблемы применения программно-технического комплекса (ПТК) микропроцессорной техники должны решаться технологами и специалистами по автоматизации технологических объектов, непосредственно работающими в производстве и проектно-конструкторских организациях. При этом от специалистов требуется умение спроектировать технологические объекты и оборудование с учетом уровня автоматизации производства, составлять исходные требования к системам управления технологическим объектом.

Для разработки и внедрения систем управления типовых технологических процессов пищевых производств необходимы знания принципов их построения и тенденции развития, освоение методов диагностики технологических объектов, разработки и использования моделей и алгоритмов управления функциональными схемами с применением вычислительной техники.

Усвоение материалов учебника позволит студентам научиться анализировать технологический объект, осуществлять сбор необходимой информации о нем, обобщать, обрабатывать и определять управляющие воздействия для решения практических задач управления технологическими процессами пищевых производств.

## СПИСОК ПРИМЕНЯЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- АЛУ — арифметическо-логическое устройство.
- АРМ — автоматизированное рабочее место.
- АК — агрегатный комплекс.
- АСАТ — агрегатный комплекс средств аналитической техники.
- АСВТ — агрегатный комплекс средств вычислительной техники.
- АСГР — агрегатный комплекс средств гидравлического регулирования.
- АСИМ — агрегатный комплекс средств измерений и дозирования масс.
- АСКР — агрегатный комплекс средств контроля и регулирования.
- АСНК — агрегатный комплекс средств неразрушительного контроля.
- АСПУ — агрегатный комплекс средств программного управления.
- АСТТ — агрегатный комплекс средств телемеханической техники.
- АСЭТ — агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники.
- АСК — автоматическая система контроля.
- АСУ — автоматизированная система управления.
- АСУО — автоматизированная система управления отраслью.
- АСУП — автоматизированная система управления предприятием.
- АСУПр — автоматизированная система управления производством.
- АСУТП — автоматизированная система управления технологическим процессом.
- АР — автоматический регулятор.
- АТК — автоматизированный технологический комплекс.
- АЦП — аналого-цифровой преобразователь.
- АЦПУ — аналого-цифровое печатающее устройство.
- ASCII — американский стандартный код передачи информации.
- БИС — большая интегральная схема.
- ВК — вычислительный комплекс.
- ВНИИЗ — Всероссийский научно-исследовательский институт зерна.
- ВТ — видеотерминал.
- Windows — название операционной системы.
- Word — название программы «Текстовый редактор».
- Visual Basic — один из языков программирования.
- ГСИ — государственная система измерений.
- ГСП — государственная система приборов.
- ГСС — государственная система стандартов.
- Genie — программный пакет системы сбора данных и управления.
- Д — дифференциальный.
- DOS — диалоговая операционная система.
- DDL — динамический обмен данными.
- DLL — библиотека динамической компоновки.

ЕСКД — единая система конструкторской документации.  
ЕСПД — единая система программной документации.  
ЖК — жидкокристаллический.  
ЖЦ — жизненный цикл.  
ЗУ — запоминающее устройство.  
И — интегральный.  
ИВК — информационно-вычислительный комплекс.  
ИИС — измерительно-информационная система.  
ИК — инфракрасный.  
ИМ — исполнительный механизм.  
ИП — измерительный преобразователь.  
ИО — информационное обеспечение.  
ИУ — исполнительное устройство.  
КР — комбинированное рассеяние.  
КТС — комплекс технических средств.  
КТС ЛИУС — комплекс технических средств локальных информационно-управляющих систем.  
САК — интерфейс связи.  
СОМ — коммуникационные порты.  
ЛНГ — лаборатория государственного надзора.  
МА — микропроцессорная аттестация.  
МК — микроконтроллер.  
ММ — математическая модель.  
МП — микропроцессор.  
МПС — микропроцессорная система.  
МО — метрологическое обеспечение.  
MS — Микрософт (фирма).  
МТ — микропроцессорная техника.  
НГМД — накопитель на гибком магнитном диске.  
НЖД — накопитель на жестком диске.  
НИИ — научно-исследовательский институт.  
НИР — научно-исследовательская работа.  
НПВО — нарушенное полное внутреннее отражение.  
НТД — нормативно-техническая документация.  
НЦУ — непосредственное цифровое управление.  
ОЗУ — оперативное запоминающее устройство.  
ОО — организационное обеспечение.  
ОП — окислительный потенциал.  
ОУ — объект управления.  
П — пропорциональный.  
Паскаль — язык программирования.  
ПИ — пропорционально-интегральный.  
ПИД — пропорционально-интегрально-дифференциальный.  
ПИМ — пневматический исполнительный механизм.  
ПЗУ — постоянное запоминающее устройство.  
ПО — программное обеспечение.  
ПРУ — программирующее устройство.  
ППП — пакеты прикладных программ.  
ПТК — программно-технический комплекс.

ПЭВМ — персональная электронно-вычислительная машина.  
РО — регулирующий орган.  
КОМ-ВОС — встроенная операционная система.  
САПР — система автоматизированного проектирования.  
САР — система автоматического регулирования.  
САУ — система автоматического управления.  
СБИС — сверхбольшая интегральная схема.  
СВЧ — сверхвысокочастотный.  
СИ — средство измерения.  
Си — язык программирования.  
CD-ROM — компакт-диск.  
СКО — среднее квадратичное отклонение.  
СНРН — метод неупругого рассеяния нейтронов.  
СТП — стандарт предприятия.  
ТП — технологический процесс.  
ТО — техническое обеспечение.  
ТОУ — технологический объект управления.  
ТУ — технические условия.  
ТЭП — технико-экономические показатели.  
Увв — устройство ввода.  
Увывв — устройство вывода.  
УВВ — устройство ввода-вывода.  
УВК — управляющий вычислительный комплекс.  
УСО — устройство связи с объектом.  
УТК — унифицированные типовые конструкции.  
УУ — управляющее устройство.  
УФ — ультрафиолетовый.  
ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь.  
ЦП — центральный процессор.  
ЦСМ — центральная станция метрологии.  
ЧЭ — чувствительный элемент.  
ША — шина адресная.  
ШД — шина данных.  
ШУ — шина управления.  
ЭВМ — электронно-вычислительная машина.  
ЭИМ — электрический исполнительный механизм.  
Excel — система электронных таблиц.

## Раздел I. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

XXI век предполагает быть веком информатизации и компьютеризации общества, веком информационных технологий.

**Информатизация общества** непосредственно связана с глобальным социальным прогрессом в сборе, накоплении, обработке, хранении, передаче и использовании информации, осуществляемым на основе современных средств вычислительной техники, а также на базе разнообразных средств информационного обмена.

**Компьютеризация** — процесс широкого применения информационных технологий и ЭВМ.

**Технология** — реализация научных и технических знаний в процессе разработки и создания машин и методов, улучшающих условия существования людей и увеличивающих эффективность их деятельности.

**Новая технология** — технология, впервые реализуемая, разработанная на основе передовых достижений науки и техники.

**Информационные технологии** — совокупность конкретных технических и программных средств, с помощью которых выполняются различные операции по обработке информации во всех сферах жизни и деятельности человека.

Для выполнения задач управления важное значение приобретают вопросы развития и внедрения новой техники и технологий, ускорения научно-технического прогресса в экономике России и в одном из главных ее направлений — управлении пищевыми производствами на основе широкого внедрения ПТК для систем автоматического и автоматизированного управления.

В основе всех процессов управления лежит изучение информационных процессов, происходящих в системе (технической, экономической, социальной и т. п.) Все процессы управления в организованных системах следует рассматривать как процессы формирования, обработки и преобразования информации, поступающей в эти системы, в новую информацию, необходимую для управления системой.



Настоящее развитие элементной базы автоматизации основано на применении вычислительных средств управления (микропроцессорные системы, программно-технические комплексы, ЭВМ и ПЭВМ), которые позволяют разрабатывать и внедрять надежные и эффективные автоматические и автоматизированные системы управления технологическими процессами. Эти системы обладают значительными функциональными возможностями, гибкостью к изменению алгоритмов их работы. Они создаются на базе современных аппаратных и программных средств вычислительной техники и могут обеспечить высокий уровень автоматизации и управления пищевыми производствами в целях получения продукции стандартного качества.

Качество продукции является определяющим фактором в решении вопросов повышения эффективности производства и благосостояния трудящихся. Стандартное качество продукции обеспечивается обобщающими показателями: эффективностью научно-технического прогресса, уровнем организации производства, его культуры, определяющим источником экономии трудовых и финансовых ресурсов для непрерывного улучшения качества продукции, которые обеспечивают постоянное повышение уровня жизни людей и являются основой технического и экономического подъема производства.

## Глава 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Технология** (от греческого *техно* — искусство, мастерство, умение) — совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе производства продукции.

**Информационные технологии** — совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в единую технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации для снижения трудоемкости процессов, использования информационного ресурса, повышения надежности и оперативности работы оборудования и т. п.

### 1.1. ИНФОРМАЦИЯ

В общем случае информация — это поток знаков и символов, это сообщение, знания о каком-либо событии, о чьей-либо деятельности и т. п. На основе информации осуществляется функционирование любой управляющей системы (людей, машин, животных).

**Информация** — это сведения об окружающем мире и протекающих в нем процессах, воспринимаемые человеком или специализированным устройством, например компьютером, для обеспечения целенаправленной деятельности.

Информация возникает в процессе производства и управления. Она присуща лишь организованным системам, способным воспринимать информацию и изменяться под влиянием внешних и внутренних воздействий.

В управлении информация играет главную роль, развиваясь и видоизменяясь под воздействием экономических факторов, научно-технического прогресса, внешней среды, потребностей производства, организации процесса управления.

**Поток информации** — это совокупность данных, являющаяся частью какой-либо информации, рассматриваемая в процессе ее движения в пространстве и времени в одном направлении при условии, что у этих данных есть общий источник и общий приемник. Например, в производстве совокупность всех сведений, передаваемых из объекта управления (технологический процесс) — источник, а система управления — адресат.

Внутри предприятия (объединения), между его подразделениями циркулирует огромное количество информации о запасах сырья, наличии мощностей (оборудования) и рабочей силы, номенклатуре выпускаемой продукции и т. п.

Информация по своей физической природе может быть числовой, текстовой, графической, звуковой, видео- и др. Она также может быть постоянной (неменяющейся), переменной, случайной, вероятностной. Наибольший интерес для нас представляет переменная информация, так как она позволяет выявлять причинно-следственные связи в процессах и явлениях.

Существуют различные способы оценки количества информации. Классическим является подход, использующий формулу К. Шеннона. В двоичной системе счисления она имеет вид<sup>1</sup>:

$$I = \log_2 N, \quad (1.1)$$

где  $I$  — количество информации, несущей представления о состоянии, в котором находится объект,  $N$  — количество равновероятных альтернативных состояний объекта.

Способы количественной оценки и достоверности информации в ряде случаев оказываются недостаточными в связи со значительным увеличением потока измерительной информации и ее значимости в научной и производственной деятельности человека.

---

<sup>1</sup> Далее в формулах основание логарифма 2 для упрощения записи будем опускать.

Для описания и оценки контролируемых объектов применяют обобщенные информационные характеристики, позволяющие распространять общие теоретические подходы и выводы на все области измерительной техники.

Разработка и применение единых критериев и методов для расчета и оценки качества измерительных устройств и каналов связи, сложных информационных и автоматизированных систем управления базируется на использовании основных положений теории информации.

Информационная теория измерений и измерительных устройств как раздел современной метрологии полностью согласуется с прежним представлением о ней и является логическим ее продолжением и развитием. Согласно этой теории, результаты измерений и контроля рассматриваются как случайные события, а проводимые эксперименты по процедуре измерений и контролю — как ситуации, в которых эти события могут проявляться.

Основным понятием в теории информации является понятие энтропии, которая в применении к измерениям характеризует меру неопределенности исследуемой ситуации, т. е. процедуры измерения и контроля соответствующих параметров. Энтропия определяется числом возможных событий в заданной ситуации и вероятностями их появления.

**Энтропией системы** называется сумма произведений вероятностей различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, взятая с обратным знаком.

При этом рассматривается некоторая физическая система  $X$ , которая может принимать конечное множество состояний  $x_1, x_2, \dots, x_n$  с вероятностями  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , тогда энтропия определяется как

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i, \quad (1.2)$$

где  $p_i = P(X=x_i)$  вероятность того, что система  $X$  находится в состоянии  $x_i$ , через  $P$  обозначается статистическая вероятность.

Энтропия  $H(X)$  обращается в нуль, если одно из состояний системы достоверно, а остальные невозможны, т. е. энтропия системы, состояние которой точно определено, равняется нулю. При заданном числе состояний, когда все состояния равновероятны, энтропия имеет минимум, а при увеличении числа этих состояний увеличивается.

Энтропия сложной системы, состоящей из нескольких простых систем, формируется при их объединении. При этом энтропия такой системы равна сумме произведений вероятностей всех возможных ее состояний на их логарифмы, взятой с обратным знаком, т. е.

$$H(X, Y) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \log P_{ij}. \quad (1.3)$$

Если объединяемые системы независимы, их энтропии складываются

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y). \quad (1.4)$$

Если система формируется из независимых друг от друга систем, для их объединения вводится понятие условной энтропии, которая имеет вид

$$H(X / Y) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \log P(y_j / x_i). \quad (1.5)$$

Величина условной энтропии  $H(X/Y)$  характеризует степень неопределенности системы  $Y$ , оставшейся после того, как состояние системы  $X$  полностью определилось.

Если две системы  $X$  и  $Y$  объединяются в одну, энтропия объединенной системы равна энтропии одной из ее частей плюс условная энтропия второй части относительно первой

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y / X). \quad (1.6)$$

При объединении любого количества систем формула сложения их энтропий имеет вид

$$H(X_1, X_2, \dots, X_S) = H(X_1) + H(X_2 / X_1) + H(X_3 / X_1, X_2) + \dots + H(X_S / X_1, X_2, \dots, X_{S-1}). \quad (1.7)$$

Следовательно, в результате получения информации неопределенность системы уменьшается. Чем больше объем и содержательность информации, тем меньше неопределенность состояния системы. Поэтому так актуальна целесообразность оценки количества информации измерением энтропии системы, состояние которой оценивается.

Количество информации, которая приобретается при полном выяснении состояния некоторой системы  $X$ , равно энтропии этой системы:

$$I_x = H(X) \quad (1.8)$$

или

$$I_x = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i, \quad (1.9)$$

где  $p_i = P(X \sim x_i)$ .

При получении информации о системе  $X$  путем наблюдения за некоторой другой системой  $Y$ , связанной с нею, количество полной взаимной информации, содержащейся в обеих системах, равно сумме энтропий составляющих систем минус энтропия объединенной системы

$$I_{y \leftrightarrow x} = H(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y). \quad (1.10)$$

Для физических систем, описываемых непрерывными случайными величинами, энтропия имеет вид

$$H_{\Delta x}(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \log f(x) dx - \log \Delta x, \quad (1.11)$$

где  $\Delta x$  — степень точности определения состояния системы.

Из выражения (1.11) видно, что от  $\Delta x$  зависит только второй его член ( $-\log \Delta x$ ), который при  $\Delta x \rightarrow 0$  стремится к бесконечности, т. е. чем точнее необходимо знать состояние системы  $X$ , тем большая часть неопределенности должна быть устранена. Таким образом, задаваясь зоной нечувствительности  $\Delta x$  измерительных средств, с помощью которых производятся измерения для определения состояния системы  $X$ , можно определить энтропию этой системы.

Для определения *условной* энтропии применяют выражение в виде математического ожидания функции

$$H_{\Delta x}(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \log \{f(x) \Delta x\} dx. \quad (1.12)$$

Для двух взаимозависимых непрерывных систем  $X$  и  $Y$  полная (средняя) условная энтропия имеет вид

$$H_{\Delta x \Delta y}(Y / X) = - \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \log f(y / x) dx dy - \log \Delta y. \quad (1.13)$$

При объединении в одну двух зависимых систем  $X$  и  $Y$  энтропия этой системы

$$H_{\Delta x \Delta y}(X, Y) = H_{\Delta x}(X) + H_{\Delta y / \Delta x}(Y / X). \quad (1.14)$$

При объединении двух независимых систем энтропия имеет вид

$$H_{\Delta x \Delta y}(X, Y) = H_{\Delta x}(X) + H_{\Delta y}(Y). \quad (1.15)$$

Выражение для полной взаимной информации, содержащейся в непрерывных системах  $X$  и  $Y$ , имеет вид, аналогичный таковой

му для дискретных систем. В этом случае вероятности заменяются законами распределения, а суммы — интегралами:

$$I_{y \leftrightarrow x} = - \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \log \frac{f(x, y)}{f_1(x)f_2(y)} dx dy. \quad (1.16)$$

Следовательно, полная взаимная информация обращается в нуль, если системы  $X$  и  $Y$  независимы.

С помощью полной (средней) условной энтропии можно проводить оценку количества информации при воздействии помех. Условная энтропия равна в этом случае количеству потерь информации вследствие помех.

Использование информационных критериев позволяет анализировать и оценивать вероятностными методами погрешности измерений в статических и динамических режимах, качество многоканальных измерительных систем, надежность измерительных устройств, решать задачи по поиску неисправности в них, а также ряд других вопросов, связанных с восприятием, преобразованием и выдачей измерительной информации применительно к измерительному устройству или системе любого вида.

## 1.2. ВИДЫ ИНФОРМАЦИИ

Классификация (систематизация) информации, циркулирующей в любом технологическом объекте, необходима для организации единой системы ее хранения, накопления, отображения и управления.

Всю сформированную информацию можно разделить на входную, выходную и промежуточную.

*Входная информация* представляет собой совокупность исходных данных, необходимых для решения задач управления. К ним относятся все первичные (оприорные) данные, нормативно-справочная информация, а также промежуточные данные, полученные в результате решения других задач.

К *выходной информации* относится информация, получаемая как результат решения задач управления, предназначенная для непосредственного использования в формировании управляющего воздействия.

*Промежуточная информация* содержит результаты решения промежуточных задач (например, результаты состояния полуфабрикатов), используемые в качестве исходных данных при решении задач управления.

По способу обработки данных информация подразделяется на текстовую, алфавитную, цифровую, алфавитно-цифровую и гра-

фическую. Большое значение при машинной обработке информации имеет ее разделение по стабильности на переменную и постоянную.

*Переменная информация* отображает количественные и качественные характеристики производственных процессов и событий. Переменная информация для каждого фиксируемого технологического процесса может изменяться как по значениям параметров данных, так и по их количественной величине. Переменная информация, как правило, участвует в одном цикле обработки сырья, в связи с чем ее иногда называют *разовой*.

*Постоянная информация* остается неизменной в течение длительного периода времени и многократно используется в операциях.

В условиях функционирования систем управления постоянная информация должна быть записана на машинном носителе. Это позволит создавать постоянно действующие массивы (банк) данных, участвующие в решении многих задач управления.

Из всей совокупности информации, используемой при автоматизированной обработке данных, особенно выделяются нормативно-справочные данные (например, пищевая и энергетическая ценность сырья и продукта), которые в течение длительного времени остаются постоянными и многократно используются при решении различных задач управления.

Нормативно-справочная информация содержит нормативные и справочные данные.

Нормативная информация характеризует удельные нормы и нормативы затрат материальных и трудовых ресурсов в единицу времени, на единицу продукции или на определенный технологический процесс и т. п.

Материальные нормативы определяют расход сырья и материалов на изготовление изделия, трудовые нормативы-затраты труда (времени) на выполнение определенной технологической операции (норма выработки на одного работающего). Нормативная информация включает норму сменности, запасов сырья и готовой продукции, нормативы незавершенного производства, оборотных средств и т. п.

Нормативная информация является базой для проведения многих расчетов. При развитии производства (внедрение новой техники, новых технологий производства) нормативные показатели меняются. Однако в течение длительного времени нормативная информация остается неизменной, что позволяет, перенеся ее на машинные носители, многократно использовать при проведении различных расчетов.

Справочная информация характеризует отдельные параметры объектов управления, элементов материально-технической структуры производства и предметов труда.

При обработке на компьютерах нормативно-справочной информации необходимо, чтобы в различных формах документов повторяемость одних и тех же данных была минимальной, зафиксированные данные были удобно расположены для последующей машинной обработки; кроме данных для машинной обработки содержалась дополнительная информация, необходимая для осуществления управления технологическим процессом.

Различные виды информации можно разделить на две группы: статическую и динамическую.

**Числовая, логическая и символьная информация является статической** — ее значение не изменяется со временем.

**Вся аудиоинформация носит динамический характер.** Она существует только в режиме реального времени, ее нельзя остановить. Если изменить масштаб времени, аудиоинформация искажается.

Видеоинформация может быть как статической, так и динамической. **Статическая информация** включает текст, рисунки, графики, чертежи, таблицы и др. Рисунки делятся также на плоские — двумерные и объемные — трехмерные.

**Динамическая информация** — это видео-, мульт- и слайд-фильмы. В их основе лежит последовательное экспонирование на экране в реальном масштабе времени отдельных кадров в соответствии со сценарием. Динамическая видеоинформация используется либо для передачи движущихся изображений (анимация), либо для последовательной демонстрации отдельных кадров вывода (слайд-фильмы). Для демонстрации анимационных и слайд-фильмов используются различные принципы. Анимационные фильмы демонстрируются так, чтобы зрительный аппарат человека не мог зафиксировать отдельные кадры. В современных высококачественных мониторах и в телевизорах с цифровым управлением электронно-лучевой трубкой кадры сменяются до 70 раз в секунду, что позволяет высококачественно передавать движение объектов.

При демонстрации слайд-фильмов каждый кадр экспонируется на экране столько времени, сколько необходимо для восприятия его человеком (обычно от 30 с до 1 мин).

Слайд-фильмы можно отнести к статической видеоинформации. По способу формирования видеоизображения они бывают растровые, матричные и векторные.

Растровые видеоизображения используются в телевидении. Матричные изображения получили в ЭВМ наиболее широкое распространение. Изображение на экране рисуется электронным лучом точками. Информация представляется в виде характери-



стик значений каждой точки — пиксела, рассматриваемой как наименьшая структурная единица изображения. Количество высвечиваемых одновременно пикселов на экране дисплея определяется его разрешающей способностью. В качестве характеристик графической информации выступают: координаты точки (пиксела) на экране, цвет пиксела, цвет фона (градация яркости). Вся эта информация хранится в видеопамати дисплея. При выводе графической информации на печать изображение также воспроизводится по точкам.

Изображение может быть представлено и в векторной форме. Тогда оно составляется из отрезков линий (в простейшем случае — прямых), для которых задаются начальные координаты, угол наклона и длина отрезка (может указываться и код используемой линии). Векторный способ имеет ряд преимуществ перед матричным: изображение легко масштабируется с сохранением формы, является «прозрачным», может быть наложено на любой фон и т. д.

### **1.3. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Любая система управления, в том числе и автоматизированная, не может работать без информации о состоянии управляемого объекта (процесса) и внешней среды, без передачи информации о сформированных управляющих воздействиях. Определение оптимальных объемов информации, поступающей в различные устройства управления и распределения потоков информации во времени и пространстве, — необходимое условие эффективного функционирования АСУ.

Непрерывное и своевременное обеспечение системы управления всеми необходимыми сведениями — основная функция информационного обеспечения.

Информационное обеспечение АСУ — совокупность единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, унифицированных систем документации и массивов информации, используемых в автоматизированных системах управления (ГОСТ 19675—74).

Иными словами, информационное обеспечение АСУ представляет собой совокупность данных, языковых средств их описания, методов организации, хранения, накопления и доступа к информационным массивам, обеспечивающих выдачу всей информации, необходимой в процессе реализации функциональных задач АСУ, и справочной информации абонентам системы.

Сформированные данные систематизируют в специальные массивы — информационную базу (базу данных) системы, в со-

став которой входят нормативные и справочные данные, составляющие информационный базис системы; текущие сведения, поступающие извне системы, требующие ответной реакции системы или влияющие на алгоритмы формирования решений (воздействий); накапливаемые учетные и архивные сведения, необходимые для планирования и развития системы. **Поступающие в систему текущие сведения часто называют оперативной информацией.**

Средства формализованного описания данных предназначены для эффективного поиска и идентификации необходимых данных в массивах, а также для организации доступа к данным внешних абонентов системы. Эти средства состоят из системы классификации и кодирования объектов (элементов данных) и информационных языков для описания запросов к информационной базе и ответов системы.

Контролируют входные данные и ведение информационной базы программные средства. Под ведением информационной базы (массивов информации) понимают обеспечение хранения, накопления данных, своевременного исключения устаревших данных, внесения и контроля изменений. При организации хранения, внесения изменений и дополнений в массивы, обеспечения доступа к массивам данных, контроля за их сохранностью используют организационные принципы.

Существенный эффект от использования микропроцессорной техники в АСУ получают в основном не только за счет решения оптимальных задач, но и при четкой организации системы обработки данных, за счет упорядочения информации и представления всех необходимых сведений в требуемые сроки и удобной для использования форме.

Следует помнить, что при проектировании информационного обеспечения время представления информации является решающим фактором. Существуют критические сроки, по истечении которых сведения полностью теряют какую-либо ценность.

В связи с совершенствованием и развитием систем управления важную роль играет гибкость системы, возможность перестройки информационных потоков согласно требованиям системы управления. Анализ эксплуатации ряда систем показывает, что информационная система наиболее консервативна, обладает большей инерционностью, чем система управления, и это свойство необходимо учитывать при разработке информационного обеспечения.

**Основное назначение информационного обеспечения — создание динамической информационной модели объекта, отражающей его состояние в текущий или предшествующий моменты времени.**

Согласно назначению сформулируем основные требования к информационному обеспечению АСУ:

- полнота отображения состояний управляемой системы и достоверности информации, как необходимой для реализации задач АСУ, так и выдаваемой по запросам абонентов;
- высокая эффективность методов и средств сбора, хранения, накопления, обновления, поиска и выдачи данных;
- одноразовая регистрация и однократный ввод информации и ее многократное и многоцелевое использование;
- простота и удобство доступа к данным информационной базы;
- ввод и накопление данных в информационной базе с минимумом дублирования;
- развитие информационного обеспечения путем наращивания данных и организации новых связей и проектирования более совершенных методов и способов обработки информации;
- регламентация доступа к данным с различным уровнем доступа, а также регламентация времени хранения документированной информации.

Основные элементы системы информационного обеспечения АСУ — информационные массивы, предназначенные для постоянного или временного хранения информации, которой обмениваются между собой внешние и внутренние по отношению к системе источники и потребители информации.

Необходимость в организации информационных массивов в системах информационного обеспечения АСУ обусловлена многими факторами: несовпадением моментов поступления информации с моментами ее потребления; необходимостью хранения исходной информации, промежуточных и окончательных результатов в процессе исполнения программ и других процедур преобразования информации; использованием одних и тех же данных в различных процедурах, выполняемых как параллельно, так и последовательно; многократным длительным использованием некоторых данных различными процедурами.

Массив представляет собой совокупность данных, объединенных единым смысловым содержанием, которое обычно отражается в его названии. Основными элементами массивов, определяющими их содержание, являются записи — наименьшие элементы массива, которыми оперируют пользователи массива при обработке информации. Часто группы отдельных записей объединяют в более крупные — блоки. Наименьший элемент записи, имеющий единое смысловое значение, — **информационное поле**.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАССИВЫ**

Массивы информационного обеспечения АСУ классифицируют по различным признакам. Основными классификационными признаками массивов являются: семантическое содержание; технология использования; носитель информации; технические характеристики.

По *семантическому* (смысловому) содержанию различают массивы: информации, необходимой для поддержания заданных эксплуатационных характеристик компьютера, подпрограмм операционной системы и тестовых программ; типовых программ, используемых для решения на компьютере ряда различных задач, составляющих так называемую библиотеку стандартных программ; программ, используемых для решения на компьютере индивидуальных задач; данных, обрабатываемых на ЭВМ и используемых в процессе функционирования АСУ.

**Три первых типа массивов составляют программное обеспечение компьютера и АСУ. Поэтому под информационным обеспечением АСУ можно понимать только совокупность данных.**

Технология использования информационных массивов имеет двоякий характер. С одной стороны, это — технология обработки данных на компьютере, связанная со спецификой формирования массивов, ввода, накопления и обновления данных, корректировки и передачи информации от одной программы обработки к другой и т. д. С другой стороны, существует определенная технология обработки и использования данных в системе в целом, в процедурах управления, реализуемых АСУ. Эта технология определяет более общие характеристики: последовательность и время обработки данных, требуемую точность решения задач и ряд других. При наличии запоминающих устройств прямого доступа и большого объема решение сложных задач значительного объема и структуры расширилось. Это привело к изменению технологии их использования и появлению систем, ориентированных на данные, которые реализуются в виде банков данных.

**Все информационные массивы делятся на входные, выходные и внутренние.** Входные и выходные информационные массивы АСУ определяются внешними связями системы в целом. Входные массивы содержат исходные и текущие данные, а также запросы на решение задач. Выходные информационные массивы в основном определяются условиями, содержащимися в технических заданиях на разработку АСУ, и содержат информацию,

выводимую из компьютера и предназначенную для дальнейшего использования.

**Внутренние информационные массивы** подразделяются на постоянные, вспомогательные, промежуточные, текущие и служебные.

### **Постоянные массивы (массивы постоянных данных)**

Они формируются до начала функционирования системы обработки данных и содержат директивные, нормативные, справочные и другие маломеняющиеся данные. Содержание постоянных информационных массивов можно частично или полностью обновлять только в начале цикла обработки данных, а внутри цикла относительно редкие изменения претерпевают лишь их отдельные элементы. К постоянным массивам можно условно отнести такие, в которых данные меняются за один цикл не более чем на 2% их полного объема.

Информация, содержащаяся в постоянных массивах, составляет информационный базис системы. Так как эта информация имеет важное значение и время ее хранения велико, то следует выбирать для нее надежные носители, необходимые условия и методы хранения, использования и контроля содержания массивов, обеспечить сохранность и достоверность данных, а также резервирование постоянных массивов.

### **Вспомогательные массивы**

Эти массивы являются производными от постоянных, и их формируют не расчетами, а логическими преобразованиями: сортировкой, объединением и т. п. Вспомогательные массивы позволяют использовать наиболее рациональные варианты обработки данных, при реализации которых по каким-либо причинам неудобны постоянные массивы.

### **Промежуточные массивы**

Содержат информацию, которая формируется на стыке различных задач или этапов решения одной задачи как результат предыдущего расчета и как исходный материал для последующего.

### **Текущие массивы**

Они содержат переменную рабочую информацию о состоянии управляемого объекта или процесса во времени, а также о самом процессе управления. Характер формирования, движения, хране-

ния, контроля и подготовки этой информации существенно отличается от характера аналогичных процедур с информацией вышеуказанных массивов. Данные, из которых создают текущие массивы, поступают или непрерывно в реальном времени, или пакетами в определенные или случайные моменты времени.

Содержание текущих информационных массивов в течение цикла решения задачи может многократно частично или полностью обновляться. При этом сроки полного и частичного обновления массива случайны. В текущих массивах элементы могут исключаться, исправляться, заменяться и дополняться новыми. Иногда среди текущих массивов выделяют накапливаемые, которые отличаются тем, что содержащиеся в них элементы могут только дополняться новыми.

Разнообразие содержания и большое количество тождественных преобразований, которым подвергается текущая информация в процессе ее передачи и обработки, повышает требования к контролю достоверности информации и надежности работы тех подсистем, которые используют при обработке.

Текущие массивы в основном создаются на основе первичных документов и преобразователей (датчиков) информации и не всегда пригодны к автоматическому вводу в компьютер. Этому фактору уделяют большое внимание, разрабатывают и применяют устройства для автоматического ввода информации как с различного рода документов, так и непосредственно от технических средств сбора информации, из канала связи или с экранных пультов в процессе диалога человека с компьютером.

Для текущих массивов время формирования зависит от внешних факторов, что обуславливает ряд ограничений на скорость их создания, особенно в системах, работающих в реальном масштабе времени. Массивы постоянных и текущих данных называют главными массивами.

### **Служебные массивы**

Они содержат информацию для переработки всех выше указанных массивов (программы компьютера, каталоги систем информационных массивов и стандартных программ, трансляторы, машинные справочники и др.).

По виду носителя информации различают массивы, хранящиеся на машинных и немашинных носителях информации. К машинным носителям информации относят перфокарты, перфоленты, магнитные ленты, мягкие и жесткие диски, барабаны, ферриты, логические схемы типа триггеров на транзисторах и интегральных схемах и т. д. Первые шесть из перечисленных ви-

дов носителей используют в качестве внешней памяти, остальные — в качестве внутренней оперативной памяти компьютера. С развитием техники производства больших и сверхбольших интегральных схем в современных компьютерах используют внешнюю память на таких схемах.

К немашинным носителям информации при ручной обработке данных относят документы, хранящиеся в папках или подшивках: книги и журналы записей, картотеки, в том числе карты с краевой перфорацией, микрофильмы и микрокарты, справочники.

При разработке массивов необходимо учитывать, что он должен обладать определенными техническими характеристиками: метод организации данных в массиве (структура массива); способ обращения, выборки и записи данных; плотность «упаковки» данных, т. е. степень использования носителя; коэффициент активности — относительное количество записей, считанных и использованных за один прогон программы; время хранения; время получения ответа при обращении к массиву; частота обращения; динамичность данных — частота и степень обновления массива; избыточность или дублирование данных в массиве и др.

#### 1.4. СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЙ ИНФОРМАЦИИ

Наименьшей единицей измерения информации является **бит** — двоичная единица информации, равная количеству информации, содержащемуся в элементарном сообщении, полученном в результате выбора одного из двух независимых и равновероятных состояний при основании логарифма, равном двум.

Адресуемой единицей информации является **байт**, которая содержит восемь битов, что соответствует необходимому объему памяти компьютера для записи одного десятичного числа или буквы слова в двоичной системе.

В практике находят применение производные единицы количества информации: килобайт (1 Кбайт =  $10^3$  байт), мегабайт (1 Мбайт =  $10^6$  байт), гигабайт (1 Гбайт =  $10^9$  байт) и т. д., а также условная единица количества информации — **машинное слово** — упорядоченная совокупность информации (сигналов, символов) с ограничениями в начале и конце слова. Как правило, слово имеет фиксированную длину, но в разных случаях различную.

В компьютерных системах используют двоичную, восьмеричную, десятичную шестнадцатеричную и другие позиционные системы счисления. Общепринятая система счисления для современных компьютеров — двоичная.

**Система счисления** — способ изображения чисел с помощью ограниченного набора символов, имеющих определенные количественные значения. Ее образуют совокупностью правил и приемов представления чисел с помощью набора знаков (цифр).

Различают позиционные и непозиционные системы счисления. В позиционных системах каждая цифра имеет определенный вес, зависящий от позиции цифры в последовательности, изображающей число. Позиция цифры называется **разрядом**.

В позиционной системе счисления любое число можно представить в виде

$$A_n = \sum_{i=k}^{m-1} a_i N^i, \quad (1.17)$$

где  $a_i$  —  $i$ -я цифра числа;  $k$  — количество цифр в дробной части числа;  $m$  — количество цифр в целой части числа;  $N$  — основание системы счисления.

Основание системы счисления  $N$  показывает, во сколько раз «вес»  $i$ -го разряда больше, чем у  $(i-1)$  разряда.

Во всех современных компьютерах для представления числовой информации используется двоичная система счисления.

При  $N = 2$  число различных цифр, используемых для записи чисел, ограничено множеством из двух цифр (ноль и единица). Кроме двоичной системы счисления  $\{0, 1\}$  широкое распространение получили и производные системы:

— десятичная, точнее, использующая двоично-десятичное представление десятичных чисел,  $\{0, 1, \dots, 9\}$ ;

— шестнадцатеричная —  $\{0, 1, 2, \dots, 9, A, B, C, D, E, F\}$ . В ней (шестнадцатеричной) цифра  $A$  обозначает число 10,  $B$  — число 11, ...,  $F$  — число 15;

— восьмеричная  $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ , — широко используется во многих специализированных компьютерах.

Восьмеричная и шестнадцатеричная системы счисления являются производными от двоичной, так как  $16 = 2^4$ , а  $8 = 2^3$ . Они используются в основном для более компактного изображения двоичной информации, так как запись значения чисел производится существенно меньшим числом знаков.

В восьмеричной системе счисления основание логарифма равно 8 и для изображения чисел используются цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Например:

$$1217_{(8)} = 1 \cdot 8^3 + 2 \cdot 8^2 + 1 \cdot 8^1 + 7 \cdot 8^0 = 512 + 128 + 8 + 7 = 655_{(10)}.$$

В двоичной системе счисления основание логарифма равно 2 и для изображения чисел используются цифры 0, 1.

$$\text{Например: } 1001_{(2)} = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 8 + 0 + 0 + 1 = 9_{(10)}.$$



В практике двоичная система является наиболее удобной формулой представления информации в компьютерных системах. Один двоичный разряд равен одному биту.

Для преобразования в двоичную систему любого числа, представленного в десятичной системе, необходимо последовательно делить число в десятичной системе на основание новой системы, т. е. на 2, и выписывать остатки, которые составляют число в двоичной системе.

Представление чисел в различных системах счисления допускает однозначное преобразование их из одной системы в другую. В компьютерах перевод из одной системы счисления в другую осуществляется автоматически по специальным программам.

## **Способы представления информации**

Для однозначного описания данных и обеспечения эффективного поиска и идентификации в памяти компьютера используют соответствующие средства классификации и кодирования данных.

**Система классификации** — совокупность правил и результат разделения заданного множества на подмножества (ГОСТ 17369—78).

**Классификация** — разделение заданного множества на подмножества согласно принятым методам классификации.

Подмножества, полученные в результате разделения заданного множества по одному или нескольким признакам классификации, называют **классификационными группировками**. Классификационным группировкам в разных системах классификации присваивают различные наименования: классы, подклассы; группы, подгруппы; виды, подвиды; роды, семейства, классы.

**Признаком классификации** называют признак, по которому делят заданное множество на подмножества.

**Степень классификации** — этап разделения заданного множества на подмножества. Число ступеней классификации называют **глубиной классификации**.

После завершения классификации осуществляют **кодирование** — образование и присвоение обозначения объекту классификации согласно признаку классификации и классификационной группировке. Это условное кодовое обозначение называют **сокращенно кодом**. Количество знаков в кодовом обозначении называют **длиной кода**.

Кодирование информации предусматривает: приведение к единообразию в обозначениях признаков, характеристик и объектов в целом; упорядочение, классификацию и группировку всех номенклатур по определенным сходным признакам; выбор систе-

мы кодирования и присвоение кодов; приведение информации к форме, удобной для обработки с помощью технических средств.

Коды и классификаторы должны удовлетворять двум взаимоисключающим условиям: с одной стороны, они должны обеспечивать реализацию всех задач АСУ, быть общепринятыми и доступными, иметь необходимую резервную емкость на случай увеличения кодируемой информации; с другой стороны, кодовое обозначение должно иметь минимальную длину для снижения затрат машинного времени на передачу и переработку информации. При этом системы классификации и кодирования обычно дополняют системой защиты кодов, обеспечивающей контроль достоверности на входе и выходе информации. От рационального построения кодов и правильного составления классификаторов в значительной мере зависит эффективность применения микропроцессорной техники. Выбор системы классификации и кодирования должен обеспечивать сопоставимость информации и совместимость АСУ.

Поддержание классификатора в выверенном состоянии, с учетом постоянно возникающих изменений и дополнений, называют *ведением классификатора*. Системы классификации и кодирования информации разрабатывают в следующей последовательности: определяют полный перечень всех необходимых классификаторов; анализируют перечень классификаторов с точки зрения возможности и необходимости применения в АСУ; устанавливают четкие границы каждого классификатора и полный перечень подлежащих классификации объектов; определяют признаки классификации для разделения всего множества объектов на соответствующие группировки; проводят четкую систематизацию внутри каждого классифицируемого множества объектов; выбирают и определяют структуру кодов; осуществляют кодирование исходной информации; оформляют результаты кодирования, вносят необходимые исправления и изменения, устанавливают системы внесения изменений и дополнений; разрабатывают инструкции по использованию полученных материалов.

При разработке классификаторов и систем кодирования следует соблюдать следующие основные требования:

1. **Выбор кодов минимальной длины.** Уменьшение длины кодов, особенно для часто используемых кодов, позволяет уменьшить количество ошибок при переносе информации на машинные носители и сократить трудоемкость обработки.

2. **Логичность и запоминаемость кодов.** Удовлетворение данного требования помогает при освоении кодов, облегчает кодирование и уменьшает число допускаемых ошибок.

3. **Учет особенностей решаемых задач.** Например, коды технологических операций должны содержать в явном виде порядок выполнения операций, режим работы, тип оборудования и другие технологические характеристики, т. е. быть максимально информативными.

4. **Учет существующей системы кодирования и общепринятых обозначений.** Это требование позволяет облегчить разработку новой системы кодирования информации в условиях АСУ и обеспечить ее стыковку с существующей системой кодирования.

5. **Учет перспектив развития.** При разработке классификаторов и систем кодирования коды должны составляться таким образом, чтобы обеспечить возможности изменения и иметь резерв на случай появления новых объектов в системе.

6. **Необходимость информационной стыковки с системами кодирования взаимодействующих АСУ,** так как это важно для обеспечения информационного единства АСУ данного объекта с АСУ вышестоящего уровня и возможности межмашинного обмена информацией.

При разработке АСУ используют отраслевые, специальные, локальные классификаторы и другие отечественного и зарубежного производства. В этих случаях для представления информации в другие АСУ и организации необходимо перекодирование данных, осуществляемое по перекодированной таблице взаимного соответствия кодовых обозначений одноименных объектов и классификационных группировок в разных классификаторах.

При построении классификаторов используют иерархический или фасетный методы классификации.

Иерархический метод классификации заключается в последовательном делении заданного множества на подчиненные подмножества, каждое, в свою очередь, делится на подчиненные ему подмножества и т. д.

Фасетный метод классификации заключается в делении заданного множества на независимые группировки согласно различным признакам классификации.

Рассмотрим наиболее распространенные методы кодирования.

**Порядковый метод кодирования** — простейший метод кодирования, при котором кодовыми являются числа натурального ряда. Этот метод кодирования неудобен при ведении классификатора, когда необходимо вносить изменения, дополнения и исключения.

**Серийно-порядковый метод кодирования** — здесь кодовыми обозначениями служат числа натурального ряда с закреплением отдельных диапазонов (серий) этих чисел за объектами классифи-

кации с одинаковыми признаками. При этом новые кодовые обозначения можно вводить в те серии, которые соответствуют признакам вновь кодируемых объектов. Следует правильно определять необходимую резервную емкость каждой серии, чтобы при ведении классификатора не возникла необходимость изменения размеров серий.

При одновременном использовании нескольких признаков классификации применяют последовательный или параллельный метод кодирования.

*Последовательный метод кодирования* заключается в поочередном указании в кодовом обозначении независимых признаков классификации.

При использовании цифрового алфавита кодовое обозначение часто имеет вид нескольких десятичных разрядов. Тогда при последовательном методе кодирования старшие разряды предназначены для указания высших признаков, а последующие — для независимых. Например, при порядковом методе кодирования подсистемы АСУ кодируют двумя старшими десятичными разрядами, а решаемые в них задачи — двумя младшими разрядами. Это значит, что кодовое обозначение 0516 означает шестнадцатую задачу пятой подсистемы.

*Параллельный метод кодирования* заключается в указании в кодовом обозначении независимых признаков классификации. Это кодирование, при котором каждому признаку классификации выделяют серии чисел натурального ряда, кратные десяти, называют *десятичным кодом*.

Десятичный код широко используют для кодирования самых различных объектов благодаря его достоинствам: простоте кодирования, запоминания значений разрядов, сортировки, разделения на группы и другим. Недостаток — значительная избыточная емкость, снижающая эффективность использования таких кодов в компьютерных системах.

*Смешанный (комбинированный) метод кодирования* заключается в одновременном использовании нескольких различных методов кодирования. Его применяют для многопризначных номенклатур, причем каждый из признаков кодирования реализуется каким-либо одним методом. Достоинство этого метода состоит в том, что при кодировании больших номенклатур можно использовать сравнительно небольшое число знаков и учесть преимущества различных кодов.

Всякое изменение действующего классификатора и метода кодирования надолго дезорганизует систему, в которой они используются. Наличие резервной емкости, свободных позиций в классификаторе, если это не связано с существенным увеличени-

ем длины кодовых обозначений, практически ничего не стоит. Если же резервная емкость классификатора исчерпана, а необходимо вводить новые позиции, это почти всегда приводит к тяжелым последствиям.

Способы представления информации в ЭВМ, кодирование и преобразование кодов в значительной степени зависят от принципа действия устройств, в которых эта информация формируется, накапливается, обрабатывается и отображается.

Для кодирования символьной и текстовой информации применяются различные системы: при вводе информации с клавиатуры кодирование происходит при нажатии клавиши, на которой изображен требуемый символ, при этом в клавиатуре вырабатывается так называемый *scan-код*, представляющий собой двоичное число, равное порядковому номеру клавиши.

Номер нажатой клавиши никак не связан с формой символа, нанесенного на клавише. Опознавание символа и присвоение ему внутреннего кода ЭВМ осуществляется специальной программой по специальным таблицам: Д-КОП, КОП-7, ASCII (Американский стандартный код передачи информации). Всего с помощью таблицы кодирования ASCII можно закодировать 256 различных символов.

Дисплей по каждому коду символа должен вывести на экран изображение символа — не просто цифровой код, а соответствующую ему картинку, так как каждый символ имеет свою форму. Описание формы каждого символа хранится в специальной памяти дисплея — знакогенераторе.

Высвечивание символа на экране дисплея IBM PC осуществляется с помощью точек (пиксели), образующих символьную матрицу.

Каждый пиксел в такой матрице является элементом изображения и может быть ярким или темным. Темная точка кодируется цифрой 0, а светлая (яркая) — 1. Если изображать в матричном поле знака темные пиксели точкой, а светлые — звездочкой, то можно графически изображать форму символа.

Кодирование аудиоинформации — процесс сложный. Аудиоинформация является аналоговой. Для преобразования ее в цифровую форму используют аппаратные средства: аналого-цифровые преобразователи (АЦП), при работе которых аналоговый сигнал оцифровывается — представляется в виде числовой последовательности. Для вывода оцифрованного звука на аудиоустройство необходимо проводить обратное преобразование, которое осуществляется с помощью цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП).

## 1.5. ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Любая информация, обрабатываемая в компьютере, должна быть представлена в двоичной системе, т. е. должна быть закодирована комбинацией цифр {0, 1}. Различные виды информации (числа, тексты, графика, звук) имеют свои правила кодирования. Коды отдельных значений, относящиеся к различным видам информации, могут совпадать. Поэтому расшифровка закодированных данных осуществляется по контексту при выполнении команд программы.

При построении систем управления циркулирующую на предприятии информацию необходимо рассматривать, во-первых, с точки зрения ее практической полезности и ценности для пользователей информации и АСУ в целях принятия решения и, во-вторых, с точки зрения смысловой взаимосвязи между информационными процессами.

Первое позволяет установить необходимую и достаточную для пользователей информацию и на этой основе решить технические вопросы — осуществить выбор необходимых вычислительных средств по переработке, хранению, передаче информации в каналы связи систем управления для выработки управляющих воздействий по обеспечению производства качественной продукции.

Второе позволяет раскрыть содержание информации, отражающее состояние объекта, вскрыть отношения между знаками и символами, их предметными смысловыми значениями и выбрать смысловые единицы измерения (критерии) технологической информации, провести классификацию показателей объектов, создать систему взаимосвязанных кодов, обеспечивающих эффективную работу систем управления технологическими процессами. Смысловой аспект технологической информации способствует наиболее полному выяснению, изучению состояния технологических процессов, явлений, данных в целях обоснованного принятия, выработки управляющих решений и воздействий для обеспечения производства продукции стандартного качества.

Основным видом информации о состоянии объекта управления в АСУТП являются текущие значения технологических параметров, которые преобразуются автоматическими измерительными устройствами в сигналы измерительной информации. После приведения к стандартной форме эти сигналы вводятся в программно-технический комплекс (ПТК) и представляют в нем значения соответствующих параметров в данный момент времени.

Сформированный таким образом массив исходной информации не пригоден для непосредственного использования при ре-

шении задач управления, так как необходима его предварительная обработка, которую называют *первичной*. Для этого следует рассмотреть последовательность необходимых преобразований, которым подвергается измеряемая величина в типовом устройстве связи с объектом (УСО), его схема представлена на рис. 1.1.

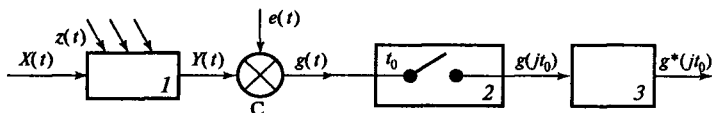


Рис. 1.1. Схема УСО:

1 — первичный измерительный преобразователь (датчик); 2 — коммутатор; 3 — аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

Измеряемая величина  $x(t)$ , которая обычно является стационарной случайной функцией времени, воздействует на вход измерительного преобразователя (ИП), на выходе которого формируется сигнал измерительной информации  $y(t)$ . Принцип действия большинства ИП таков, что их выходной сигнал зависит не только от значения измеряемой величины, но и от ряда других величин  $z_j$ , которые являются влияющими.

Например, термоэлектрический преобразователь температуры (ТПТ) преобразует измеряемую величину — температуру — в сигнал измерительной информации — ЭДС. Однако этот сигнал зависит не только от величины измеряемой температуры, которая воспринимается рабочим спаем, но и от температуры свободных спаев, которая в этом случае является влияющей величиной.

В общем случае без учета динамической характеристики ИП связь между сигналами на его входе и выходе описывается статической характеристикой вида

$$y = f(x, z), \quad (1.18)$$

где  $f$  — непрерывная и дифференцируемая по всем аргументам;  $z$  — вектор влияющих величин.

Однозначное соответствие между сигналами измерительной информации и измеряемой величиной обеспечивается только при постоянных значениях влияющих величин. Для каждого ИП эти номинальные значения  $z_j^0$  указывают в его паспорте. Подставив их в уравнение (1.18), получим номинальную (паспортную) статическую характеристику ИП

$$Y = f(x, z^0) = f_0(x). \quad (1.19)$$

Можно считать, что в процессе работы ИП значения влияющих величин соответствуют номинальным; следовательно, преоб-

разование значений измеряемой величины в сигнал измерительной информации выполняется в соответствии с паспортной статической характеристикой (1.19). Однако и при выполнении этого условия всякий реальный ИП вносит в результаты некоторую погрешность.

На рис. 1.1 погрешность представлена в виде случайной функции времени  $e(t)$ , которая накладывается на полезный сигнал  $Y(t)$  измерительной информации. Помеха  $e(t)$  моделирует не только случайную погрешность ИП, но и электрические наводки в соединительных проводах, обусловленные магнитными полями электро силового оборудования, влияние пульсации давления и расхода жидкости в технологических трубопроводах вследствие работы насосов и компрессоров и другие факторы. На вход ПТК, обозначенной на рис. 1.1 как С, поступает суммарный сигнал

$$g(t) = Y(t) + e(t). \quad (1.20)$$

Так как АСУТП имеет некоторое множество УСО, их обслуживание разделено во времени, каждый канал периодически с периодом  $t_0$  подключается на короткое время ко входу УВК. В результате непрерывная функция  $g(t)$  преобразуется в последовательность импульсов, модулированных по амплитуде функций  $g(t)$ . На схеме УСО (см. рис. 1.1) функцию квантования сигнала  $g(t)$  по времени выполняет коммутатор (2), условно изображенный в виде ключа, замыкаемого с периодом  $t_0$ .

На выходе коммутатора образуется решетчатая функция

$$g(jt_0) = \begin{cases} q(t) & \text{при } t = jt_0, \quad j = 0, 1, 2, \dots \\ 0 & \text{при } t \neq jt_0. \end{cases}$$

Следующим видом преобразования, которому подвергается сигнал измерительной информации в УСО, является квантование по уровню, выполняемое АЦП. При этом амплитуды импульсов  $g(jt_0)$  преобразуется в числа  $g^*(jt_0)$ , выраженные в коде, с которыми в дальнейшем оперирует ЭВМ. Современные компьютеры, как правило, используют двоичный код и оперируют с числами, имеющими 16, 32 или 64 разряда. Операцию квантования дискретной величины  $g^*(jt_0)$  по уровню можно описать следующим выражением:

$$q^*(jt_0) = \text{Int} \left[ \frac{q(jt_0)}{\Delta q} \right] \Delta q, \quad (1.21)$$

где  $\text{Int}(r)$  — функция «целая часть от  $r$ »;  $\Delta q$  — шаг квантования по уровню, т. е. цена младшего разряда в двоичном коде числа  $g^*(jt_0)$ .



Число  $g^*(j_0)$ , полученное в результате выполнения всех преобразований измеряемой величины в УСО, вводится в ПТВ и в дальнейшем представляет в нем значение измеряемой величины  $x(t)$  в момент времени  $t = jt_0$ .

Согласно вышеизложенному решаются следующие основные задачи первичной обработки информации в АСУТП:

1) фильтрация сигнала измерительной информации от случайной помехи (погрешности)  $e(t)$ ;

2) восстановление значения измеряемой величины  $x(t)$  по сигналу измерительной информации  $y(t)$ ;

3) коррекция восстановленных значений измеряемой величины с учетом отклонения условий измерения от номинальных;

4) восстановление значений измеряемой величины  $x(t)$  при  $j_0 < t < (j + 1)t_0$ , т. е. интерполяция и экстраполяция.

### **Алгоритмы обработки информации и ее оценивание**

Процесс управления обусловлен сбором и проверкой достоверности информации о текущих значениях технологических параметров, характеризующих состояние объекта управления (технологический процесс). Для решения этих задач необходимы первичная обработка информации и ее оценивание.

Первичная обработка информации состоит из операций сбора, линеаризации и приведения сигналов к виду, удобному для использования в вычислительном устройстве.

Алгоритмы сбора информации определяют последовательность и периодичность опроса первичных преобразователей (датчиков). Они подразделяются на алгоритмы адресного, программного, циклического и адаптивного опросов.

**Алгоритмы адресного опроса обеспечивают опрос датчиков по заданным адресам. Алгоритмы программного и циклического опросов осуществляют опрос датчиков согласно заданной последовательности. Алгоритмы адаптивного опроса организуют опрос датчиков в зависимости от состояния объекта управления: расположенности к аварийному состоянию, скорости изменений параметров заданных уровней, его значимости и т. д.**

**Исходными данными алгоритмов опроса датчиков являются:** число пронумерованных датчиков ( $x_i$ ), массивы верхних и нижних пределов допустимых значений (норм) показаний датчиков ( $x_i$ ), время, при котором произошло отклонение от нормы ( $t_i$ ) и порядковый номер датчика ( $i$ ). После опроса всех датчиков результаты выводятся на принтер или вводятся в микропроцессорную систему (МПС) для контроля или формирования управляющих воздействий.

Алгоритм линеаризации применяют в случаях, когда зависимость показаний датчика нелинейна (непропорциональна) значениям измеряемой величины. Эти алгоритмы выполняют определенную нелинейную операцию, чтобы результат измерений линейно зависел от измеряемой переменной.

Алгоритмы приведения информации к виду, удобному для использования в управляющем устройстве, применяют для согласования пределов измерений с выходными сигналами компьютера и приведения информации к стандартному виду.

**Алгоритмы оценивания** (алгоритмы вторичной обработки информации) применяют для снижения инструментальных и методических погрешностей измерений, повышения достоверности информации, преобразования результатов косвенных измерений. Они реализуются алгоритмами интерполяции, экстраполяции и фильтрации.

**Алгоритмы интерполяции** используются для восстановления значения переменной в промежутке между дискретными ее значениями. При этом применяется линейная интерполяция посредством кусочно-линейной аппроксимации исследуемой функции.

**Алгоритмы экстраполяции** (прогнозирования) обеспечивают запоминание результата измерения до момента следующего измерения. При наличии математической модели и дискретном измерении переменной ее значение принимают за начальное условие для решения уравнения модели процесса. Результат решения является экстраполированной оценкой до следующего дискретного изменения. Если измеряемая переменная описывает случайный процесс, то в качестве начального условия принимается математическое ожидание контролируемого параметра.

Однако экстраполяция по математическому ожиданию на малых интервалах проигрывает по точности экстраполяции, а при больших интервалах экстраполяции алгоритм экстраполяции по математическому ожиданию является более точным.

**Алгоритмы фильтрации** предназначены для получения оценок результата в текущий момент.

В практике получили применение алгоритмы фильтрации (фильтры), которые реализуются аналоговыми средствами (аппаратурно) или программно. Распространение получили экспоненциальный фильтр, фильтр скользящего среднего и статистические фильтры.

Практика эксплуатации фильтров показала, что для аналогового варианта целесообразно использовать экспоненциальный фильтр, а для программной реализации — статистический фильтр первого порядка, можно и экспоненциальный.

**Статистические фильтры** осуществляют оценку сигнала измерительной информации как взвешенную сумму результатов измерений в текущий момент и в предшествующие моменты отсчета. Простейшим является статистический фильтр нулевого порядка, выходной сигнал которого формируется умножением выходного сигнала на весовой коэффициент. Этот фильтр можно описать безинерционной передаточной функцией.

Контроль достоверности исходной информации является определяющим фактором в системах управления. Недостоверная информация является причиной полных или частичных отказов системы измерений.

Признаком появления отказа может быть выход контролируемого параметра за заданные границы. Алгоритмы, реализующие этот признак, называются алгоритмами допускаемого контроля параметра и скорости изменения сигнала измерительной информации.

Алгоритмы контроля достоверности информации при частичных отказах могут быть реализованы резервированием измерительных каналов или привлечением информации о других параметрах, связанных устойчивыми зависимостями с контролируруемыми параметрами.

При разработке АСУТП важным является выбор режима периода  $t_0$  квантования по времени сигналов измерительной информации. Это решается с учетом двух противоречивых соображений. Во-первых, увеличение периода  $t_0$  снижает загрузку ПТК операциями сбора и первичной обработки исходной информации. Поэтому значительная доля вычислительных ресурсов системы может быть использована для решения задач контроля и управления более высокого уровня, что очень важно для микропроцессорных АСУТП. Во-вторых, при увеличении периода  $t_0$  возрастает погрешность определения действительного значения измеряемой величины  $y(t)$  по решетчатой функции  $g^*(jt)$ .

Данная погрешность проявляется при восстановлении значений функции  $y(t)$  в моменты времени, не совпадающие с моментами отсчета  $t_j = jt_0$  (рис. 1.2).

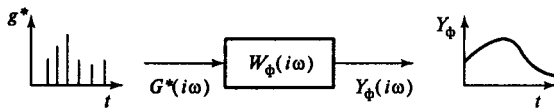


Рис. 1.2. Схема восстановления непрерывной функции  $Y_\phi(t)$  по решетчатой функции  $g^*(jt_0)$

В современных компьютерах наибольшее распространение получил режим обработки данных с фиксированной запятой. При

этом погрешность представления исходной информации, вызванная квантованием по уровню, не превышает по абсолютной величине единицы младшего разряда, определяемой соотношением (1.22). Величина  $\Delta g$  определяется из условия

$$\Delta g = (g_M - g_m) / (2^n - 1), \quad (1.22)$$

где  $n$  — число разрядов в данном коде числа;  $g_M$  и  $g_m$  — наибольшее и наименьшее возможные значения величины  $g$  соответственно.

Если задана допустимая относительная погрешность квантования по уровню  $\delta_k$ , то необходимое число разрядов определяется условием

$$n \geq \text{Int} \left[ \frac{\ln(\delta_k)}{\ln 2} \right] + 1.$$

При  $n \geq 8$  относительная погрешность квантования по уровню не превышает 0,4%, т. е. является достаточно малой по сравнению с погрешностью измерительного преобразователя. В компьютерах типичная разрядность 16, 32, 64, 128, 256, ..., т. е. погрешность квантования очень и очень мала.

Задачи восстановления непрерывной функции по ее дискретным значениям подразделяются на задачи экстраполяции и интерполяции.

**Экстраполяцией** называют определение будущих значений функции с момента очередного отсчета до момента поступления следующего отсчета.

**Интерполяцией** называют определение промежуточных значений функции между двумя полученными отсчетами.

В общем случае восстановление непрерывного сигнала по решетчатой функции осуществляется формирующим фильтром, представляющим собой линейное динамическое звено с амплитудно-фазовой характеристикой (АФХ)  $W_\phi(i\omega)$  (рис. 1.3).

Для восстановленного сигнала справедливо следующее соотношение:

$$Y_\phi(i\omega) = G^*(i\omega)W_\phi(i\omega), \quad (1.23)$$

где  $G^*(i\omega)$  — Фурье преобразование функции  $g^*(jt_0)$ .

Из теории импульсных систем известно, что спектр решетчатой функции является периодической функцией с периодом, равным частоте квантования  $\omega_0 = 2\pi/t_0$ .

Смещенные компоненты спектра могут частично перекрывать друг друга, при этом степень перекрытия увеличивается по мере квантования  $t_0$  (см. рис. 1.3). В результате наложения спектр ре-

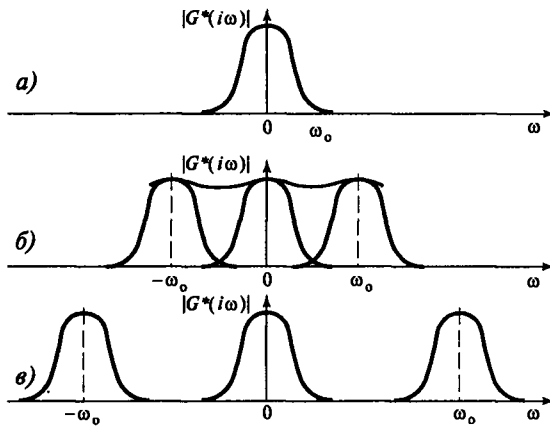


Рис. 1.3. Спектры функций: а) — непрерывный; б), в) — решетчатый при  $\omega_0 < 2\omega_c$  и при  $\omega_0 > 2\omega_c$ .

шестчатой функции искажается, и из него невозможно выделить спектр исходной непрерывной функции, за исключением случая, когда спектр непрерывной функции ограничен, т. е.

$$G(i\omega) \equiv 0 \text{ при } |\omega| \geq \omega_c, \quad (1.24)$$

а частота квантования удовлетворяет условию

$$\omega_0 \geq 2\omega_c \quad (1.25)$$

При этом смещенные компоненты в спектре решетчатой функции  $g(it_0)$  не прерываются и из него можно выделить главную несмещенную составляющую, совпадающую со спектром непрерывной функции  $g(t)$  (см. рис. 1.3).

Для точного восстановления исходной непрерывной функции по решетчатой функции следует использовать идеальный фильтр с АФХ:

$$W_\phi^0(i\omega) = \begin{cases} 1 & \text{при } |\omega| \leq \omega_c \\ 0 & \text{при } |\omega| > \omega_c. \end{cases} \quad (1.26)$$

При этом погрешность восстановления, очевидно, равна

$$e_\phi = y_\phi(t) - g(t),$$

или в преобразованном по Фурье виде

$$E_\phi(i\omega) = W_\phi(i\omega)G^*(i\omega) - G(i\omega). \quad (1.27)$$

Для идеального фильтра (1.26) при выполнении условия (1.25) справедливо равенство

$$W_{\phi}^0(i\omega)G^*(i\omega) = G(i\omega) \quad (1.28)$$

и, следовательно,

$$E_{\phi}(i\omega) = W_{\phi}^0(i\omega)G^*(i\omega) = 0. \quad (1.29)$$

Соотношение (1.25) составляет содержание теоремы Котельникова—Шеннона, которая определяет необходимые условия передачи без искажения информации, содержащейся в непрерывном сигнале при его квантовании по времени и последующем восстановлении.

Если для восстановления используют фильтр с АФХ  $W_{\phi}(i\omega)$ , отличающейся от (1.26), то даже при выполнении условия (1.25) точное восстановление исходной непрерывной функции невозможно. Погрешность восстановления получают, применив обратное преобразование Фурье к выражению (1.27) с учетом (1.28):

$$e_{\phi}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} [W_{\phi}(i\omega) - W_{\phi}^0(i\omega)] G^*(i\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (1.30)$$

Таким образом, погрешность восстановления зависит от свойств исходной функции  $g(t)$ , периода квантования  $t_0$ . Эти два фактора определяют  $G^*(i\omega)$  и АФХ формирующего фильтра  $W_{\phi}(i\omega)$ .

Метод ступенчатой экстраполяции (экстраполятор нулевого порядка) состоит в том, что значение восстанавливаемой функции  $Y_{\phi}(t)$  для любого момента времени  $jt_0 \leq t < (j+1)t_0$  принимают равным  $g^*(jt_0)$  (рис. 1.4):

$$y_{\phi}(t) = \begin{cases} g^*(jt_0) & \text{при } jt_0 \leq t < (j+1)t_0, \\ 0 & \text{при } jt_0 > t \geq (j+1)t_0. \end{cases} \quad (1.31)$$

Сигнал, восстановленный по алгоритму (1.31), можно, очевидно, рассматривать как сумму двух направленных в разные стороны скачков с амплитудой  $g^*(jt_0)$ , один из которых сдвинут по времени на  $t_0$

$$y_{\phi}(t) = g^*(jt_0) [1(t) - 1(t - t_0)] \text{ при } t \geq jt_0.$$

Следовательно, АФХ экстраполятора нулевого порядка равна

$$W_{\phi}(i\omega) = (1 - e^{-i\omega t_0}) / i\omega. \quad (1.32)$$

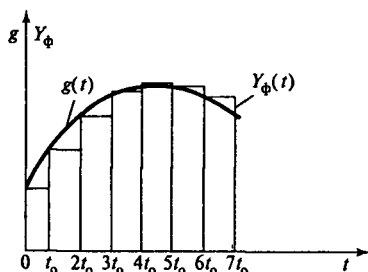


Рис. 1.4. Ступенчатая экстраполяция функции  $g(t)$

Погрешность экстраполяции обусловлена различием амплитудно-фазовых характеристик идеального фильтра (1.26) и экстраполятора нулевого порядка (рис. 1.5). Для расчета погрешности ступенчатой экстраполяции из частотной области целесообразно перейти к определению сигналов  $y_\phi(t)$  и  $g(t)$  (см. рис. 1.4).

Погрешность экстраполяции при этом равна

$$e_s(t) = g(jt_0) - g(t) \text{ при } jt_0 \leq t \leq (j+1)t_0.$$

Перейдем в этом соотношении к новой переменной  $\tau = t - jt_0$ , которая может изменяться в пределах от 0 до  $t_0$ ; тогда (1.32) можно записать в виде  $e_s(t) = g(0) - g(\tau)$ .

Если  $g(t)$  является стационарной случайной функцией, то математическое ожидание погрешности  $e_s(t)$  при усреднении по множеству интервалов  $\tau_j = t - jt_0$ ,  $j = 0, 1, 2, \dots$  равно нулю, т. к. в силу линейности операции определения математического ожидания имеем

$$M(e_s) = M\{g(0) - g(\tau)\} - M\{g(\tau)\} = 0, \quad (1.33)$$

где  $M$  — математическое ожидание.

Дисперсия погрешности экстраполяции равна

$$\begin{aligned} D_e(\tau) &= M\{[g(0) - g(\tau)]^2\} = \\ &= M\{[(g(0) - M_g) - (g(\tau) - M_g)]^2\} = \\ &= 2[R_g(0) - R_g(\tau)], \end{aligned} \quad (1.34)$$

где  $R_g(\tau)$  — автокорреляционная функция случайного процесса  $g(t)$ .

Из выражения (1.34) следует, что дисперсия погрешности экстраполяции зависит от  $\tau$  и достигает наибольшего значения при  $\tau \rightarrow t_0$ . Усредняя  $D_e(\tau)$  по  $\tau$  в пределах от 0 до  $t_0$ , окончательно получим

$$D_e = 2 \left[ R(0) - 1/t_0 \int_0^{t_0} R_g(\tau) d\tau \right]. \quad (1.35)$$

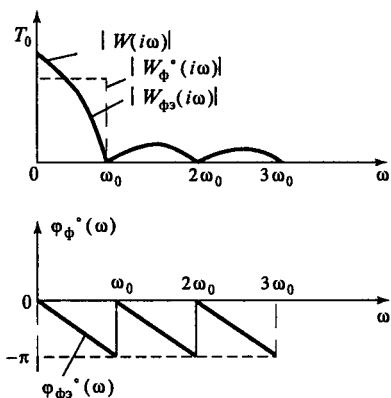


Рис. 1.5. Частотные характеристики фильтров:

----- идеального; ———— экстраполятора нулевого порядка

Это позволяет рассчитать дисперсию погрешности экстраполяции по заданному периоду квантования  $t_0$  и автокорреляционной функции  $R_g$ . Его можно использовать для определения периода квантования  $t_0$ , если задано наибольшее допустимое значение среднеквадратичной погрешности экстраполяции  $\sigma_e^*$  и известна автокорреляционная функция  $R_g(\tau)$ .

Для этого следует использовать графоаналитический метод (рис. 1.6)

По графику функции  $R_g(\tau)$  определяют такое значение  $\tau = t_0$ , при котором удвоенная средняя высота заштрихованной фигуры  $ABC$  (т. е. удвоенный отрезок  $DE$  будет равна заданному значению  $(\sigma_e^*)^2 = D_e$ . Если УСО содержит звено чистого запаздывания  $\tau_0$  (например, транспортер для переноса пробы от технологического потока до чувствительного элемента ИП), то для расчета среднеквадратичной погрешности экстраполяции можно использовать формулу (1.35) с заменой в ней пределов интегрирования: нижнего на  $\tau_0$ , а верхнего на  $(t_0 + \tau_0)$ .

В АСУТП, наряду с ИП непрерывного действия, применяют датчики (ИП) дискретного действия, например при спектрофотометрии, хроматографии, ИП предельных значений параметра. Они осуществляют квантование по времени измеряемой величины с собственным периодом  $t_g$ , который обычно значительно выше периода опроса  $t_0$ .

Для этого случая результирующий период квантования по времени в данном УСО определяется из условия

$$t_{0g} = t_0 [\text{Int}(t_g / t_0) + 1]. \quad (1.35)$$

Для оценки погрешности экстраполяции можно использовать выражение (1.35) с заменой в нем  $t_0$  на  $t_g$ .

Линейная интерполяция является простейшим методом интерполяции, в основе которого лежит кусочно-линейная аппроксимация функции  $g(t)$  на интервале значения  $jt_0 \leq t \leq (j+1)t_0$  (рис. 1.7).

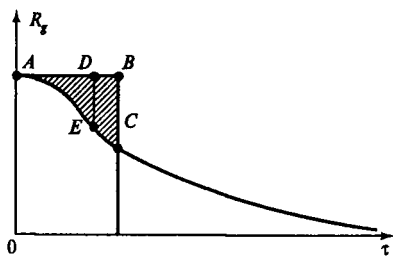


Рис. 1.6. К расчету среднеквадратичной погрешности экстраполяции

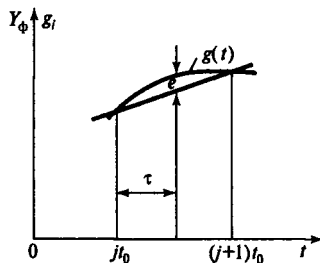


Рис. 1.7. Линейная интерполяция функции  $g(t)$



Уравнение прямой, проходящей через точки  $g(jt_0)$  и  $g[(j+1)t_0]$ , можно записать в виде

$$y_\phi(t) = [g(t_0)\tau - g(0)(\tau - t_0)] / t_0, \quad (1.36)$$

где  $\tau = t - jt_0$  при  $0 \leq \tau \leq t_0$ .

Погрешность линейной интерполяции

$$e_u(t) = y_\phi(t) - g(t). \quad (1.37)$$

Подставляя в это выражение значение  $y_\phi(t)$  из формулы (1.36), возводя ее в квадрат и усредняя по множеству интервалов, а затем по  $\tau$  в пределах от 0 до  $t_0$ , получим выражение для дисперсии погрешности линейной интерполяции

$$D_e = 2/3 [R_g(0) - R_g(t_0)]. \quad (1.38)$$

Современные ПТК обеспечивают достаточно высокую частоту опроса датчиков, соответственно УСО, поэтому обычно удается обеспечить требуемую точность восстановления измеряемых величин используя простейший метод ступенчатой экстраполяции.

Обычно среди десятков и даже сотен УСО можно выделить несколько групп параметров, близких по частотным спектрам. В этом случае для каждой группы датчиков можно выбрать общий период опроса.

### **Выбор частоты опроса измерительных преобразователей (датчиков) через число нулей случайного процесса**

Выбор частоты опроса  $t_0$  по формуле (1.35) требует знания корреляционной функции  $R_g(\tau)$  случайного процесса  $g(t)$ . Для получения оценки корреляционной функции необходим значительный объем вычислений (см. рис. 1.6). Однако часто проще и естественнее задать не дисперсию ошибки  $D_e$  для замены непрерывного случайного процесса ступенчатым, а отношение этой величины к дисперсии случайного процесса  $D$ . При этом следует учесть важность гарантии того, что выбранная частота опроса не приведет к появлению большей относительной погрешности, чем заданное значение, т. е. важно получить оценку сверху для периода опроса  $t_0$ .

Для решения поставленной задачи воспользуемся неравенством

$$t_0 \leq 4\Delta D_e / D, \quad (1.39)$$

где  $D_e/D$  — отношение добавочной дисперсии, связанной с заменой непрерывного процесса с шагом  $t_0$  к дисперсии случайного процесса  $D$ ;  $\Delta$  — продолжительность корреляционной функции случайного процесса.

Если бы продолжительность корреляционной функции можно было оценить без построения этой функции, то неравенство (1.39) позволило бы оценить интервал опроса  $t_0$ . Далее получим оценку величины  $\Delta$  через среднее число нулей случайного процесса  $N_0$ , т. е. через среднее число пересечений им линии своего математического ожидания в единицу времени. Предварительно отметим, что рассмотрение процессов с корреляционной функцией конечной продолжительности более естественно, чем процессов со спектральной плотностью, ограниченной частотой среза, так как первые, в отличие от вторых, физически реализуемы.

Известна связь среднего числа нулей  $N_0$  со спектральной плотностью случайного процесса  $S(\omega)$

$$N_0^2 = \frac{1}{\pi^2 D} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega^2 S(\omega) d\omega. \quad (1.40)$$

Воспользовавшись этой формулой, можно найти минимальную продолжительность корреляционной функции  $R_g$ , имеющей заданное число нулей  $N_0$ .

Анализ размерности правой части формулы для  $N_0^2$  показывает, что среднее число нулей имеет размерность частоты. В качестве функционала, имеющего размерность времени, определяем продолжительность  $\Delta$  корреляционной функции  $R_g(\tau)$ . Таким образом, произведение  $C = N_0 \Delta$  зависит от формы  $R_g(\tau)$  и не зависит от выбора масштаба времени. Поэтому первоначально зафиксируем  $\Delta = 1$  и при этом условии можно искать минимум  $N_0$ , а точнее,  $N_0^2$ . Чтобы учесть требование конечной продолжительности корреляционной функции, перейдем во временную область.

Представим  $S(\omega)$  в виде  $/S(i\omega)/^2$ , что соответствует представлению  $R_g(\tau)$  как свертки двух функций, т. е.  $r^+(\tau)$  и  $r^-(\tau)$ , первая из которых определена в интервале  $(0,1)$ , а вторая в интервале  $(-1, 1)$  (рис. 1.8).

Формула для среднего числа нулей может быть переписана в виде

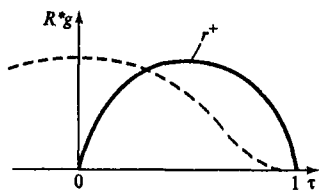


Рис. 1.8. Определение корреляционной функции минимальной продолжительности

$$N_0^2 = \frac{1}{\pi^2} \frac{\int_0^1 [r^+(\tau)]^2 d\tau}{\int_0^1 [r^+(\tau)]^2 d\tau}. \quad (1.41)$$

Чтобы найти минимум  $N_0^2$  необходимо, как обычно, минимум числителя при фиксированном значении знаменателя.

Задача  $I = \int_0^1 \dot{r}^2(\tau) d\tau \rightarrow \min$  при  $\int_0^1 r^2(\tau) d\tau = D_0$  (индекс «+» для краткости записи опущен) решается с использованием уравнения Эйлера. Составим функционал Лагранжа

$$L = \int_0^1 f(\dot{r}, r) d\tau = \int_0^1 f(\dot{r}^2 + \lambda r^2) d\tau$$

и запишем для него уравнение Эйлера

$$\partial f / \partial r - d/dt(\partial f / \partial \dot{r}) = 0 \rightarrow \dot{r} - \lambda r = 0$$

Его решение (а точнее — множество решений):

$$r(\tau) = A_0 \sin k\tau; \quad k = 1, 2, \dots$$

Подставив решение в условие для заданной дисперсии, получим  $A_0^2 = D_0 / \pi$ .

Величина  $I$  при найденных решениях  $I = D_0 k^2 \pi^2$ ; тогда  $I/D_0 = k^2 \pi^2$ . Это отношение минимально для  $k = 1$ . Соответствующее решение  $r^+(\tau)$  показано на рис. 1.8.

Там же нанесена корреляционная функция  $R_g^*(\tau)$ , имеющая при заданном среднем числе нулей минимальную продолжительность.

При  $\Delta = 1$  величина  $C_{\min}$  оказывается равной единице. Следовательно, если фиксировано среднее число нулей  $N_0$ , то минимальная продолжительность корреляционной функции  $\Delta_{\min} = 1/N_0$ .

Возвращаясь к неравенству (1.39) и подставляя вместо  $\Delta$  значение  $\Delta_{\min}$ , получим оценку сверху для интервала опроса:

$$t_0 \leq 4\Delta_{\min} (D_e/D) = (4/N_0)(D_e/D). \quad (1.42)$$

**Пример.** Пусть относительная дисперсия, связанная с дисперсностью опроса датчиков, не должна превышать пяти процентов. По формуле (1.42) для  $t_0$  имеем оценку  $t_0 \leq (4/N_0)0,05 = 0,2/N_0$ .

Для получения  $N_0$  определяют среднее значение данных случайного процесса, выбирают реализацию такой длины, чтобы функция, описывающая случайный процесс, пересекала линию среднего значения приблизительно 100 раз, подсчитывают отношение числа к длине реализации:

$$N_0 = N(T)/T.$$

Если число пересечений в точности равно 100, то, обозначив соответствующую продолжительность реализации через  $T_{100}$ , получим

$$t_0 \leq 0,2T_{100}/100 = 0,002T_{100}.$$

Таким образом, на реализации длиной  $T_{100}$  нужно 500 раз отобразить показания измерительного преобразователя.

## Фильтрация измеряемых величин от помех

*Фильтрацией* называют операцию выделения полезного сигнала измерительной информации  $y(t)$  из его суммы с помехой  $e(t)$  (см. рис. 1.2). Методы фильтрации обычно основаны на различии частотных спектров функций  $y(t)$  и  $e(t)$ : как правило, помеха бывает более высокочастотной. Для выполнения дальнейших вычислений примем следующие допущения:

1. Функция  $y(t)$  описывает стационарный случайный процесс с известными статистическими характеристиками — математическим ожиданием  $M_y$ , дисперсией  $D_y$  и автокорреляционной функцией, подчиняющейся следующему соотношению:

$$R_y(t) = D_y e^{-\alpha(t)}, \text{ где } \alpha = \text{const.} \quad (1.43)$$

2. Помеха  $e(t)$  также является стационарным случайным процессом, не коррелированным с полезным сигналом  $y(t)$ ; для нее известны статистические характеристики  $M_e = 0$  и  $D_e = kD_y$ , так что

$$R_e(\tau) = kD_y e^{-m\alpha(\tau)}, \quad (1.44)$$

где  $k$  и  $m$  константы (обычно  $k < 1$ ,  $m > 1$ ).

В результате фильтрации получают оценку  $y_\phi(t)$  сигнала измерительной информации, к которой предъявляют следующие требования:

а) она должна быть несмещенной, т. е. должна удовлетворять условию

$$M\{y_\phi(t)\} = M_y; \quad (1.45)$$

б) среднеквадратичная погрешность оценки должна быть минимальной, т. е.

$$M\{[y_\phi(t) - y(t)]^2\} \rightarrow \min. \quad (1.46)$$

Оценку  $y_\phi(t)$  будем рассматривать как выходной сигнал линейного динамического звена — фильтра с АФХ  $W_\phi(i\omega)$ , на вход которого поступает выходной сигнал УСО, т. е.  $g(t) = y(t) + e(t)$ .

Синтез оптимального реализуемого фильтра является достаточно сложной задачей, при этом требуется достаточно точное задание характеристик полезного сигнала и помехи. Поэтому на практике обычно ограничиваются так называемым параметрическим синтезом фильтров, т. е. задают структуру функции  $W_\phi(i\omega)$ , а ее параметры определяют согласно условий (1.45) и (1.46).

Расчет дисперсии погрешности фильтрации обычно выполняют в частотной области, используя выражение

$$D_\phi = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty S_\phi(\omega) d\omega. \quad (1.47)$$

Спектральную плотность функции  $e_\phi(t)$  рассчитывают по формуле

$$S_\phi(\omega) = S_e(\omega) |W_\phi(i\omega)|^2 + S_y(\omega) |W_\phi(i\omega) - 1|^2. \quad (1.48)$$

Функции  $S_e(\omega)$  и  $S_y(\omega)$  являются спектральными плотностями сигналов  $e(t)$  и  $y(t)$ , которые получают в результате преобразования по Фурье автокорреляционных функций (1.43) и (1.44):

$$S_y(\omega) = \frac{2D_y\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}; \quad (1.49)$$

$$S_e(\omega) = \frac{2kD_y m\alpha}{(m\alpha)^2 + \omega^2}. \quad (1.50)$$

На практике применяют несколько простых алгоритмов фильтрации, рассмотренных ниже. При этом в АСУТП некоторые методы фильтрации могут реализоваться как аппаратно (с использованием специальных аналоговых устройств), так и программно. Поэтому для каждого такого метода фильтрации приведены аналоговый и дискретный варианты реализации.

### Экспоненциальный фильтр

Импульсная характеристика такого фильтра описывается экспоненциальной функцией.

В аналоговом варианте экспоненциальный фильтр представляет собой апериодическое звено и описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{1}{\gamma} \frac{dy_\phi}{dt} + y_\phi(t) = k_\phi g(t), \quad (1.51)$$

где  $\gamma$  и  $k_\phi$  — параметры настройки фильтра.

Уравнение (1.51) соответствует АФХ, т. е.

$$W_\phi(i\omega) = \frac{k_\phi}{\gamma + \omega} = \frac{k_\phi / \gamma}{1 + T_\phi i\omega}, \quad (1.52)$$

где  $T_\phi = 1/\gamma$  — постоянная времени фильтра.

Из условия (1.45) для статического режима определяют оптимальное значение параметра  $k_\phi$  (коэффициент усиления):

$$k_\phi^0 = 1. \quad (1.53)$$

Определение оптимального значения параметра  $\gamma$  осуществляется из условия (1.46), для этого предварительно рассчитывают спектральную плотность погрешности экспоненциального фильтра по формуле (1.48) с учетом (1.52) и (1.53):

$$S_{\phi}(\omega) = S_e(\omega) \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \omega^2} + S_y(\omega) \frac{\omega^2}{\gamma^2 + \omega^2}.$$

Дисперсия погрешности экспоненциального фильтра, согласно (1.47) и (1.48) с учетом (1.52), равна

$$D_{\phi} = \frac{2D_y\alpha}{\pi} \int_0^{\infty} \left\{ \frac{mk\gamma^2}{[(\alpha m)^2 + \omega^2](\gamma^2 + \omega^2)} + \frac{\omega^2}{(\alpha^2 + \omega^2)(\gamma^2 + \omega^2)} \right\} d\omega.$$

При вычислении этого интеграла оба слагаемых подинтегрального выражения раскладывают на простые дроби, каждая из которых сводится к табличному интегралу вида

$$\int_0^{\infty} \frac{d\omega}{a^2 + \omega^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{\omega}{a} \Big|_0^{\infty} = \frac{\pi}{2a}.$$

После выполнения соответствующих преобразований получают следующее выражение для дисперсии погрешности фильтрации:

$$D_{\phi} = D_y \left( \frac{\alpha}{\gamma + \alpha} + \frac{k\gamma}{\gamma + \alpha m} \right). \quad (1.54)$$

Оптимальное значение параметра настройки  $\gamma$  получают из необходимого условия экстремума функции  $D_{\phi}(\gamma)$

$$\frac{dD_{\phi}}{d\gamma} = D_y \left[ \frac{-\alpha}{(\gamma + \alpha)^2} + \frac{k(\gamma + \alpha m) - k\gamma}{(\gamma + \alpha m)^2} \right] = 0,$$

откуда

$$\gamma^0 = \alpha \frac{\sqrt{km} - m}{1 - \sqrt{km}} \quad (1.55)$$

Таким образом, функция  $D_{\phi}(\gamma)$  имеет единственную точку стационарности, тип которой зависит от знака второй производной при  $\gamma = \gamma^0$ . Можно показать, что при выполнении условия

$$km > 1 \quad (1.55a)$$

особая точка является минимумом функции  $D_{\phi}(\gamma)$ , а при выполнении условия  $km < 1$  в точке  $\gamma = \gamma^0$  функция  $D_{\phi}(\gamma)$  достигает

максимума. Поэтому если сочетание характеристик полезного сигнала и помехи соответствуют случаю (1.55а), то оптимальное значение параметра настройки определяется по формуле (1.55). Если это условие не выполняется, то оптимальным является наибольшее допустимое значение параметра  $\gamma$ .

При программной реализации экспоненциального фильтра дифференциальное уравнение (1.51) заменяют разностным уравнением вида

$$1/\gamma[y_\phi(j) - y_\phi(j-1)] + y_\phi(j-1) = g(j),$$

где  $j$  — номер цикла расчета.

Отсюда получают следующее рекуррентное соотношение для вычисления сглаженного значения  $y_\phi(j)$  в очередном  $j$ -том цикле расчета:

$$y_\phi(j) = \gamma g(j) + (1 - \gamma)y_\phi(j-1). \quad (1.56)$$

К достоинствам алгоритма экспоненциальной фильтрации относятся малая трудоемкость расчетов и малый объем памяти ПТК, в которой должна храниться величина  $\gamma$  и обновляемая в каждом цикле расчета величина  $y_\phi(j-1)$ .

**Фильтр скользящего среднего** в аналоговом варианте реализует вычисление среднего значения функции  $g(t)$  на интервале времени от  $t_1 - T_\phi$  до  $t_1$  (рис. 1.9б):

$$y_\phi(t) = \frac{1}{T_\phi} \int_{t_1 - T_\phi}^{t_1} q(\theta) d\theta, \quad (1.57)$$

где  $T_\phi$  — параметр настройки фильтра (время усреднения).

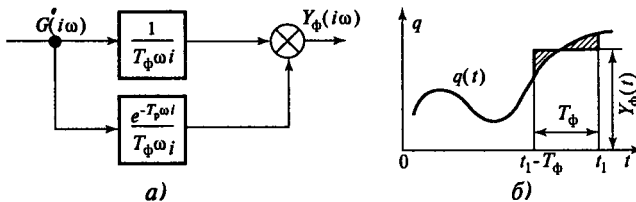


Рис 1.9. Фильтр скользящего среднего:

а) — структурная схема; б) — схема фильтрации

Преобразуем правую часть выражения (1.57), представим его в виде

$$\int_{t_1 - T_\phi}^{t_1} q(\theta) d\theta = \int_0^{t_1} q(\theta) d\theta - \int_0^{t_1 - T_\phi} q(\theta) d\theta.$$

Таким образом, фильтр скользящего среднего представляет собой параллельное соединение 2-х интегрирующих звеньев, одно из которых последовательно соединено со звеном запаздывания (рис. 1.9а), поэтому амплитудно-фазовая характеристика фильтра описывается выражением

$$W_{\phi}(i\omega) = (1 - e^{-i\omega T_{\phi}}) / (i\omega T_{\phi}). \quad (1.58)$$

Решая совместно (1.47) — (1.50) и (1.58), можно получить выражение для дисперсии погрешности  $D_{\phi}$  фильтра скользящего среднего и определить оптимальное значение  $T_{\phi}^0$  параметра настройки из необходимого условия минимума функции  $D_{\phi}(T_{\phi})$ . Получаемое при этом выражение очень громоздко, неудобно для практического пользования. На его основе рассчитаны номограммы<sup>1</sup>, по которым для заданных значений  $\alpha$ ,  $m$ ,  $k$  можно определить  $T_{\phi}^0$ .

При программной реализации фильтра скользящего среднего расчет сглаженного значения  $Y_{\phi}(j)$  в очередном  $j$ -том цикле осуществляется по формуле

$$Y_{\phi}(j) = \frac{1}{N+1} \sum_{s=0}^N q[(j-s)t_0], \quad (1.59)$$

где  $N = T_{\phi}/t_0$  — параметры настройки фильтра.

Для расчетов по формуле (1.59) требуется хранить в памяти ПТК  $(N+1)$  значение функции  $g(jt_0)$ .

### Статистические фильтры

Статистические фильтры, в аналоговом варианте представляющие собой параллельное соединение  $(n + 1)$  цепочек, состоят из усилительного звена и звена чистого запаздывания. Передаточная функция такого фильтра

$$W_{\phi}(p) = \sum_{j=0}^n b_j e^{-pt_j}, \quad b_j = \text{const}, \quad j = 0, 1, \dots, n. \quad (1.60)$$

### Статистический фильтр нулевого порядка

Это простейший среди фильтров данной группы. Его передаточная функция формируется из формулы (1.60) при  $N = 0$ , т. е. это просто усилительное звено, выходной сигнал которого

$$y_{\phi}(t) = b_0 g(t). \quad (1.61)$$

<sup>1</sup> Ицкович Э. Л. Контроль производства с помощью вычислительных машин. М.: Энергия, 1975, 416 с.



При непосредственном использовании формулы (1.60) сглаженная функция  $y_0(t)$ , т. е. ее математическое ожидание не будет равно  $m_g$ . Действительно, усредняя левую и правую части (1.61) с учетом суммарного сигнала и  $m_e = 0$ , получим

$$M[y_\phi(t)] = b_0 m_y \neq m_y.$$

Для получения несмещенной оценки к правой части (1.61) необходимо прибавить постоянный член  $a$ , удовлетворяющий условию  $b_0 m_y + a = m_y$ , откуда  $a = m_y(1 - b_0)$ .

Таким образом, формула (1.61) приобретает вид

$$Y_\phi(t) = b_0 g(t) + m_y(1 - b_0), \quad (1.62)$$

где  $b_0$  — параметр настройки фильтра.

Погрешность фильтрации, согласно (1.45) и (1.62) с учетом суммарного сигнала, равна

$$e_\phi(t) = b_0 e(t) - y^0(t)(1 - b_0), \quad (1.63)$$

где  $y^0(t) = y(t) - m(y)$  — центрированная функция  $y(t)$ .

Возводя левую и правую части формулы (1.63) в квадрат и усредняя, получим следующее выражение для среднего квадрата погрешности фильтрации:

$$D_\phi^2 = b_0^2 D_e + (1 - b_0) D_y. \quad (1.64)$$

Оптимальное значение параметра настройки  $b_0$ , полученное из необходимого условия минимума функции  $D_\phi(b_0)$ , равно  $b_0^0 = D_y / (D_y + D_e)$ .

Ему соответствует минимальная среднеквадратичная погрешность фильтрации

$$\min D_\phi = D_e / (1 + k). \quad (1.65)$$

Как видно из (1.65), статистический фильтр нулевого порядка при оптимальной настройке снижает случайную погрешность сигнала измерительной информации в  $(1+k)$  раз.

При программной реализации статистического фильтра нулевого порядка расчет сглаженных значений производится по формуле

$$y_\phi(it_0) = b_0 g(it_0) + (1 - b_0) m_y. \quad (1.66)$$

### Статистический фильтр первого порядка

Передаточную функцию такого фильтра получают из (1.60) при  $N = 1$ :

$$W_\phi(p) = b_0 + b_1 e^{-\tau p},$$

где  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $\tau$  — константы.

Зависимость от времени выходного сигнала этого фильтра имеет следующий вид:

$$y_{\phi}(t) = b_0 g(t) + b_1 g(t - \tau). \quad (1.67)$$

Усредняя левую и правую части этого выражения и учитывая величину суммарного сигнала, получим

$$M[y_{\phi}(t)] = (b_0 + b_1) m_y.$$

Для выполнения условия несмещенности оценки  $y_{\phi}(t)$ , т. е. условия  $M[y_{\phi}(t)] = m_y$ , коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$ , очевидно, должны удовлетворять соотношению  $b_1 = 1 - b_0$ , с учетом которого формула (1.67) приводится к виду

$$y_{\phi}(t) = b_0 g(t) + (1 - b_0) g(t - \tau), \quad (1.68)$$

где  $b_0$  и  $\tau$  — параметры настройки статистического фильтра первого порядка.

Погрешность фильтрации  $e_{\phi}(t)$ , согласно величине суммарного сигнала, (1.44) и (1.68), равна

$$e_{\phi}(t) = b_0 y^0(t) + (1 - b_0) y^0(t - \tau) + b_0 e(t) + (1 - b_0) e(t - \tau) + m_y, \quad (1.69)$$

а дисперсия погрешности

$$D_{\phi} = (1 - 2b_0)(D_y + D_e) + 2b_0(1 - b_0)[R_y(\tau) + R_e(\tau)] + m_y^2. \quad (1.70)$$

Оптимальное значение параметра настройки  $b_0$  получаем из условия  $\frac{\partial D_{\phi}}{\partial b_0} = 0$ , тогда

$$b_0^0 = \frac{1}{2} - \frac{D_y + D_e}{2[R_y(\tau) + R_e(\tau)]}. \quad (1.71)$$

В большинстве случаев статистические фильтры реализуются программно, поэтому второй параметр настройки  $\tau$  совпадает с периодом  $t_0$  квантования по времени функции  $g(t)$ .

Сравнительный анализ фильтров по совокупности показателей (точность, трудоемкость, потребный объем памяти ПТК и др.) показал (Ицкович Э. Л.), что для аналогового варианта целесообразно использовать экспоненциальный фильтр, а для программной реализации — экспоненциальный или статистический фильтр первого порядка.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Что такое информация?
2. Что такое энтропия системы?
3. Как оценить количество информации?
4. Какие виды информации Вы знаете?
5. Расскажите о системах исчисления информации.
6. Способы представления информации.
7. Принципы действия УСО.
8. Алгоритмы обработки информации.
9. Расскажите о методах обработки информации.
10. Что такое поток информации?
11. Какие способы оценки количества информации Вы знаете?
12. Как связаны неопределенность состояния системы и объем и содержание информации о ней?
13. Что понимают под входной информацией?
14. Что относится к выходной информации?
15. Что относят к промежуточной информации?
16. Чем переменная информация отличается от постоянной?
17. Что отображает переменная информация?
18. Что называют разовой информацией?
19. Что представляет собой информационное обеспечение АСУ?
20. Каково основное назначение информационного обеспечения?
21. Перечислите основные элементы системы информационного обеспечения.
22. Что такое информационный массив?
23. Виды информационных массивов.
24. Для чего предназначены средства классификации и кодирования данных?
25. Что предусматривает кодирование информации?
26. Перечислите основные требования к разработке классификаторов и систем кодирования.
27. Какие методы кодирования информации Вы знаете?
28. Алгоритмы обработки информации.
29. Что понимают под экстраполяцией?
30. Изложите суть метода ступенчатой экстраполяции.
31. Как осуществить линейную интерполяцию заданной функции?
32. Что такое фильтрация измеряемых величин от помех? Как она осуществляется?
33. Какие виды фильтров Вы знаете?

## **Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**

Развитие систем управления технологическими процессами пищевых производств проходит ряд качественных ступеней, связанных с применением соответствующих автоматических средств, которые обеспечивают полное или частичное освобождение обслуживающего персонала от выполнения функций контроля и управления.

На ранней стадии развития автоматические средства обеспечивали формирование различных местных локальных систем автоматизации: автоматического контроля и сигнализации; автоматического регулирования; автоматического пуска и остановки оборудования; автоматической защиты.

В локальных системах автоматизации для крупных аппаратов, технологических агрегатов и линий создаются местные пункты контроля и управления, значительно улучшающие условия работы обслуживающего персонала.

Для управления сложными, территориально распределенными технологическими процессами применяют современные технические средства — микропроцессорную технику и современные экономико-математические методы, обеспечивающие автоматический сбор и обработку информации, необходимой для осуществления управления.

### **2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

На современном этапе развития производства автоматизация рассматривается как важнейшее направление научно-технического прогресса. Центральной задачей автоматизации производства является создание и управление высокоинтенсивными технологическими процессами и средствами производства, исключаями ручной труд. Для решения этих задач необходимы конкретные знания данного производства, его технологии, а также знание технических средств автоматизации, принципов и методов управления.

**Наука об общих принципах и методах построения автоматически действующих устройств и систем называется автоматикой.** Автоматика — это совокупность механизмов и устройств, действующих автоматически. Как известно, эффективность систем контроля и

управления зависит от рационального выбора функций и типа технических средств. Функции систем контроля и управления подразделяют по назначению на основные и вспомогательные, а по содержанию — на информационные, вычислительные и управляющие.

К основным функциям относят те, что обеспечивают достижение целей функционирования ОУ и/или обмен информацией со смежными автоматическими системами контроля (АСК) и системами автоматического управления (САУ).

К вспомогательным функциям относят функции, направленные на достижение необходимой точности, надежности и других показателей качества функционирования средств контроля и управления.

**Информационные функции** — это совокупность операций и процедур, которые обеспечивают получение, обработку и представление информации о состоянии ОУ или систем контроля и управления оперативному персоналу или в смежные системы.

**Управляющие функции** — это совокупность операций и процедур, которые обеспечивают выработку и реализацию управляющих воздействий на ОУ или САУ.

Состав основных функций системы управления определяется целями ее функционирования.

К *основным информационным функциям* относят: измерение и контроль технологических параметров; подготовку и передачу информации в смежные системы контроля и управления; вычисление технико-экономических показателей и показателей качества продукции и т. п.

Состав *вспомогательных функций* определяется обеспечением работоспособности систем контроля и управления.

*Работоспособным* называют состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять свои функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

Эффективность работы ОУ значительно зависит от материальных и людских ресурсов, необходимых для обеспечения поддержания ОУ и систем контроля и управления в работоспособном состоянии в течение всего срока эксплуатации.

*Состояние объекта (системы), при котором значение хотя бы одного параметра не соответствует указанным требованиям, является неработоспособным.*

*Событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта, называют отказом.*

Функции системы, управляющей работоспособностью автоматизированного ОУ, следующие: техническое диагностирование;

реконфигурация (изменение) структуры объекта; аварийная защита; управление резервами; техническое обслуживание и ремонт.

*Техническое диагностирование* является информационной функцией и включает контроль, поиск и оценку глубины изменения технического состояния ОУ.

*Реконфигурация структуры системы (объекта)* предусматривает сохранение наименьшей скорости снижения ее работоспособности. Эта функция осуществляется путем поиска вариантов допустимой структуры, изменения связей и режимов функционирования элементов системы, использование автоматической защиты, предупреждающей об аварийном состоянии ОУ.

*Функция управления резервами* обеспечивает ввод дополнительных (резервных) элементов, направленных на сохранение работоспособности объекта и контроль достигнутых результатов. В зависимости от вида резерва различают функциональное, техническое и алгоритмическое резервирование.

Проведение работ по обслуживанию и ремонту объекта определяется выбранной стратегией, под которой следует понимать назначение времени, объема и метода проведения указанных работ. Техническое обслуживание и ремонт производятся с учетом информации о выполнении функций управления резервами.

Автоматизация пищевых производств базируется на развитии систем двух видов. Первый — местные (локальные) системы автоматизации аппаратов, агрегатов, установок, механизмов, линий, реализующих для части технологического процесса функции автоматического контроля и сигнализации, автоматического регулирования, автоматического пуска и остановки технологического оборудования, автоматической защиты.

*Автоматический контроль и сигнализация* предназначены для выполнения непрерывного измерения, записи параметров, характеризующих состояние и работу технологического оборудования, а также для формирования предупредительных сигналов при отклонении этих величин от допустимых пределов.

*Автоматическое регулирование* поддерживает постоянство или закономерное изменение регулируемых величин, обеспечивающих безопасность, надежность и эффективность эксплуатации технологического оборудования.

*Автоматический пуск и остановка* обеспечивают запуск в действие технологического оборудования по сигналу из пункта управления, но при наличии определенной совокупности внешних условий. При этом соблюдаются последовательность операций и координация их между собой.

*Автоматическая защита* предохраняет действующее оборудование от аварий. Она выводит из действия все технологическое оборудование или его часть, которой непосредственно грозит авария из-за неисправности автоматизированного оборудования, порчи регуляторов или неправильных действий обслуживающего персонала. К автоматической защите относятся также устройства блокировки, допускающие выполнение операции по включению в действие или по отключению элементов оборудования только в заданной последовательности.

При этом создавались системы автоматического управления (САУ) и системы автоматического регулирования (САР), которые являлись, в основном, одноконтурными системами стабилизации.

В зависимости от степени участия оператора в процессе управления различают следующие режимы:

*автоматического управления* — автоматический режим, при котором управление происходит без участия оператора, но по его заданию и при его контроле;

*полуавтоматического управления* — полуавтоматический режим (автоматизированный режим), при котором реализация основных командных операций по управлению возлагается на оператора;

*ручного управления* — ручной режим, при котором все операции по управлению осуществляются оператором.

*Автоматическое, автоматизированное и ручное управление* обеспечивают заданный порядок и последовательность пуска, работы и остановки механизмов и устройств, участвующих в процессе, путем введения соответствующих блокировок.

В зависимости от места расположения командной аппаратуры управление в автоматизированном и ручном режимах может быть местным (аппаратура управления устанавливается непосредственно у оборудования) либо дистанционным. **Местное управление необходимо для ввода системы в автоматический режим для проведения проверочных, наладочных и ремонтных работ.** При этом блокировка и сигнализация, необходимые для защиты оборудования, должны действовать в местном режиме.

*Системы автоматического контроля и сигнализации* осуществляют измерение физических величин, т. е. выполняют операцию измерения и устанавливают соответствие между результатом измерения и заданным значением этой величины, а также информируют оперативный персонал о состоянии параметров технологического процесса (технологическая сигнализация) и состоянии оборудования (производственная сигнализация).

*По назначению сигнализация* подразделяется на рабочую, предупреждающую и аварийную. Выбор вида сигнализации зависит от конкретных условий и характера процесса.

На пультах или щитах световые сигналы оформляются в виде табло или сигнальной арматуры. Табло обычно применяют для сигнализации о состоянии технологических параметров, а сигнальную аппаратуру — для различных производственных сигналов. При этом надпись о содержании сигнала в первом случае выполняют на самом табло, во втором — в рамке, смонтированной около арматуры. Часто сигнальные элементы встраивают в мнемосхему процесса.

Схемы сигнализации строят следующим образом: при нарушении режима обеспечивается подача звукового или светового сигналов. Звуковой сигнал служит для привлечения внимания обслуживающего персонала и является общим для всех световых сигналов схемы, каждый из которых указывает место нарушения режима или возникновения неисправности.

Звуковой сигнал выключается оперативным персоналом, а световой остается включенным до устранения причины, вызывающей его появление. Существуют схемы сигнализации без повторности действия и с повторностью действия звукового сигнала. Первые применяют в тех случаях, когда появление хотя бы одного из сигналов вызывает остановку всей системы или необходимость в остановке всего агрегата. Вторые применяют в тех случаях, когда возможно последовательное замыкание нескольких сигнальных контактов и при замыкании каждого из них необходимо получить звуковой сигнал, при этом причина, вызвавшая появление предыдущего сигнала, еще не устранена.

## **2.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Системы управления относятся к кибернетическим системам, так как в основу их положен принцип переработки информации.

**Кибернетика** — это наука, которая изучает общие законы управления в разных системах: технических, биологических, экономических на основе переработки информации в системах различной природы — машине, обществе, животном. Управление реализуется целенаправленной координацией деятельности (действия) различных элементов той или иной системы.

Кибернетику подразделяют на три вида: техническая кибернетика, экономическая кибернетика и биокибернетика.

**Техническая кибернетика** изучает технические средства (роботы и другие технические устройства), способные заменить человека при управлении трудоемкими технологическими процессами или операциями на производстве.



Автоматические и автоматизированные системы управления являются элементами технической кибернетики.

В основе всех процессов управления находятся информационные процессы, происходящие в системе. Кибернетика изучает общие принципы и законы управления различными объектами на основе получения, хранения, переработки и передачи информации. Каждый управляемый объект рассматривается как отдельная система.

**Система** — это совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определенную целостность и единство.

Каждая система может состоять из ряда подсистем.

**Подсистемой** называется часть системы, выделенная по определенному признаку. Подсистему, в свою очередь, можно рассматривать как систему по отношению к ее внутренним элементам.

Например, пищевая промышленность является системой, в которую входят отдельные элементы системы (отрасли): хлебопекарная, сахарная, пивоваренная, масло-жировая и т. д., обладающие общим для всех свойством — способностью удовлетворять потребности людей в продуктах питания. В свою очередь, отрасль можно рассматривать как систему, состоящую из совокупности элементов, которыми являются предприятия (объединения).

Любая кибернетическая система состоит из двух подсистем: управляющей и управляемой.

**Управляющей** называется подсистема, которая реализует процесс переработки информации, воспринимая информацию, характеризующую состояние системы, перерабатывая и генерируя новую информацию.

**Управляемой** является подсистема, которая под действием данной информации реализует процессы функционирования всей системы.

**Система управления** представляет собой единство управляющей и управляемой подсистем (рис. 2.1).

Классификация кибернетических систем осуществляется по многим признакам, в том числе и по степени сложности.

Сложность кибернетической системы обусловлена двумя факторами: общим количеством параметров, характеризующих состояние всех ее элементов, и сложностью структуры, характеризующейся общим числом связей между ее элементами и их разнообразием. Согласно этим факторам, кибернетические системы можно подразделить на простые, сложные и очень сложные.

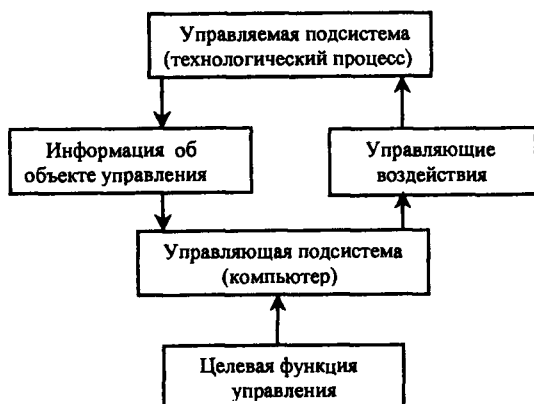


Рис. 2.1. Схема кибернетической системы управления

**Простые системы** — это системы, не имеющие разветвленной структуры (отсутствуют иерархические уровни), с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих более сложные функции. При этом изменения в них легко описываются.

**Сложные системы** — это системы с разветвленной структурой и значительным количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих более сложные функции. Изменение какого-либо элемента или связи приводит к изменению многих элементов системы (пример — поточно-механизованная линия производства хлебобулочных изделий). В таких системах возможно наличие нескольких разных структур, нескольких разных целей. Однако конкретное состояние сложной системы можно описать.

**Очень сложные системы** — это такие системы, состояние которых по различным причинам до сих пор не удается подробно описать (пример — Солнечная система в мировом пространстве).

Связью в кибернетике являются процессы получения информации, ее хранения и передачи. Различают два вида связи: прямую и обратную.

**Прямая связь** — связь, определяющая воздействие на объект управления, вид соединения элементов системы управления, при котором входное воздействие элемента *A* передается на вход какого-либо элемента *B* (рис. 2.2).

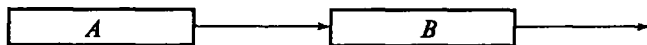


Рис. 2.2. Схема прямой связи

При управлении необходимо знать, как реагирует на управляющий сигнал объект управления, т. е. необходима обратная связь  $B$  с  $A$ .

**Обратная связь** — связь, позволяющая осуществить выбор управляющего воздействия в зависимости от состояния системы (рис. 2.3).

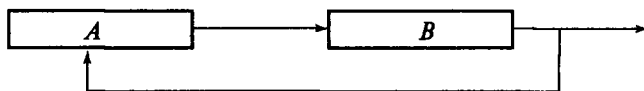


Рис. 2.3. Схема обратной связи

Элемент  $A$  связан каналами прямой и обратной связи с элементом  $B$ . По каналу обратной связи элемент  $A$  получает информацию об изменениях, происходящих в элементе  $B$  в результате влияния полученной от  $A$  информации. Таким образом, с помощью обратной связи получают сведения о результатах управляющих и внешних возмущениях на объект, при этом обеспечивают необходимые воздействия входных и выходных сигналов.

Идеал обратной связи состоит в том, чтобы использовать сами отклонения системы (объекта) от определенного состояния для формирования управляющего воздействия. Сигналы, поступающие по каналам обратной связи, обеспечивают регулирование состояния (деятельности) объекта.

Принцип обратной связи лежит в основе функционирования автоматических регулирующих систем в технике, природе, экономике и других областях.

В кибернетике принципы самоорганизации и саморегулирования являются основополагающими принципами, определяющими структуру систем, процессы управления в них и необходимую оптимальность функционирования.

### 2.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

**Технологическим процессом** называется последовательная смена во времени состояний комплекса производственного оборудования, материальных и энергетических потоков, способов обработки или переработки сырья, полуфабрикатов для изготовления готовой продукции.

Технологический процесс стремятся осуществить по наилучшему варианту из множества возможных, руководствуясь, в основном, логикой, опытом и интуицией проектировщиков и эксплуатационников. Если выбор варианта основан только на этом,

то нет оснований утверждать, что он оптимален. Данный выбор необходимо подтвердить более строгими методами. При этом следует рассмотреть, количественно и качественно оценить большое множество вариантов, имеющихся при проектировании и проведении технологических процессов. Эту задачу можно решить с помощью теории оптимизации, методов и средств математического моделирования, используя для этого системный подход в исследовании и проектировании технологических процессов как объектов управления.

**Под технологическими объектами управления (ТОУ)** понимают совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по соответствующим регламентам и инструкциям технологического процесса производства.

**Технологическая установка** — это совокупность нескольких взаимосвязанных аппаратов и машин, в которых выполняется определенная технологическая операция. Примерами могут быть операции приготовления жидких полуфабрикатов (приготовление закваски, активированных дрожжей, растворов соли, сахара и др.).

**Технологическая линия** может содержать ряд технологических установок, агрегатов и аппаратов, в которых осуществляется несколько технологических процессов (например, линия тестоприготовления, производство вафель, печенья и др.).

На стадии проектирования систем управления технологическими процессами ТОУ необходим тщательный анализ. Он должен быть системным, обуславливающим исследование технологического процесса по техническому оснащению и внедрению новых технологий, качеству сырья и готовой продукции, организации управления процессом.

В ходе анализа изучают технологические процессы конкретного производства, определяют величины (параметры), характеризующие процесс, выявляют взаимосвязи между ними.

Совокупность действий (операций) над исходным сырьем, полуфабрикатами или ингредиентами продуктов и продуктами, а также технологические процессы как набор последовательных действий и явлений можно рассматривать согласно теории систем как технологические объекты или технологии (ТЕХ).

Как правило, современные ТЕХ состоят из взаимосвязанных совокупностей чередующихся во времени технологических процессов, их хронологических последовательностей.

Эти технологии обладают определенными структурами, входами и выходами, влияющими на них факторами, а также управляющими воздействиями в целях оптимизации их действий и получения продукта стандартного качества.

Это позволяет производить их математическое моделирование для поиска приемлемых, а иногда наилучших (оптимальных) критериев управления.

Все входы и выходы ТЕХ образованы материальными, финансовыми и информационными потоками данных. Посредством этих потоков конкретная ТЕХ<sub>1</sub> связывается с другими технологиями ТЕХ<sub>2</sub>, ТЕХ<sub>3</sub>,..., в том числе и с потребителями (потребительским рынком). При этом следует различать операционные (вход, выход) и управляющие (управление) потоки данных.

По входу и выходу состояние ТЕХ характеризуется ее основными техническими показателями, совокупность которых (например, из  $N$  показателей) и образует операционные потоки данных (количество сырья, полуфабрикатов, готовой продукции различного типа; их общие технологические параметры и параметры состава и свойств, а также важнейшие экономические показатели). Схема объекта управления приведена на рис. 2.4.

В общем случае компоненты потоков, например входных данных, составят согласно  $N$ -пространству вектора  $Xt$  ( $x_{1t}$ ,  $x_{2t}$ , ...,  $x_{nt}$ ) состояние ТЕХ, зависящей от дискретного времени  $\Delta\tau^*t$ , где  $t = 0, 1, 2, \dots, T$ , а  $\Delta\tau$  — основная единица времени существенного изменения состояния ТЕХ (квант времени), т. е.  $Yt = F(Xt, t)$ .

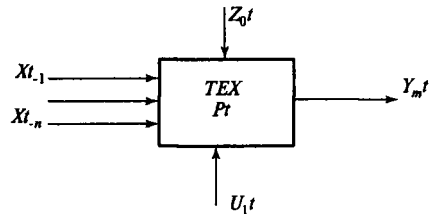


Рис. 2.4. Параметрическая схема объекта управления

Структуру ТЕХ можно описать  $M$ -мерным пространством вектора  $Pt = (P_{1t}, P_{2t}, \dots, P_{Mt})$  внешних и внутренних (определяемых потребителем рынком) структурных параметров, изменяющихся со временем (например, параметры технологического оборудования, коэффициенты уравнений физико-химических, микробиологических, ферментативных и других процессов; себестоимость продукции, ее рыночная цена и т. п.). При этом текущее состояние ТЕХ (состояние в данный  $t$ -й момент времени) будет функцией как ее внешних и внутренних структурных параметров, так и времени, т. е.  $Yt = F(X, P, t)$ . При этом вектор структурных параметров либо не изменяется со временем, либо изменяется значительно медленнее вектора состояния.

Вектор состояния ТЕХ можно изменять с помощью дополнительного потока данных (управления), связанного с материальными, финансовыми и информационными ресурсами. Этому потоку данных управления ставят в соответствие  $L$ -мерное пространство векторов управления  $Ut = (u_{1t}, u_{2t}, \dots, u_{lt})$ . При этом текущая ТЕХ будет зависеть и от вектора управления, т. е.  $Yt = F(Xt, Pt, Ut, t)$ .

В общем случае, когда вектор управления воздействует не только на состояние, но и структуру ТЕХ, следует рассматривать их совместную динамику, т. е.  $Yt = F_1(Xi, Pi, Ui, t) = F_2(Ui, t)$ .

На практике обычно сначала изменяют структуру, а затем управляют состоянием ТЕХ при не зависящей от управления структуре.

Для полного описания необходимо ввести  $Q$ -мерное пространство векторов  $Zt = (z_{1t}, z_{2t}, \dots, z_{Qt})$  неконтролируемых возмущений или так называемых *помех*, действующих на ТЕХ.

Помехи создают ситуации **информационной неопределенности** ТЕХ. Физическая природа помех и механизмы их воздействия на ТЕХ могут быть разнообразными. Согласно системному подходу, возможно выделить следующие типы воздействия на структурные параметры ТЕХ ( $Zt \equiv \delta Pt, Pt \rightarrow Pt + \delta Pt$ ): воздействие на поток управляющих данных ( $Ut \equiv \delta Ut, Ut \rightarrow Ut + \delta Ut$ ); примешивание к вектору состояния объекта управления ( $Xt \equiv \delta Xt, Xt \rightarrow Xt + \delta Xt$ ). В общем случае возможно совместное воздействие помех на ТЕХ в целом. Поэтому текущее состояние ТЕХ будет зависеть как от контролируемых, так и неконтролируемых величин, т. е.  $Yt = F(X, P, Ui, t/Z)$ . Так как поток помех является случайным или неопределенным процессом, то и поток состояний ТЕХ также случайный или неопределенный процесс — процесс при условии наличия помех.

## 2.4.СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Теория автоматического регулирования (ТАР) является основной частью теории управления. Система автоматического регулирования (САР) состоит из объекта регулирования, датчика и автоматического регулятора (рис. 2.5).

На САР действуют некоторые внешние факторы, которые стремятся вывести ее из равновесного состояния. Эти факторы

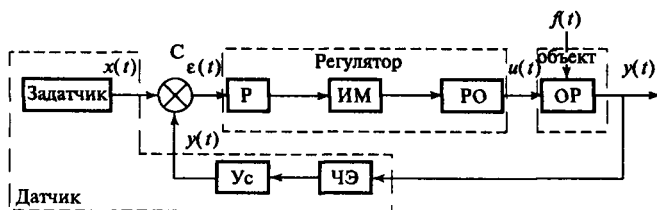


Рис. 2.5. Блок-схема системы автоматического регулирования:

С — сумматор; Р — регулятор; ИМ — исполнительный механизм; РО — регулирующий орган; ОР — объект регулирования; ЧЭ — чувствительный элемент; Ус — усилитель-преобразователь

называются возмущениями  $f(t)$ . Возмущения бывают: ступенчатые, импульсные, гармонические, стохастические, «белый шум».

Целью САР является поддержание постоянной некоторой величины (параметра), характеризующей процесс или изменение ее по заданному закону (алгоритму), при котором регулируемая величина мало отличается от заданного значения.

Существуют три принципа построения САР, обеспечивающих реализацию требуемого закона изменения регулируемой величины:

- по разомкнутому циклу (принцип Понселе, по возмущению);
- по замкнутому циклу (принцип Ползунова—Уатта, по отклонению);
- по комбинированному циклу (по замкнуто-разомкнутому принципу).

### Сущность принципа Понселе

Регулирование по возмущению или по компенсации основано на том, что из совокупности возмущений  $f(t)$ , действующих в системе, выбирает одно, главное, на которое реагирует САР. При этом компенсируется влияние на регулируемый параметр  $y(t)$  только основного возмущающего воздействия и регулирующее воздействие  $u(t)$  формируется в САР согласно результатам измерения главного возмущающего фактора, действующего на объект (рис. 2.6).

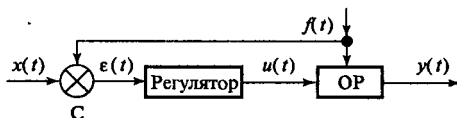


Рис. 2.6. Блок-схема САР по возмущению:

$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t) \text{ — рассогласование}$$

Достоинство этого принципа в том, что влияние возмущающего воздействия  $f(t)$  может быть устранено до того, как произойдет отклонение регулируемого параметра, вследствие воздействия регулятора на объект. Регулируемый параметр  $y(t)$  на выходе объекта не связан со входом регулятора. Регулирующее воздействие  $u(t)$  не зависит ни от протекания (хода) процесса в объекте, ни от регулируемого параметра, а формируется лишь возмущающимся воздействием и законом управления, реализуемым регулятором.

## Сущность принципа Ползунова—Уатта

Регулирование по отклонению базируется на том, что любое отклонение регулируемого параметра  $y(t)$  от его заданного значения  $x(t)$  обуславливает формирование регулирующего воздействия  $u(t)$  независимо от количества, вида и места приложения возмущений (рис. 2.7).

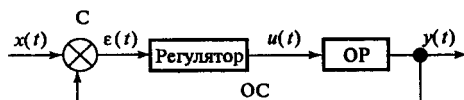


Рис. 2.7. Блок-схема САР по отклонению:  
ОС — обратная связь

Регулируемый параметр  $y(t)$  сравнивается с заданным значением  $x(t)$ , определяется разность (рассогласование)  $\varepsilon(t) = x(t) - y(t)$ , и регулятор вырабатывает регулирующее воздействие  $u(t)$ , т. е. для формирования регулирующего воздействия необходимо наличие ошибки, что является недостатком.

**Комбинированный (замкнуто-разомкнутый) принцип** регулирования по отклонению и по возмущению сочетает достоинства и

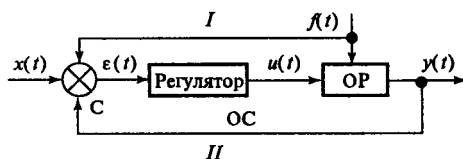


Рис. 2.8. Блок-схема комбинированной САР

недостатки описанных выше принципов (рис. 2.8).

В комбинированной САР воздействие по нагрузке  $f(t)$  обеспечивает немедленное формирование регулирующего воздействия  $u(t)$  согласно изменениям нагрузки (контур  $I$ ) и по отклонению (контур  $II$ ), для устранения погрешностей, возникающих в результате неточности регулирования по нагрузке.

**Регулятор (Р)** — автоматическое устройство, реагирующее на отклонения регулируемого параметра от заданного значения и изменяющее приток вещества или энергии в реализуемый объект для поддержания равновесного состояния. Регулятор состоит из измерительного и управляющего устройств, исполнительного механизма, регулирующего органа и линии связи.



**Измерительное устройство (датчик)** воспринимает измерение регулируемого параметра с помощью чувствительного элемента (ЧЭ), преобразует и усиливает полученное сформированное воздействие при помощи усилителя-преобразователя (Ус) для управления последующими элементами регулятора.

**Управляющее устройство (регулятор)** предназначено для восприятия воздействия от измерительного устройства, сравнивает его с воздействием от задающего элемента (задатчика) в сумматоре (С) и вырабатывает сигнал (рассогласование), пропорциональный заданному значению регулируемого параметра. Управляющее устройство усиливает полученную разность (рассогласование) и управляет подачей вещества или энергии с помощью исполнительного механизма.

**Исполнительный механизм** предназначен для перемещения регулирующего органа (РО) под воздействием сигнала рассогласования, полученного от управляющего устройства.

**Регулирующий орган** служит для воздействия на объект регулирования (ОР) посредством увеличения или уменьшения подачи вещества или энергии в объект.

Для обеспечения необходимого воздействия регулятора на регулируемый объект в переходном процессе, т. е. для перехода от старого установившегося состояния процесса к новому, предназначены обратные связи. В переходном процессе регулятор не всегда может обеспечить необходимый характер изменения регулируемого параметра, что обуславливает наличие перерегулирования, т. е. большого отклонения регулируемого параметра от заданного значения, что недопустимо для оптимального протекания процесса. Обратная связь стабилизирует процесс в переходной период. Следовательно, управляющее устройство одновременно находится под воздействием измерительного и задающего устройств, а также обратной связи. Воздействие, которое получает регулятор от объекта посредством измерительного устройства, называется *главной* или *внешней обратной связью*. Кроме этого, имеются внутренние обратные связи, позволяющие менять характеристику регулятора. Внутренние обратные связи бывают положительные и отрицательные.

**Положительная обратная связь** действует на предыдущий элемент системы с тем же знаком, с которым на него производится основное воздействие от измерительного устройства. Эффект положительной связи заключается в усилении действующего основного сигнала.

**Отрицательная обратная связь** действует со знаком, противоположным знаку основного воздействия. Такая связь обеспечивает большую устойчивость системы, значительно уменьшает инерци-

онность, увеличивает степень затухания, изменяет динамическую характеристику переходного периода.

В свою очередь, обратные связи бывают жесткими и гибкими (упругими).

**Жесткая обратная связь** передает импульс, пропорциональный выходной величине. Введение такой связи приводит к формированию статической системы регулирования со статической ошибкой, но при этом имеет место быстрое затухание колебаний параметров системы в переходной период.

**Гибкая обратная связь** передает импульс, пропорциональный скорости изменения выходной величины. Эта связь при установленном режиме работает так же, как и системы без обратных связей, что обеспечивает системе астатическое регулирование, т. е. в этом случае отсутствует статическая ошибка. В переходной период гибкая обратная связь уменьшает колебания, но медленнее, чем при жесткой обратной связи.

В регуляторах может использоваться синтез гибкой и жесткой обратных связей, что формирует гибкую изодромную связь. Эта связь обеспечивает устойчивое регулирование системы без статической ошибки.

**Жесткая обратная связь** формируется рычажной, рычажно-пневматической, рычажно-гидравлической, лекальной, электрической мостовой, электронной и другими устройствами.

**Гибкая обратная связь** может создаваться в сильфоно-пневматической системе сильфонами и рычагом обратной связи, действующим на дроссельную заслонку; в электрической мостовой системе — резисторами (сопротивлениями), которые подогреваются нагревателями.

Любая САР состоит из 2-х основных элементов: объекта регулирования и регулятора.

**Объект регулирования** — машина, аппарат или другая структура, где протекает некоторый технологический процесс. В зависимости от структуры они (ОР) подразделяются на одномерные — имеют по одной входной и одной выходной переменной (например, сборник воды) и многомерные — имеют число векторов входных и выходных переменных более единицы (например, два последовательно соединенных сборника воды).

Основными свойствами объектов регулирования являются: емкость объекта, самовыравнивание, время разгона объекта и запаздывание.

**Емкость объекта** — способность объекта аккумулировать вещество или энергию.

**Самовыравнивание** — свойство объекта регулирования после внесения возмущения (например, нарушение равновесия между

притоком и расходом вещества) самостоятельно, без участия человека или регулятора, переходить в новое равновесное состояние. Самовыравнивание способствует более быстрой стабилизации регулируемой величины и, следовательно, облегчает функционирование регулятора.

**Объекты регулирования, обладающие свойством самовыравнивания, называются статическими, а не обладающие этим свойством — астатическими.**

В установившемся режиме, при определенной подаче топлива, давление пара в барабане котла  $P_0$ . При увеличении топлива оно увеличилось и стало равным  $P_1$ , т. е. снова достигнут установившийся режим, но уже на новом уровне. Это новое положение равновесия после возмущения в определенных пределах может быть достигнуто без регулятора (рис. 2.9).

К объекту без самовыравнивания можно отнести уровень воды в барабане котла (рис. 2.10). При резком увеличении подачи питательной воды в барабан котла ее уровень ( $H$ ) в барабане возрастет. Расход пара из котла останется прежним, а приток воды продолжается, поэтому уровень  $H$  растет.

**При наличии самовыравнивания (статический объект) работа регуляторов облегчается, а при отсутствии его (астатический объект) устойчивое функционирование системы без регулятора невозможно.**

Мерой емкости объекта без самовыравнивания является время разгона объекта  $T_p$ , под которым понимается время, в течение которого значение регулируемого параметра изменится от нуля

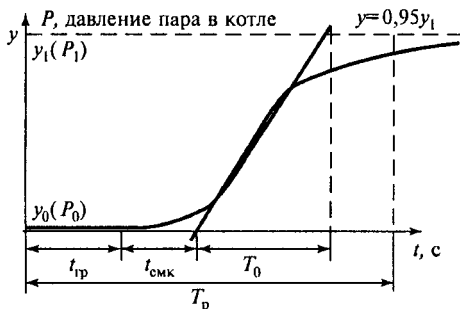


Рис. 2.9. Кривая разгона статического объекта. Объект регулирования — барабан

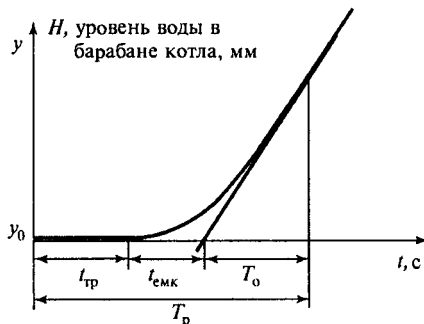


Рис. 2.10. Кривая разгона астатического объекта. Объект регулирования — барабан котла

до нормального при наибольшем дисбалансе между притоком и расходом среды. Величина, обратная времени разгона, пропорциональна скорости разгона объекта:  $\epsilon = 1/T_p(1/c)$ .

**Мерой емкости объекта с самовыравниванием является постоянная времени разгона  $T_0$**  — это время, в течение которого регулируемый параметр изменяется с постоянной скоростью от нуля до номинального значения (см. рис. 2.9). Для объекта без самовыравнивания значения времени разгона  $T_p$  и постоянной времени  $T_0$  могут совпадать.

**Коэффициент самовыравнивания ( $\rho$ )** служит для количественной оценки явления. Он показывает, в какой степени отклонение параметра влияет на небаланс:  $\rho = Y/X$ , где  $X$  — количественный показатель возмущения;  $Y$  — количественный показатель регулируемой величины.

Для объектов с самовыравниванием чаще пользуются величиной, обратной коэффициенту самовыравнивания, которая называется коэффициентом усиления объекта  $K_p$ , причем  $K_p = 1/\rho$ .

В системах автоматического регулирования после получения возмущающего воздействия (скачкообразно нарушен приток или расход) регулируемый параметр изменяется не мгновенно, а через некоторое время. **Это время называется запаздыванием процесса в объекте.** Различают емкостное и транспортное (передаточное) запаздывание.

*Емкостное запаздывание* зависит от емкости объекта регулирования (уровень воды в барабане котла обладает емкостным запаздыванием).

**Время между перемещением регулируемого органа в результате полученного сигнала и началом изменения регулируемого параметра называется транспортным запаздыванием** (например, чтобы увеличить давление пара в барабане котла, необходимо перемещать регулирующий орган подачи топлива в топку котла), т. е. время запаздывания складывается из времени сжигания топлива, передачи теплоты экранными трубами, парообразования в них, подъема пара в паровую часть барабана котла.

Время запаздывания  $\tau$  определяется по величине отрезка от момента нанесения скачкообразного возмущения до точки пересечения касательной с осью времени (см. рис. 2.9). Чем больше время полного запаздывания, тем труднее регулировать такой процесс.

Наибольшим запаздыванием обладают объекты, в которых регулируется температура, а наименьшим — объекты, в которых поддерживается нагрузка.

Для оценки регулируемости объекта используется отношение  $\tau/T_0$  — степень трудности регулирования объекта. Эта величина равняется переходному отклонению регулируемого параметра в % от заданного значения, при этом величина внешнего регулирующего воздействия составляет 1% от диапазона регулирования (табл. 1).

Таблица 1

Степень трудности регулирования объекта

Диапазон степени трудности регулирования объекта	Характеристика объекта
0—0,1	Очень хорошо регулируемый
0,1—0,2	Хорошо регулируемый
0,2—0,4	Еще регулируемый
0,4—0,8	Трудно регулируемый
0,8	Очень трудно регулируемый

При выборе регулятора, параметров его настройки, закона регулирования и анализе качества регулирования с учетом статических и динамических характеристик объекта целесообразно использовать математические модели (ММ), т. е. математические абстракции, характеризующие объект (систему) регулирования, в которых используют символьные и иконографические формы математического описания.

В математических моделях используют символьные и иконографические формы математического описания. Символьные модели представляют собой совокупность формул, уравнений, операторов, логических условий, неравенств и т. п. Иконографические модели — это графы, структурные схемы, которые формируют наглядное графическое отображение свойств объекта (системы), что значительно облегчает синтез и анализ систем управления. Сочетание символьного и иконографического описаний наиболее полно характеризуют ММ объекта (системы) управления.

Свойства большинства систем управления ТП изменяются относительно медленно, что позволяет использовать для их описания линейные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами. Уравнения этого типа в ТАУ обычно записывают в символьной (операторной) стандартной форме, при этом все члены, содержащие выходную координату, группируют в левой части, члены с входными переменными — в правой части уравнения. Переход от обычной формы дифференциального уравнения к символьной состоит в замене символа дифференциального уравнения оператором  $p = \frac{d}{dt}$ . При переходе к стандартной форме

записи уравнение преобразуют таким образом, чтобы коэффициент выходной величины был равен единице. В этом случае коэффициент перед входной величиной будет равен коэффициенту передачи, а коэффициенты при производных имеют размерность времени в степени, равной порядку соответствующей производной. Например, рассмотрим линейное дифференциальное уравнение второго порядка

$$a_2 d^2 y(t)/dt^2 + a_1 dy(t)/dt + a_0 y(t) = b_1 dx(t)/dt + b_0 x(t). \quad (2.1)$$

Используя оператор дифференцирования  $p = d/dt$ , запишем уравнение в операторной форме

$$(a_2 p^2 + a_1 p + a_0) y(t) = (b_1 p + b_0) x(t). \quad (2.2)$$

При преобразовании дифференциальных уравнений, записанных в символьной форме, оператор  $p$  можно рассматривать как алгебраический сомножитель, а выражение  $py$  как произведение. Поэтому уравнение в стандартной форме имеет вид

$$(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1) y(t) = K(\tau p + 1) x(t), \quad (2.3)$$

где  $T_2^2 = a_2/a_0$ ;  $T_1 = a_1/a_0$ ;  $\tau = b_1/b_0$ , постоянные  $T_2$ ,  $T_1$ ,  $\tau$  имеют размерность времени и называются постоянными времени; они характеризуют динамические свойства элементов объекта (системы);  $K$  — коэффициент передачи.

В теории автоматического управления под  $p$  понимают оператор связи между функциями входных и выходных сигналов объектов управления, систем управления или их элементов. В статических режимах оператор связи вырождается в функцию. Вид оператора без конкретизации значений коэффициентов, входящих в них, определяет структуру математической модели (ММ). Обозначить оператор системы — значит установить правило определения выходного сигнала этой системы по ее входному сигналу.

Построение модели объекта управления является главной задачей при разработке системы управления. Она является основой для выбора структуры, алгоритма управления и параметров настройки системы управления. Математическую модель любой части системы обозначают *звеном*. Графическое изображение ММ в виде звеньев, соединенных между собой связями (линиями со стрелками), в теории автоматического управления называется *структурной схемой*. Звено принято изображать в виде прямоугольника, в контур которого вписывают оператор, отражающий динамику преобразования входного сигнала в выходной, в форме передаточной функции  $W(p)$ . Обозначения входных, промежуточных и выходных переменных, возмущающих и управляющих воз-

действий записывают над линией или с правой стороны линии, показывающей место приложения соответствующего сигнала. Промежуточные переменные — это координаты, связывающие отдельные звенья структурной схемы. Суммирующие элементы (сумматоры) изображают в форме круга, разделенного на секторы.

Математическое описание элементов системы автоматического управления (САУ) различного принципа действия, конструктивного исполнения и функционального назначения можно осуществить с помощью ограниченного числа элементарных звеньев.

Элементарные звенья — это простые множители, входящие в состав передаточной функции системы или ее части.

К типовым звеньям относят устойчивые элементарные звенья. Практическое применение в основном имеют нижеследующие звенья:

Тип звена	Передаточная функция $W(p)$ звена
апериодическое (1-го порядка)	$W(p) = K/Tp + 1$
апериодическое (2-го порядка), колебательное	$W(p) = K/T_1^2 p^2 + T_1 p + 1$
пропорциональное (усилительное, форсирующее)	$W(p) = K$
интегрирующее	$W(p) = 1/Tp$
дифференцирующее	$W(p) = Kp$

К типовым соединениям относят последовательное, параллельное и параллельно-встречное (с обратной связью) соединения звеньев. На рис. 2.11 приведены типовые соединения звеньев.

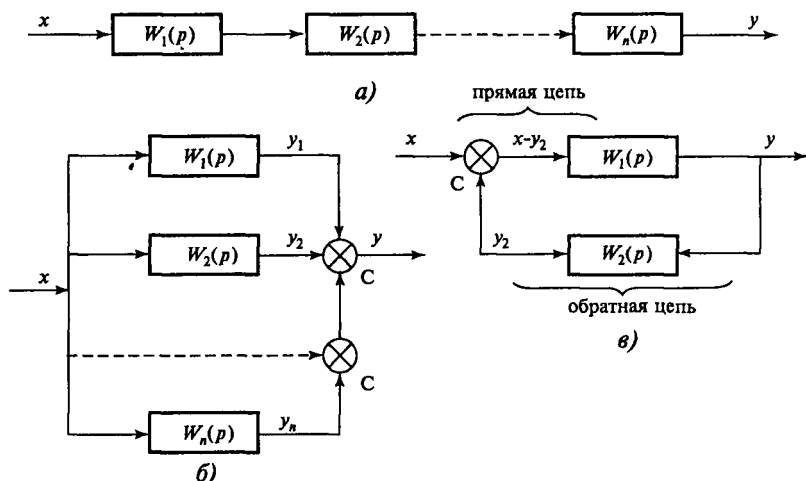


Рис. 2.11. Типовые соединения звеньев:

а) — последовательное; б) — параллельное; в) — параллельно-встречное

Последовательно соединенные звенья  $W_1(p), \dots, W_n(p)$  можно заменить одним звеном (рис. 2.11, а), с передаточной функцией  $W(p)$ , равной произведению передаточных функций отдельных звеньев

$$W(p) = W_1(p), \dots, W_n(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p). \quad (2.4)$$

Эквивалентная передаточная функция  $W(p)$  параллельно включенных звеньев  $W_1(p), \dots, W_n(p)$  равна их сумме (рис. 2.11, б)

$$W(p) = W_1(p) +, \dots, + W_n(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p). \quad (2.5)$$

В соединениях с обратной связью (рис. 2.11, в) различают прямую и обратную цепи. Прямая цепь — это участок системы (схемы) по ходу передачи сигнала от входного воздействия  $x$  к выходной координате  $y$ .

Обратная цепь — участок системы по ходу передачи сигнала от  $y$  к  $x$ . В данной схеме  $W_1(p)$  образует прямую, а  $W_2(p)$  — обратную цепи. Произведение передаточных функций прямой и обратной цепей образует передаточную функцию разомкнутой цепи  $W(p)$ , т. е.

$$W(p) = W_1(p)W_2(p). \quad (2.6)$$

Передаточная функция системы с отрицательной обратной связью имеет вид

$$W_{yx}(p) = W_1(p)/[1 + W_1(p)W_2(p)] = W_1(p)/[1 + W(p)]. \quad (2.7)$$

Система с обратной связью является замкнутой. Замкнутые системы могут быть одно- и многоконтурными. Многоконтурные системы — это системы, в которых помимо главной обратной связи имеют место местные, т. е. охватывающие отдельные элементы, обратные связи, последовательное или параллельное соединения.

Специфика производства продуктов питания требует совершенствования систем автоматического регулирования процессов в аппаратах, агрегатах и установках. Это технологическое оборудование составляют сложные объекты управления со значительным временем запаздывания, ярко обозначенными критическими границами, вблизи которых необходимо вести процесс с переменными параметрами. Однако применение программно-технических методов и средств при разработке и внедрении рациональных систем автоматического регулирования отвечает требованиям повышения качества продукции, гарантирует функциональную надежность оборудования и обеспечивают эффективность производства.



Значительная часть используемых систем относится к классу замкнутых автоматических систем регулирования по отклонению (систем с обратной связью). Широкое применение получили также системы стабилизации режимных параметров технологических агрегатов и установок. Блок-схема замкнутой автоматической системы регулирования по отклонению приведена на рис. 2.12.

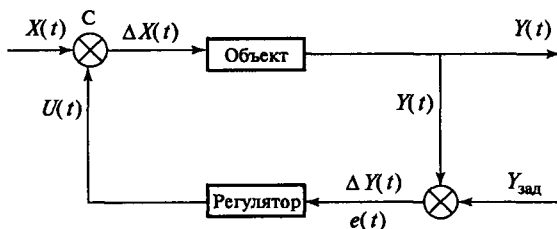


Рис. 2.12. Блок-схема замкнутой автоматической системы регулирования по отклонению:

$X(t)$  — входное воздействие;  $Y(t)$  — регулируемая величина;  $Y_{зад}$  — заданная величина;  $\Delta Y(t)$  — отклонение регулируемой величины от заданного значения;  $U(t)$  — регулирующее воздействие

Технологические требования к системе автоматического регулирования для этих объектов сводятся к ограничениям величины допустимых отклонений параметров от их заданных значений, а также продолжительности процесса регулирования, — времени, за которое регулируемая величина возвращается после возмущающих воздействий к заданному значению.

В простейшем случае система автоматического регулирования должна обеспечить выполнение условий

$$Y_i \leq Y_{идон}; \quad tp_i \leq tp_{идон}, \quad (2.8)$$

где  $Y_i$ ,  $tp_i$  — соответственно отклонение и время регулирования  $i$ -й регулируемой величины; индекс «дон» обозначает допустимую величину.

Для большинства объектов регулирования пищевой технологии удовлетворительным является переходный процесс с 20%-ным перерегулированием.

Для оценки качества регулирования в переходных режимах в большинстве случаев применяют величину среднеквадратичного отклонения

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T_u} \int_0^T \Delta y^2 dt}, \quad (2.9)$$

где  $T_u$  — время интегральной составляющей, при  $Y = Y(t) - Y_{зад}$ , а  $Y(t)$  рассматривается как случайный стационарный процесс.

Практически критерий (2.8) отражает требование  $Y(t) \rightarrow Y_{зад}$  или  $\Delta Y(t) \rightarrow 0$ .

Замкнутые автоматические системы регулирования пищевых объектов могут быть реализованы и по возмущению.

Для большого класса технологических процессов применяется принцип автоматического регулирования по разомкнутому циклу — принцип следящего и программного управления, когда выбранный закон регулирования обеспечивает получение заданной выходной переменной. Для сложных процессов используют комбинированный принцип, когда заданный по программе закон регулирования корректируется по состоянию технологического процесса.

При выборе регулятора, параметров его настройки и анализе качества регулирования структурную схему САР целесообразно привести к виду, представленному на рис. 2.13, что идентично САР (см. рис. 2.12).

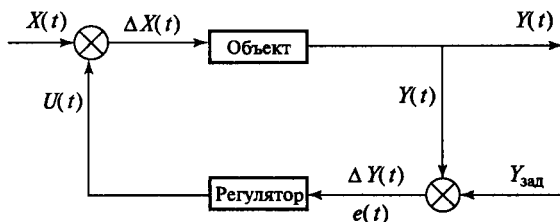


Рис. 2.13. Структурная схема одноконтурной САР:

$X(t)$  — входное воздействие;  $Y(t)$  — регулируемая величина;  $Y_{зад}$  — заданная величина;  $\Delta Y(t)$  или  $e(t)$  — величины рассогласования;  $U(t)$  — регулирующее воздействие

Одноконтурная САР обеспечивает регулирование одной переменной с помощью стандартного регулятора. В этом случае динамические характеристики САР определяются передаточными функциями, связывающими выходную переменную объекта  $Y(t)$  с задающим воздействием  $X(t)$ .

Пропорциональный (П) закон регулирования, реализуемый одноконтурной САР, имеет вид

$$W(p) = -K_p, \quad (2.10)$$

Изодромный (ПИ) закон регулирования, реализуемый одноконтурной САР, имеет вид

$$W(p) = -K_p[1 + (1/T_u)p]. \quad (2.11)$$

ПИД — закон регулирования, реализуемый одноконтурной САР, имеет вид

$$W(p) = -K_p[1 + (1/T_u)p + T_n p]. \quad (2.12)$$

Одноконтурная САР обеспечивает устойчивое и качественное регулирование объектов с сосредоточенными параметрами и обладающими малыми инерционностью и запаздыванием.

## 2.5. КАСКАДНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Если объект регулирования распределенный, инерционный, подвержен воздействию значительных возмущений, то необходимое качество регулирования можно достичь совершенствованием информационной структуры системы управления. Для этого в регулятор вводят дополнительные сигналы, характеризующие возмущения или величины, которые определяют возмущения состояния объекта, это реализуется системой компенсации или системой с добавочными информационными обратными связями.

Системы регулирования с двумя информационными каналами, один из которых служит для стабилизации основного выхода объекта, а другой — для регулирования вспомогательной координаты в соответствии с заданием, поступающим от регулятора основного контура, называется каскадной. В них для управления используют один регулирующий орган (РО).

Каскадные системы применяют для управления объектов, обладающих значительной инерционностью по каналу регулирования. В этом случае в систему регулирования (рис. 2.14) включают два регулятора — основной (внешний), служащий для стабилизации основного выхода объекта  $Y(t)$ , и вспомогательный (внутренний), предназначенный для регулирования вспомогательной координаты  $Y_1(t)$ . Заданием для вспомогательного регулятора служит выходной сигнал основного регулятора  $U_1(t)$ .

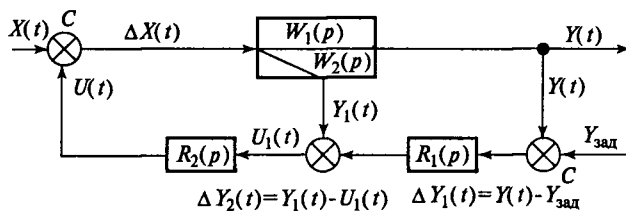


Рис. 2.14. Структурная схема каскадной САР:

$R(p)$  — основной регулятор;  $R_2(p)$  — вспомогательный регулятор;  $\Delta Y_1(t) = Y(t) - Y_{зад}$  — рассогласование поступающее на основной регулятор;  $\Delta Y_2(t) = Y_1(t) - U_1(t)$  — рассогласование, поступающее на вспомогательный регулятор

Выбор законов регулирования определяется назначением регуляторов.

— Для поддержания основной выходной координаты  $Y(t)$  на заданном уровне без статической ошибки закон регулирования основного регулятора должен включать интегральную составляющую.

— От вспомогательного регулятора требуется, в основном, быстроедействие, поэтому он может иметь любой закон регулирования (например, пропорциональный, наиболее простой и достаточно быстроедействующий).

В каскадной САР повышается качество переходного процесса вследствие более высокого быстроедействия вспомогательного контура регулирования, особенно при компенсации возмущений, поступающих по каналу регулирования.

При расчете каскадной САР определяют настройки основного и вспомогательного регуляторов при заданных динамических характеристиках объекта по основному и вспомогательному каналам.

Настройки основного и вспомогательного регуляторов взаимозависимы, и расчет их проводят методом итераций (пошаговое приближение).

На каждом шаге итерации рассчитывают эквивалентную одно-контурную САР, в которой один из регуляторов условно относят к эквивалентному объекту. Эквивалентный объект для основного регулятора (см. рис. 2.14) представляет собой последовательное соединение замкнутого вспомогательного контура и основного канала регулирования, передаточная функция которого имеет вид.

$$W_1^3(p) = [-R_2(p) / 1 - W_2(p)R_2(p)]W_1(p). \quad (2.13)$$

Эквивалентный объект для вспомогательного регулятора (см. рис. 2.14) является параллельным соединением вспомогательного канала и основной замкнутой системы. Его передаточная функция имеет вид

$$W_2^3(p) = W_1(p) - W_2(p)R_1(p). \quad (2.14)$$

В зависимости от первого шага итерации различают два метода расчета каскадных САР.

При первом методе расчет начинают с основного регулятора. Метод используют в тех случаях, когда инерционность вспомогательного канала намного меньше, чем основного.

На первом шаге принимают допущение в том, что рабочая частота основного контура ( $\omega_{p1}$ ) намного меньше, чем вспомогательного ( $\omega_{p2}$ ), и при  $\omega = \omega_{p1}$

$$1/|R_2(i\omega)| \ll |W_2(i\omega)|. \quad (2.15)$$

Тогда

$$W_1^{30}(\mathbf{p}) = (-1/R_2(\mathbf{p}) - W_2(\mathbf{p}))W_1(\mathbf{p}) \equiv W_1(\mathbf{p})/W_2(\mathbf{p}). \quad (2.16)$$

Таким образом, в первом приближении настройка  $S_1$  основного регулятора  $R_1(\mathbf{p})$  не зависит от  $R_2(\mathbf{p})$  и определяется по  $W_1^{30}(\mathbf{p})$ .

На втором шаге рассчитывают настройки вспомогательного регулятора для эквивалентного объекта (2.14) с передаточной функцией  $W_2^3(\mathbf{p})$ , в которую подставляют  $R_1(\mathbf{p}, S_1)$ .

В случае приближенных расчетов ограничиваются первыми двумя шагами. При точных расчетах их продолжают до тех пор, пока настройки регуляторов, определенные в двух последовательных итерациях, не совпадут с заданной точностью.

При втором методе расчет начинают со вспомогательного регулятора. На первом шаге принимают, что основной регулятор отключен, при этом считают  $R_1(\mathbf{p}) = 0$  и  $W_1^{30}(\mathbf{p}) = W_2(\mathbf{p})$ .

Таким образом, в первом приближении настройки вспомогательного регулятора находят по эквивалентной одноконтурной САР для вспомогательного канала регулирования, т. е. определяют эквивалентный объект вспомогательного регулятора. На втором шаге рассчитывают настройки основного регулятора по передаточной функции эквивалентного объекта  $W_1^{31}(\mathbf{p})$  с учетом  $R_2(\mathbf{p}, S_1^1)$ . Для уточнения настроек вспомогательного регулятора расчет проводят по передаточной функции (2.14)  $W_2^{31}(\mathbf{p})$ , в которую подставляют  $R_1(\mathbf{p}, S_1^2)$ . Расчеты проводят до тех пор, пока настройки вспомогательного регулятора, определенные в двух последовательных итерациях, не совпадут с заданной точностью.

**Пример.** Рассчитаем настройки регуляторов в каскадной САР для регулирования температуры в зоне пекарной камеры хлебопекарной печи с тэновым обогревом. Проведенный расчет дает передаточные функции и настройки регуляторов  $R_1$  и  $R_2$  по зонам пекарной камеры при  $Y_{до} = 215 \pm 0,5^\circ \text{C}$ :

$$W_1(\mathbf{p}) = (1,93/(1,7\mathbf{p} + 1)(1,6\mathbf{p} + 1))e^{-3\mathbf{p}}$$

$$R_1 : K\mathbf{p} = -1,89 \quad R_2 : K\mathbf{p} = -0,10$$

$$T_u = 6,29 \text{ — время изодрома.}$$

$$W_2(\mathbf{p}) = [25,42/(3,4\mathbf{p} + 1)(3,2\mathbf{p} + 1)]e^{-3\mathbf{p}}$$

$$R_1 : K\mathbf{p} = -0,46 \quad R_2 : K\mathbf{p} = -0,12$$

$$T_u = 10,67$$

$$W_x^2(\mathbf{p}) = [17,57/(4,83\mathbf{p} + 1)(4,64\mathbf{p} + 1)]e^{-3\mathbf{p}}$$

$$R_1 : K\mathbf{p} = -0,22 \quad R_2 : K\mathbf{p} = -0,215$$

$$T_u = 5,55$$

Передачная функция по вспомогательному каналу оказывается равной

$$W_{*}(p) = [2,28/(3,13p + 1)(3p + 1)]e^{-4p}.$$

Сравнительный анализ качества синтезированных систем позволяет сделать вывод о целесообразности использования каскадной САР. Она обеспечивает лучшее качество регулирования температуры в зонах пекарной камеры, а следовательно, и проведение процесса выпечки хлебобулочных изделий в оптимальном режиме. В качестве входного воздействия используются дополнительные группы ТЭНОВ, т. е. входное воздействие носит ступенчатый характер.

Управление температурным режимом в пекарной камере печи осуществляется с помощью программируемого контроллера типа КПС 19-06. Для его использования в алгоритм управления следует включить модулятор, основанный на функциональной зависимости

$$U^* = \text{Int} \{ M/U_{\text{max}} \cdot U(t) \},$$

где  $U^*$  — текущее значение дискретного управляющего воздействия (расчетное количество подключаемых ТЭНОВ);  $M$  — максимальное значение дискретного управляющего воздействия (количество ТЭНОВ в зоне);  $U(t)$  — текущее значение аналогового управляющего воздействия;  $U_{\text{max}}$  — максимальное значение аналогового управляющего воздействия;  $\text{Int}$  — целая часть.

## 2.6. ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

На практике с помощью аппроксимации динамических характеристик объектов типовыми зависимостями разнообразие требуемых алгоритмов регулирования можно свести к нескольким типовым законам (алгоритмам).

**Закон регулирования** — это математическая зависимость, с помощью которой определяется регулирующее воздействие  $u(t)$  по сигналу рассогласования  $e(t)$  (см. рис. 2.13). По характеру изменения регулирующего воздействия различают линейные и нелинейные, дискретные и непрерывные законы регулирования. Наибольшее применение имеют типовые линейные законы регулирования: пропорциональный (П), интегральный (И), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД). Эти регуляторы, работающие по данным законам, называют П-, И-, ПИ-, ПИД-регуляторами. Коэффициенты и постоянные времени, входящие в законы, называют параметрами настройки (уставками), которые позволяют обеспечить необходимый характер переходного процесса регулирования для объектов с различными динамическими свойствами. Кроме органов настройки, непосредственно воздействующих на параметры, входящие в закон регулирования, регуляторы имеют органы настройки, косвенно влияющие на режим работы САР, такие, как чувствительность регулятора, демпфирование входного сигнала и т. д.

По динамическим характеристикам П-регулятор является безинерционным звеном, коэффициент передачи которого  $K_p$  численно равен перемещению РО при единичном отклонении регу-

лируемой величины от заданного значения, т. е.  $u(t) = K_p e(t)$ , а передаточная функция

$$W(p) = K_p, \quad (2.17)$$

где  $K_p$  — коэффициент передачи.

Настроечный параметр этого регулятора представляют не в форме  $K_p$ , а в виде величины  $\delta$ , обратно пропорциональной коэффициенту передачи. Эту величину называют *степенью неравномерности* или *диапазоном дросселирования* (в пневматических регуляторах). Степень неравномерности, выраженная в процентах, характеризует степень отклонения регулируемой величины (в процентах от максимально возможной для данной САР), которая соответствует перемещению РО из одного крайнего положения в другое.

Главным достоинством П-регуляторов является простота их реализации и настройки. При наличии возмущающих воздействий регулятор быстро приводит в равновесное состояние (в основном) любой объект. При этом в них положение РО однозначно связано с отклонением регулируемого параметра от заданного значения, что обуславливает *статическую ошибку* — **основной недостаток П-регуляторов**.

По динамическим свойствам И-регулятор соответствует интегральному звену. Он перемещает РО пропорционально интегралу от отклонения регулируемой величины  $u(t) = K_p \int e(t) dt$ . Коэффициент передачи  $K_p$  равен скорости перемещения РО при отклонении регулируемой величины на единицу ее измерения. Интегральный регулятор перемещает РО до тех пор, пока регулируемая величина не достигнет заданного значения. САР с И-регулятором не имеет статической ошибки и является астатической. Передаточная функция И-регулятора имеет вид

$$W(p) = K_p / (T_u p), \quad (2.18)$$

где  $T_u$  — постоянная величина интегрирования (постоянная изодрома), равная времени, в течение которого выходной сигнал регулятора достигает значения входного сигнала.

И-регуляторы способны устойчиво регулировать лишь объекты, обладающие самовыравниванием. Для них характерна относительно невысокая скорость регулирования, при этом она обратно пропорциональна  $T_u$ .

И-регуляторы используют, в основном, для формирования более сложных законов регулирования, т. е. при построении ПИ- и ПИД-регуляторов.

ПИ (изодромные) регуляторы сочетают преимущества П- и И-регуляторов и обеспечивают устойчивое регулирование (без статической ошибки) большинства объектов. Устойчивость и простота регулирования обеспечили этому типу регуляторов широкое применение в промышленности.

ПИ-регулятор можно описать параллельным соединением пропорционального и интегрирующего или последовательным соединением интегрирующего и форсирующего звеньев.

В изодромном регуляторе после скачкообразного изменения сигнала рассогласования регулирующей орган под воздействием пропорциональной составляющей мгновенно переходит в новое положение, определяемое произведением  $K \cdot e$ , а затем под воздействием интегральной составляющей перемещается с постоянной скоростью  $Ke/T_u$ .

С ростом  $T_u$  влияние интегральной составляющей на процесс регулирования уменьшается. Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид

$$W(p) = K_p [1 + (1/T_u)p]. \quad (2.17)$$

По динамическим свойствам ПИД-регуляторы воздействуют на объект пропорционально отклонению регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины.

ПИД-регуляторы — это изодромные регуляторы с предварением, т. е. они реагируют не только на отклонение регулируемой величины от заданной, но и на тенденцию ее изменения. Структурно ПИД-регулятор можно представить как систему из 3-х параллельно включенных безинерционного, интегрирующего и дифференцирующего звеньев. Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид

$$W(p) = K_p (1 + (1/T_u)p + T_n p), \quad (2.18)$$

где  $T_u$  — постоянная предварения.

ПИД-регулятор при скачкообразном изменении регулируемой величины в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое по амплитуде воздействие на объект, затем величина воздействия уменьшается до значения, определяемого пропорциональной частью регулятора. Далее ПИД-регулятор по механизму воздействия на объект реализует функцию ПИ-регулятора. Наличие дифференцирующей составляющей улучшает эффект регулирования при действии на объект значительных переменных воздействий (нагрузок).

Инерционность элементов, используемых при построении регуляторов, не обеспечивает точного воспроизведения типовых за-



конов регулирования. Погрешность при формировании закона регулирования зависит и от схемы соединений элементов, входящих в регулятор.

В системах автоматического регулирования в качестве исполнительных механизмов широко используют электрические двигатели, которые можно рассматривать как интегрирующее звено. Для формирования П-регулятора электрический двигатель с усилителем охватывают жесткой обратной связью — безынерционным звеном. При этом параметром настройки регулятора является коэффициент передачи устройства обратной связи.

В изодромном регуляторе, в состав которого входит интегрирующий, исполнительный механизм (ИМ) может разрабатываться в нескольких вариантах. Если ИМ охватить жесткой обратной связью, то ПИ-регулятор можно получить, используя в усилителе обратную связь.

Обратная связь, содержащая дифференцирующее звено, называется гибкой обратной связью. Эта связь оказывает влияние на свойства системы только в переходном процессе. Если в САР электрический двигатель не охватывают обратной связью, то он выполняет функцию интегрирующего звена. При этом форсирующее звено формируют, охватывая усилитель апериодическим звеном.

ПИД-регулятор формируют, усложняя ПИ-регулятор специальным устройством — дифференциатором.

## 2.7. ВЫБОР ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ И РЕГУЛЯТОРОВ В САР

Вид и закон регулирования для САР выбирают на основании заданных требований к качеству регулирования и величин динамических параметров объектов регулирования.

Согласно упрощенной инженерной методике можно выбрать вид регулирования системы в зависимости от динамических свойств объекта регулирования: времени чистого запаздывания  $\tau$  и постоянной времени объекта регулирования  $T_0$ , т. е.  $K\tau = \tau/T_0$ , которое называется коэффициентом относительного запаздывания объекта регулирования.

При  $K\tau < 0,2$  рекомендуется двухпозиционное регулирование, при  $0,2 \leq K\tau \leq 1,0$  — непрерывное регулирование, при  $K\tau > 1,0$  — импульсное регулирование.

По упрощенной инженерной методике закон регулирования можно выбрать на основании взаимосвязи  $K\tau$  и  $Rq$  (величины динамического коэффициента регулирования и  $Rq = y_1/y_{\infty}$ , если  $y_1$  — максимально допустимая динамическая ошибка и  $y_{\infty}$  — установившееся значение регулируемого параметра без регулятора).

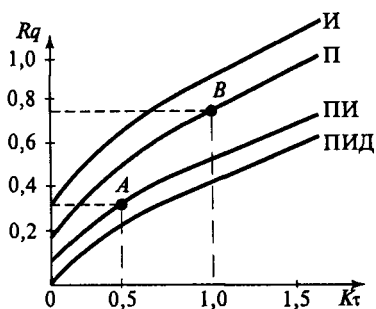


Рис. 2.15. График взаимосвязи  $K_t$  и  $R_q$

Для наиболее широко применяемого типового переходного процесса регулирования с 20%-ным перерегулированием, на основании рассчитанных величин  $K_t$  и  $R_q$  можно по графику (рис. 2.15), характеризующему зависимость  $K_t$  и  $R_q$ , предварительно определить один из наиболее приемлемых законов регулирования.

Например, при  $K_t = 0,5$  и  $R_q = 0,25$  можно предварительно определить т. А, согласно которой предварительный закон регулирования является изодромным. Аналогичные графические зависимости имеются и для других типовых законов регулирования.

После предварительного определения закона регулирования проводится его уточнение по времени переходного процесса регулирования  $t_p$  и графикам, характеризующим зависимость  $t_p/\tau$  от  $K_t$ .

#### Расчет и выбор регулятора для замкнутой САР

Здесь (рис. 2.16) взаимодействуют объект регулирования и автоматический регулятор. Их динамические свойства характеризуют состояние САР в целом, определяя характер и особенности переходного процесса регулирования. Для правильного выбора регулятора необходимо изучить динамику объекта, что можно осуществить при экспериментальном определении кривой, т. е. реакции объекта на скачкообразное изменение его входной величины.

Для получения кривой разгона объект приводят в равновесное состояние, близкое к номинальному. Далее быстрой перестановкой регулирующего органа вносят скачкообразное возмущение и фиксируют изменяющиеся значения выходного сигнала (регулируемо-

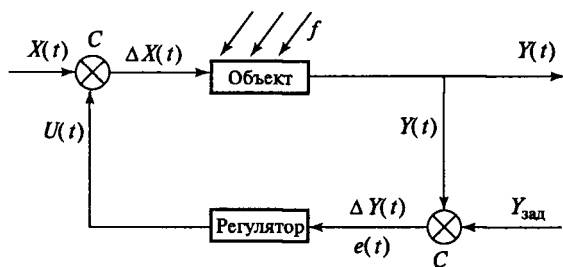


Рис. 2.16. Блок-схема замкнутой САР

го параметра) до прихода его к новому равновесному состоянию. По полученным данным строят кривую разгона объекта.

В зависимости от динамических свойств объектов кривые разгона имеют различный характер. По ним определяют динамические параметры объекта: постоянную времени  $T_0$ , запаздывание  $T$ , коэффициент усиления  $K$ , а также определяются свойства объекта: самовывравнивание и емкость.

Определите динамические свойства объекта и требования к качеству процесса регулирования, взяв задание из табл. 2.

Таблица 2

Данные для определения динамических свойств объекта

Возмущение $X$ , % хода регулирующего органа	Относительное время кривой разгона, $t_{отн}$											Показатели качества процесса регулирования		
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	$Y_{1\%}$ % $Y_{\infty}$	$Y_{ост.}$ % $Y_{\infty}$	$\tau_{рег.}$ $t_p$
	Данные эксперимента — отклонение $y(t)$													
25	0	0	0,1	0,3	1,2	2,8	3,9	4,5	4,7	4,8	4,8	80	60	2,0

На рис 2.17 по приведенным данным построена кривая разгона объекта. При этом необходимо перейти к абсолютным значениям времени по формуле

$$T = T_{отн} \cdot T_{перех.пр.}$$

где  $T_{перех.пр.}$  [мин] — время переходного процесса в объекте;  $T_{отн}$  — безразмерная величина.

Кривая разгона для данного объекта имеет точку перегиба  $S$  (т. е. в наличии двухемкостный объект — экспонента 2-го поряд-

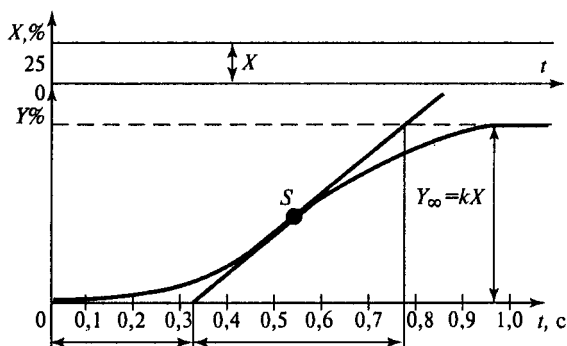


Рис. 2.17. Кривая разгона объекта регулирования

ка). Для упрощения расчетов кривую разгона 2-х емкостного объекта заменяют (аппроксимируют) кривой разгона одноемкостного объекта — экспонентой первого порядка с запаздыванием. Для этого к кривой разгона 2-х емкостного объекта в точке ее перегиба ( $S$ ) проводят касательную до пересечения с линией начального значения входной величины и линией ее нового установившегося равновесного состояния (см. рис. 2.17) и определяют запаздывание  $T$  и постоянную времени объекта  $T_0$ . При этом определяют и значение коэффициента усиления  $K$ . Эти величины определяют характер протекания переходных процессов, их динамику и являются динамическими характеристиками объекта. В свою очередь, объект регулирования в основном определяет характер САР.

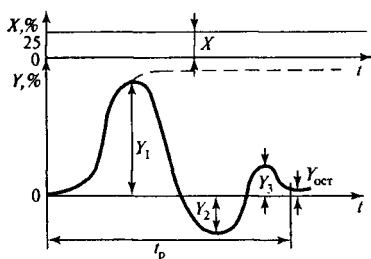


Рис. 2.18. Схема переходного процесса

Для оценки качества переходного процесса используются следующие показатели (рис. 2.18):  $Y_1$  — максимальное динамическое (кратковременное) отклонение регулируемой величины от задания;  $Y_{ост}$  — остаточное (длительное) отклонение регулируемой величины от задания по окончании процесса регулирования;  $t_p$  — время переходного процесса регулирования.

Чаще всего рекомендуется применять переходной процесс, характеризующийся соотношением

$$\Psi = Y_1 - Y_3 / Y_1 = 0,6 \div 0,8,$$

где  $\Psi$  — степень затухания переходного процесса.

Качество переходного процесса в замкнутой САР зависит от динамических свойств объекта регулирования, вида регулятора и его настроек.

САР непрерывного действия различаются по закону регулирования, виду регулятора. Закон регулирования — функциональная зависимость выходного сигнала регулятора от его входного сигнала, точнее, от отклонения регулируемой величины от заданной.

Как уже отмечалось, в практике наиболее часто используются следующие регуляторы: пропорциональный (П); интегральный (И); пропорционально-интегральный (ПИ); пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД). Каждый регулятор действует по соответствующему закону регулирования.

Выбрать регулятор — это значит выбрать закон регулирования и параметры настройки регулятора, обеспечивающие на данном объекте требуемое качество регулирования.

В инженерной практике применяются два метода выбора непрерывных регуляторов: *метод незатухающих колебаний* и *метод номограмм*. Наиболее приемлемым для технологических применений является метод номограмм.

### Алгоритм выбора метода регулирования

1. Вычисляют коэффициент относительного запаздывания  $K\tau$  согласно экспериментальным данным и кривой разгона (см. рис. 2.17).

Пусть  $\tau = 0,315$ ;  $T_0 = 0,325$ , тогда коэффициент усиления  $K\tau = \tau/T_0 = 0,315/0,325 = 0,97$ .

Так как  $0,2 \leq K\tau \leq 1,0$ , регулирование непрерывное.

2. Вычисляют динамический коэффициент регулирования  $Rq$ , при котором может быть получено динамическое отклонение не выше требуемого (заданного качества процесса регулирования):  $Rq = Y_1/Y_\infty = 80/100 = 0,8$ , или в численных значениях  $Rq = 3,84/4,8 = 0,8$ .

3. По графику зависимости  $Rq$  и  $K\tau$  (см. рис. 2.15) выбирают простейший закон регулирования, обеспечивающий на данном объекте необходимое значение коэффициента  $Rq$ . Для этого необходимо, чтобы т. В, определяемая найденными значениями  $Rq$  и  $K\tau$ , лежала выше соответствующей кривой  $Rq/K\tau$  или на ней [т. В (0,8;0,97)]. Эта точка лежит выше кривой «И», следовательно, выбираем П-закон регулирования.

4. По графику  $t_p/\tau = f(\tau/T_0)$  определяют время, которое обеспечивает выбранный регулятор. Рассчитанная величина  $t_p/\tau = 2/0,315 = 6,34$ , что меньше заданной ( $t_p = 6,34 \cdot 0,315 = 1,98$ ), следовательно, время регулирования обеспечивается, т. е. следует оставить П-закон регулирования. Так как выбран П-регулятор, необходимо по графику  $Y_{ост}/Y_\infty = \tau/T_0$  определить остаточное отклонение  $Y_{ост}$ , которое составляет 0,59, что меньше заданной величины 0,6, следовательно, оставляют П-закон.

5. После того как выбран закон регулирования, обеспечивающий все требуемые показатели качества регулирования, следует определить параметры настройки регулятора, которые зависят от свойств объекта регулирования. Расчет настроек может быть в первом приближении определен по формуле

$$S^*i = 0,3/K\tau/T_0 = 0,3/19,2 \cdot 0,97 = 0,016,$$

где  $K = Y_\infty/X = 4,8/0,25 = 19,2$ .

При этом П-закон регулирования описывается уравнением

$$X^n p = -S_1 y(t). \quad (2.19)$$

**Примечание.** ПИ-закон регулирования описывается уравнением

$$X_p^{nu}(t) = -\left[ S_1 y(t) + S_0 \int y(t) dt \right], \quad (2.20)$$

где  $S_1$  и  $S_0$  — параметры настройки П и И составляющих закона.

ПИ-регулятор:  $S_1^{nu} = 0,7/K\tau/T_0$ ;  $S_0^{nu} = 1/T_u = 1/0,7T_0$ .

ПИД-закон регулирования описывается уравнением

$$X_p^{nu\delta} = -\left[ S_1 y(t) + S_0 \int y(t) dt + S_2 \int dy(t)/dt \right], \quad (2.21)$$

где  $S_2$  — параметр настройки дифференциальной составляющей.

ПИД-регулятор:  $S_1^{nu\delta} = 1,2/K\tau/T_0$ ;  $S_0^{nu\delta} = 1/2\tau$ ;  $S_2^{nu\delta} = 0,4\tau$ .

## 2.8. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Автоматические регуляторы (АР) различают по виду регулируемого параметра, виду энергии, по используемому источнику энергии, законам регулирования, числу измеряемых параметров, числу регулирующих воздействий, конструктивным особенностям и другим признакам.

1. По виду регулируемого параметра различают регуляторы температуры, давления, расхода, уровня, состава и свойств вещества и т. п. Специфические особенности при этом сохраняют только ИП и ИУ.

2. По виду энергии для формирования управляющего воздействия регуляторы подразделяются на электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные. Комбинированные регуляторы сочетают преимущества электро-, пневмо- или гидравлических устройств.

3. По используемому источнику энергии для формирования управляющего воздействия существуют регуляторы прямого и непрямого действия. Регуляторы прямого действия работают за счет энергии, отбираемой от ОУ, а регуляторы непрямого действия — за счет энергии внешнего источника.

4. По законам регулирования регуляторы подразделяются на пропорциональные (П), интегральные (И), дифференциальные (Д) и комбинированные (ПИ, ПД, ПИД).

5. По числу регулирующих воздействий регуляторы делятся на одноканальные и многоканальные.

6. По количеству сигналов, поступающих на вход регулятора от ИП, различают одноимпульсные, двухимпульсные и т. п.

7. По конструктивным признакам регуляторы подразделяются на аппаратные, приборные, агрегатные и модульные.

Регуляторы аппаратного типа состоят из двух самостоятельных блоков — измерительного и формирующего. В измерительном блоке сигнал от ИП сравнивается с сигналом задания и полученный сигнал рассогласования усиливается по мощности. В формирующем блоке формируется управляющее воздействие согласно сигналу рассогласования, а наличие двух ИП, один из которых выполняет функции контроля, а другой — функции регулирования, обеспечивает повышение надежности САУ.

Регуляторы приборного типа не имеют непосредственной связи с первичным ИП и функционируют только в комплекте со вторичными измерительными приборами или микропроцессорной системой (МПС). В приборе (или МПС) производится сравнение задания с фактическим значением регулируемой величины, сформированный сигнал рассогласования подается в регулятор (или МПС). При использовании МПС значительно сокращаются линии (каналы) связи.

Регуляторы агрегатного (блочного) и модульного (элементного) принципа действия состоят соответственно из унифицированных блоков или модулей, каждый из которых выполняет простейшие операции. Это обеспечивает широкие возможности при создании регуляторов с различными функциональными особенностями.

По характеру связи между входной и выходной величинами регуляторы подразделяются на регуляторы непрерывного и дискретного действия. Согласно классификации САУ, регуляторы подразделяются на программные, стабилизирующие, следящие и экстремальные.

По структуре различают регуляторы с фиксированной и переменной структурой. Регуляторы с фиксированной структурой не изменяют свою структуру при изменении характеристик ОУ, а регуляторы с переменной структурой изменяют ее при изменении характеристик объекта.

Внедрение МПС способствует совершенствованию САУ и расширяет их возможности. Они являются на данном этапе развития средств автоматизации доминирующей технической базой.

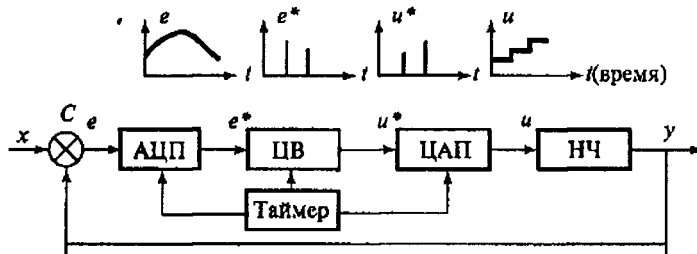


Рис. 2.19. Блок-схема цифровой системы управления

## 2.9. ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В цифровых системах управления (рис. 2.19) непрерывные сигналы квантуются по времени и по уровню. Квантование по времени осуществляется мультиплексором с периодом дискретности  $T$ , а квантование по уровню (округление или усечение) — в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Мультиплексор обычно конструктивно объединяется с устройством масштабирования и АЦП. Цифровой сигнал обрабатывается процессором (цифровым вычислителем — ЦВ) и поступает в цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Время  $\tau_{ц}$ , затраченное на преобразование аналогового сигнала  $e(t)$  в цифровую форму с последующей его обработкой в процессоре, представляет собой задержку в канале управления. Обычно  $\tau_{ц}$  часто пренебрегают, считая, что входной и выходной квантователи работают синхронно.

Таким образом, обобщенная структурная схема цифровой автоматической системы может быть представлена в виде, приведенном на рис. 2.20.

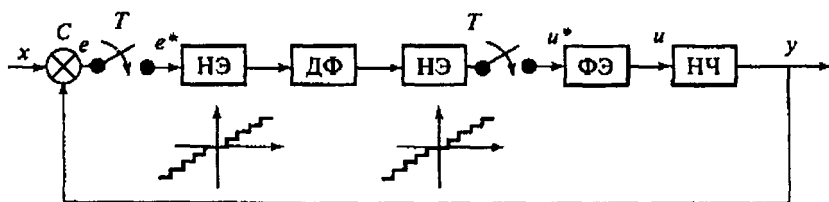


Рис. 2.20. Обобщенная структурная схема цифровой системы управления

Идеальные импульсные элементы соответствуют квантователям на входе и выходе процессора, сам процессор представлен в виде дискретного фильтра (ДФ), а квантование по уровню учитывается многоступенчатыми элементами (НЭ).

При использовании аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, имеющих достаточно большое число разрядов, эффекты квантования по уровню часто можно не учитывать.

Структурная схема цифровой системы управления в этом случае соответствует амплитудно-импульсной системе с импульсной частью в виде линейного дискретного фильтра (ЛДФ), рис. 2.21.

Выходной сигнал ЛДФ преобразуется фильтрующим элементом (ФЭ) типа экстраполятора нулевого порядка (фиксатора).



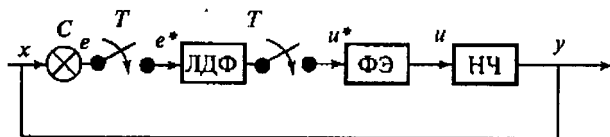


Рис. 2.21. Структурная схема цифровой системы управления без учета квантования по уровню

## 2.10. АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Современное развитие компьютерной технологии позволяет решать классические задачи автоматического управления на более высоком уровне. Интеллектуальные системы на основе нечеткой логики могут обеспечить более высокие точностные и динамические показатели управления, его функциональную надежность, требования к квалификации обслуживающего персонала по сравнению с классическими системами управления. Применение новых свойств фазы-систем управления должно снизить затраты на производство готовой продукции и обеспечить ее конкурентоспособность.

Непредсказуемые аварии в системах обеспечения безопасности, необоснованные выводы в информационных системах, разбаланс в системах автоматики и другие причины часто объясняются тем, что предпосылки проектирования слишком расходятся с реальным положением дел. Часто на практике из-за особенностей промышленной системы не представляется возможным получить достоверную информацию и установить устройство измерения.

Одним из выходов в такой ситуации является использование *фазы-управления*. Сочетание «*ищу fuzzy*» обычно интерпретируется как размытое (нечеткое) управление и обозначает одно из направлений в современных технологиях управления.

В настоящее время нечеткое управление является актуальным. Известны результаты применения *фазы-алгоритмов* в нетрадиционных задачах управления (техника, медицина и т. п.). Менее известны специалистам результаты, полученные при решении ряда классических задач управления.

При автоматизации технологических процессов нечеткие логические регуляторы реализуют системы управления с новыми свойствами, которые технически трудно получить традиционными методами автоматического регулирования.

Например, для АСУТП в качестве исполнительных органов часто используются частотно-регулируемые асинхронные электроприводы. Применение в инверторе (преобразователе) такого привода из гибридного ПИ-регулятора, у которого в цепи обратной связи имеется нечеткий логический регулятор, обеспечивает быст-

рую обработку скачкообразного задания с минимальной величиной выброса переходного процесса. Одновременно уменьшается статическая ошибка регулирования благодаря адаптивному изменению коэффициента усиления пропорционального звена ПИ-регулятора.

Использование интеллектуальных инверторов позволяет программировать время разгона электродвигателя в широком диапазоне с допустимой величиной перегрузки по току и одновременным повышением точности обработки задания, а их применение в асинхронном приводе циркулярных насосов, где следует использовать обратную связь по давлению, позволит увеличить точность поддержания заданного давления. Это обеспечит значительную экономию расхода воды в целом по отрасли.

При реализации традиционной локальной системы управления температурой, при изменении задания температуры во времени, часто появляются проблемы в использовании ПИД-регуляторов в точках температурной кривой, определяющих смену температурных режимов. В них наблюдаются температурные выбросы, что недопустимо согласно технологии. Выбросы в таких системах устраняются перенастройкой коэффициента усиления ПИД-регулятора вручную. Использование *fuzzy*-систем управления позволяет устранить температурные выбросы автоматической перенастройкой параметров ПИД-регулятора.

*Фазы*-управление может быть перспективно в поисковых системах автоматической оптимизации, в которых такие параметры поиска, как число измерений выхода объекта, величины рабочих и пробных шагов и другие параметры, адаптируются с помощью нечеткого логического регулятора (НЛР).

Статистические алгоритмы фильтрации случайных процессов, используемые в системах управления для уменьшения влияния случайных возмущений на выходе объекта, могут также модифицироваться в адаптивные алгоритмы с помощью НЛР для фильтрации нестационарных возмущений. Например, с помощью алгоритма скользящего среднего путем использования *фазы*-управления можно адаптировать величину «окна». В этом случае входом НЛР является величина невязки, а выходом — число измерений (величина окна) в алгоритме фильтрации.

Аналогично может решаться задача адаптивной идентификации нестационарных параметров распределенной системы, описываемой параболическим уравнением. Величина невязки температурных полей используется как вход НЛР, при этом выход адаптирует величину аппроксимации неизвестных параметров модели — в виде констант.

Эти свойства систем *фазы*-управления позволят снизить затраты на производство готовой продукции и обеспечить ей необходимую конкурентоспособность.

## Управление с помощью нечетких супервизоров

Устойчивость (*робастность*) управления при изменяющемся во времени поведении объекта (процесса) при его нелинейностях может быть обеспечена адаптивностью регулятора с помощью автоподстройки.

При использовании самоорганизующего нечеткого управления системы приспособливают (адаптируют) управляющий алгоритм для идентификации или уточнения модели объекта. При этом механизм адаптации действует прямо на параметры нечеткого регулятора.

Следует выделить и другой подход к адаптации, т. е. ее обеспечение супервизором (супервизор, диспетчер, управляющая программа — это часть ОС, выполняющей управление процессами, обмен с устройствами, памятью и т. д.).

Для нечеткого управления известны разнообразные подходы к этому типу адаптации. Один из них заключается в том, что имеется супервизор, который адаптирует классический ПИД-регулятор. При этом целесообразно рассмотреть иерархический нечеткий регулятор, состоящий из модулей для непосредственного управления и устройств, адаптирующих другие модули.

При нечетком супервизорном ПИД-управлении нечеткая система используется для наблюдения за классическим ПИД-регулятором. Система существует в классическом дискретном ПИД-регуляторе, который имеет соответственно коэффициенты усиления пропорционального  $K_p$ , интегрального  $K_i$  и дифференциального  $K_d$  звеньев, изменяющиеся нечетким супервизором на каждом шаге времени. Метод с нечетким супервизором разработан для улучшения реакции системы на скачки при условии, что это устранил недостаток существующих промышленных ПИД-регуляторов.

Нечеткий супервизор имеет три «выхода»:  $\Delta K_p$ ,  $\Delta K_i$ ,  $\Delta K_d$ , которые дают результат для различных параметров ПИД-регулятора в каждый момент времени. Входами нечеткого супервизора являются ошибка  $e[kT]$  и ее первая разность  $\Delta e[kT]$ . Схема регулятора представлена на рис. 2.22. В дополнение к основной схеме, состоящей из ПИД-регулятора и нечеткого супервизора, применяется модуль автоматической подстройки для оптимизации нечеткого супервизора. Этот модуль использует правила, которые классифицируют поведение реакции на скачок для того, чтобы оптимизировать нечеткий супервизор. Классификация определяется тем, как исполнено измерение, а оптимизация используется для того, чтобы его улучшить. Оптимизация представляется моделированием.

Когда рассматривается функциональная схема регулятора без модуля автоподстройки, регулирующая функция может быть вы-

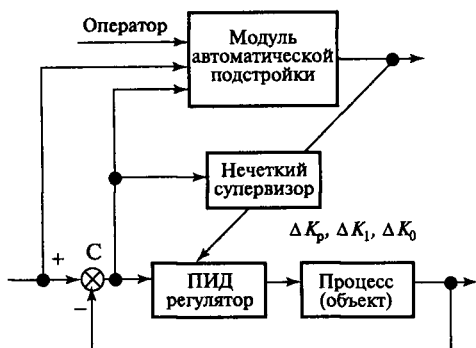


Рис 2.22. Схема нечеткого ПИД-супервизора

полнена по правилам Сугено, где последовательность членов отношения обеспечивается «локальными» ПИД-регуляторами. Однако такая адаптация за счет использования модуля автоподстройки не может быть использована в более медленных случаях, когда рассматривается различный масштаб в области входа, возможный для каждого параметра ПИД-регулятора, и если используются отдельные базы правил.

Примером нечеткого супервизорного управления является экспертная супервизорная управляющая система для каскадного ПИД-управления. Модуль распознавания образов используется для выделения исполняемых индексов по откликам замкнутого контура системы на множественно-точечные изменения и нагрузочные возмущения. Дополнительно используются тестовые сигналы, когда выходы основного (*master*) и дублирующего (*slave*) контуров находятся в установившемся режиме. Супервизорный модуль является маленькой экспертной системой (ЭС) с нечеткой базой правил, приводимой в исполнение посредством библиотечных программных средств. База содержит правила для настройки дублирующего регулятора и правила для того, чтобы наблюдать совместные действия основного и дублирующего контуров настраивающих механизмов (рис. 2.23).

Многие системы, состоящие из нечеткого супервизора и классического ПИД-регулятора, могут быть выражены в виде нечеткого регулятора, основанного на правилах Сугено. Однако это — менее «дружественный — пользовательский» алгоритм по сравнению с традиционным управляющим алгоритмом и супервизором, координирующим и адаптирующим этот регулятор. В иерархическую систему включено несколько нечетких систем, реализующих интерактивную и прямую адаптацию для прямых и непрямых частей регулятора.

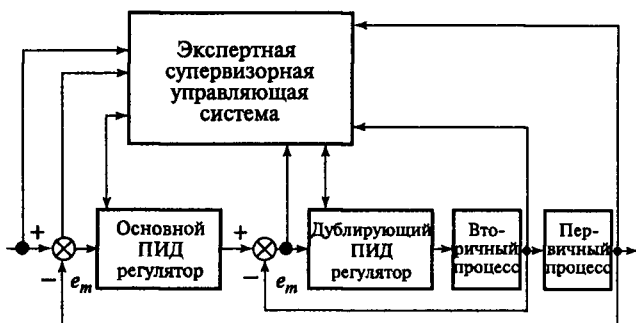


Рис. 2.23. Схема нечеткой супервизорной системы для каскадного ПИД-управления

Если нечеткие регуляторы используются довольно часто, то адаптивное нечеткое управление не является достаточным, подобно нечеткому управлению. Однако у этого направления нечетких систем большое будущее.

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Что такое автоматика?
2. Каковы функции локальных систем автоматизации?
3. Кибернетика — это наука об управлении.
4. Расскажите о кибернетической системе управления.
6. Каковы режимы управления в зависимости от степени участия операторов в них?
7. Что такое технологический объект управления (ТОУ)?
8. Что такое система автоматического регулирования (САР)?
9. Охарактеризуйте замкнутую автоматическую систему регулирования.
10. Опишите одноконтурную САР.
11. Что такое каскадная САР? Каковы ее преимущества?
12. Перечислите типовые законы регулирования.
13. Каков алгоритм выбора закона регулирования и регуляторов в САР?
14. Дайте классификацию автоматических регуляторов.
15. Цифровые системы управления.
16. Как осуществляется адаптивное управление с помощью нечеткой логики?
17. Охарактеризуйте каскадные системы автоматического регулирования.
18. Как осуществляют выбор закона регулирования и регуляторов в САР?
19. В чем преимущества интеллектуальных систем управления на основе нечеткой логики?
20. В чем суть *фазы*-управления?
21. Приведите примеры использования интеллектуальных инверторов.

### Глава 3. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Измерения являются одним из путей познания человеком окружающего мира и объединяют теорию с его практической деятельностью. Любая отрасль или область такой деятельности невозможна без количественного определения свойств материалов, показателей качества готовой продукции, параметров различных технологических процессов, оценок работоспособности и производительности машин, аппаратов и агрегатов, устройств, обслуживающих управленческий труд и т. д.

Единственным способом получения объективных данных о свойствах предметов и процессов материального мира являются измерения, в результате которых и могут быть определены данные о физических величинах (или параметрах), характеризующих объект, подвергшийся измерению.

Таким образом, измерение — это процесс нахождения численного значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств или средств измерений.

Измерения количественно характеризуют окружающий материальный мир, раскрывая действующие в природе закономерности. Об этом образно сказал основоположник отечественной метрологии великий русский ученый Дмитрий Иванович Менделеев: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять».

Под *измерительной техникой* в широком понимании значения этих слов подразумевают как все технические средства, с помощью которых осуществляют измерения, так и технику, методологию и методики проведения измерений, т. е. эксперимента, направленного на получение результата измерения.

Очевидно, необходимо, чтобы результаты различных измерений были согласованы. При этом результаты измерений одинаковых величин, полученные в разных местах и с помощью различных измерительных средств (устройств), были сопоставимы на уровне требуемой точности измерений.

В первую очередь для этого необходимо единообразие единиц измеряемых величин и мер, осуществляющих их вещественное воспроизведение, а также выполнение ряда других условий для того, чтобы обеспечить все качества результатов измерений, которые нужны для их сопоставления и правильного использования, что в целом называется *единством измерений*.

Вопросами теории и практики обеспечения единства измерений и занимается метрология. *Метрология* является основой измерительной техники. И чем больше развивается измерительная техника, тем большее значение приобретает метрология.

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

К основным задачам метрологии относятся: создание и дальнейшее развитие общей теории измерений; образование единиц физических величин и систем единиц; разработка методов и средств измерений (СИ), методов определения точности измерений, основ обеспечения единства измерений и единообразия СИ; создание эталонов и образцовых СИ, проверка мер и СИ. Содержание основных положений и задач теоретической метрологии отражено схемой (рис. 3.1).

В современных условиях метрологическое обеспечение (МО) представляет собой комплекс научных и технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

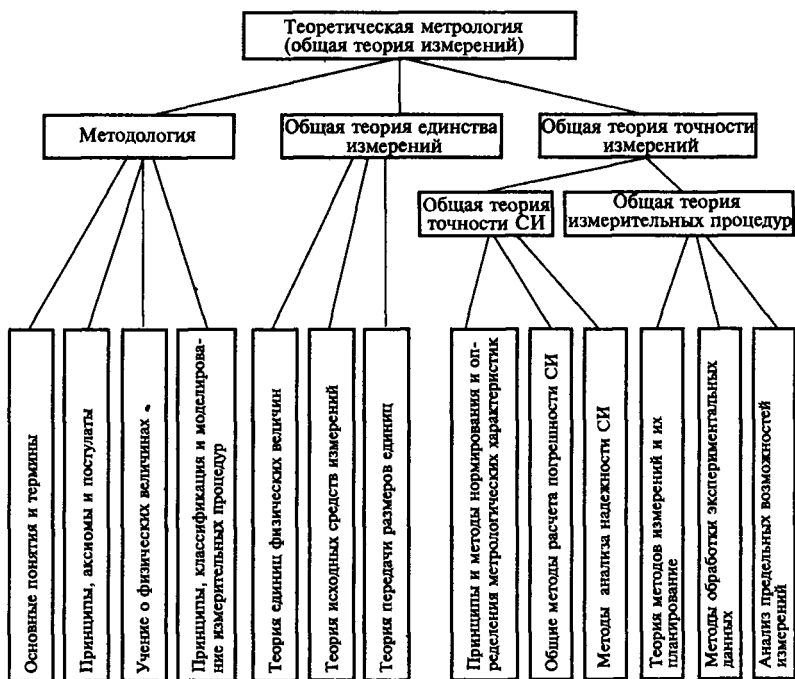


Рис. 3.1. Схема структуры теоретической метрологии

Большое значение, особенно на этапе технической подготовки производства, имеет метрологическая экспертиза нормативной документации, которая предполагает анализ и оценку технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установлению норм точности, а также обеспечению методами и средствами измерений (СИ) процессов разработки, изготовления, эксплуатации и ремонта изделий.

Известно, что критерием эффективности и конкурентоспособности пищевых производств является стандартное качество готовой продукции.

ГОСТ 15467—79 установил, что качество продукции — это совокупность свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Из этого следует, что за исходную характеристику качества продукции принято ее свойство.

Главным содержанием метрологического обеспечения качества продукции на предприятиях является соответствие выпускаемой продукции требованиям стандартов и техническим условиям (ТУ), состояние внедрения стандартов, соблюдения технологической дисциплины на производстве, соответствие применяемых методов измерений, контроля и анализа качества продукции требованиям стандартов и ТУ. При этом обязательной является проверка метрологического обеспечения предприятия: контроль технического состояния измерительной техники и соответствие ее применения в производственном процессе, при испытаниях и контроле качества продукции; наличие нормативно-технической документации (НТД), относящейся к проверяемой продукции.

При проверке состояния измерительной техники, которая осуществляется одновременно с проведением контроля за качеством продукции, устанавливают соответствие средств и методов измерений требованиям НТД и техническому уровню, правильность эксплуатации СИ, наличие на них клейм (или свидетельств) государственной или ведомственной проверки, соблюдение установленных сроков проверки, техническое состояние и достоверность показаний СИ.

В ходе проверки устанавливают степень обеспеченности поверочных органов инструкциями, правилами, стандартами, образцовыми СИ, техническую исправность последних, своевременность проверки, соответствие поверочных и ремонтных помещений условиям, необходимым для обеспечения качества поверок и ремонта измерительной техники, своевременность изъятия из обращения неисправных и используемых не по назначению СИ, а также порядок хранения измерительной техники.



### 3.1. ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

К основополагающим терминам в области метрологии можно отнести следующие:

*Метрология* — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

*Измерение* — это нахождение значения физической величины с помощью специальных технических средств;

*Единство измерений* — это состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

*Точность измерений* — это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

К основным проблемам метрологии относятся: общая теория измерений; единицы физических величин и их системы; методы и средства измерений; методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений; эталоны и образцовые средства измерений; методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

В практике измерений имеют применение следующие метрологические термины:

*Измерительная информация* — это сигнал измерительной информации о значениях измеряемых физических величин, функционально связанных с измеряемой физической величиной.

*Средство измерений* — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

*Измерительный прибор* — средство измерений, предназначенное для выработки измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы могут быть аналоговыми, цифровыми, показывающими, регистрирующими, самопишущими, печатающими, интегрирующими, суммирующими, сигнализирующими и т. п.

*Измерительный преобразователь (датчик)* — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки, хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Эти измерительные устройства — преобразователи, подразделяются на первичные, промежуточные, передающие, масштабные и некоторые другие виды.

*Эталон единицы физической величины* — средство измерений или комплекс средств измерений, обеспечивающий воспроизведение и (или) хранение единицы физической величины в целях

передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

*Поверка средств измерений* — определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению.

### 3.2. ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА. ЕДИНИЦЫ И РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*Физическая величина* (или просто величина) — это свойство, общее в качественном отношении многим объектам (системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. *Единица физической величины* — это физическая величина, которой по определению придано значение, равное единице.

Каждая физическая величина, таким образом, характеризуется индивидуальным значением, являющимся произведением числового значения величины на ее единицу. Совокупность физических величин, связанных между собой определенными зависимостями, основанными на законах физики, называется *системой физических величин*. В настоящее время применяется Международная система единиц (СИ). Система физических величин состоит из основных, производных и дополнительных величин.

Физическая величина, входящая в систему и условно принятая не зависимой от других величин этой системы, называется *основной физической величиной*. В системе СИ имеют место семь основных величин — длина ( $L$ ), масса ( $M$ ), время ( $T$ ), термодинамическая температура Кельвина ( $K$ ), сила тока ( $I$ ), сила света ( $K\delta$ ), количество вещества ( $N$ ).

Физическая величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы, называется *производной физической величиной*. Например, сила  $F=ma$ , здесь  $m$  — масса;  $a$  — ускорение, вызываемое силой  $F$ . Величины «плоский угол» и «телесный угол» являются дополнительными. Физическая величина, которой присвоено числовое значение, равное единице, называется *единицей физической величины*.

В системе СИ имеют место семь основных единиц — метр, килограмм, секунда, ампер, кандела и моль, две дополнительные (угловые) — радиан и стерадиан и ряд производных.

Меры единиц физических величин в процессе их использования могут быть утрачены. Во избежание этого организуется хранение мер как в государственном, так и в международном масштабе. Изготавливаются эталоны — средства измерений, обеспечи-

вающие воспроизведение и хранение единиц с самой высокой точностью, достижимой при данном состоянии науки и техники. Размеры эталонов передаются другим средствам измерений по специальной поверочной схеме.

### 3.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ

Основное уравнение измерения имеет вид

$$Q = nU, \quad (3.1)$$

где  $Q$  — значение физической величины;  $n$  — размер физической величины;  $U$  — единица физической величины.

По способу получения результата измерения подразделяются на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

*Прямые измерения* — это измерения, при которых искомое значение измеряемой величины находится непосредственно из опытных данных, т. е. сравнением ее с единицей физической величины или по показаниям измерительных приборов, отградуированных в этих единицах.

*Косвенные измерения* — это измерения, при которых искомое значение измеряемой величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, получаемыми прямыми измерениями.

*Совокупные измерения* — это одновременные измерения нескольких одноименных величин, при которых искомое значение измеряемой величины находится путем решения системы уравнений, получаемой при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

*Совместные измерения* — это одновременные измерения нескольких не одноименных величин в целях нахождения зависимости между ними.

Измерения проводятся различными методами, под которыми подразумевается совокупность приемов, принципов и средств измерений. В современной метрологии имеют место четыре основных метода измерений.

1. **Метод непосредственной оценки** заключается в определении значения измеряемой величины непосредственно по отчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Таким образом, этот метод характеризуется прямым преобразованием значения измеряемой величины в выходную величину, показываемую или записываемую прибором.

2. **Метод сравнения с мерой**, или метод сравнения, заключается в сравнении измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой.

3. **Дифференциальный метод** заключается в сравнении с мерой, при котором на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой.

4. **Нулевой (компенсационный) метод** заключается в сравнении с мерой, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводится до нуля.

### **Погрешности измерений и измерительных устройств**

Результат любого измерения отличается от истинного значения измеряемой величины на некоторое значение, зависящее от точности методов и средств измерений, квалификации оператора, производящего измерение, условий, при которых они осуществляются. Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины называется *погрешностью измерения*.

Различают абсолютные погрешности измерения, которые выражаются в единицах измеряемой величины, т. е.

$$\Delta = X - X_u, \quad (3.2)$$

где  $\Delta$  — абсолютная погрешность измерения;  $X$  — значение, полученное при измерении;  $X_u$  — истинное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения — это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины, т. е.

$$\delta = \Delta / X_u, \quad (3.3)$$

где  $\delta$  — относительная погрешность измерения.

Относительную погрешность часто выражают в процентах истинного значения измеряемой величины, т. е.

$$\delta\% = (\Delta / X_u) 100\%. \quad (3.4)$$

Однако истинное значение величины остается неизменным, поэтому вместо него пользуются действительным значением величины или размером эталона. Действительное значение рассчитывается соответствующими методами, о чем будем говорить при рассмотрении методов расчета погрешностей.

На практике часто используют понятие — «*точность измерений*», которая определяет близость результата измерений к истинному значению измеряемой величины.

В зависимости от характера проявления погрешности измерений подразделяются на систематические, случайные и грубые (промахи).

Погрешность  $\Delta$  является результирующей погрешностью, которая определяется суммой, состоящей из систематической  $\Delta_c$  и случайной  $\Delta^0$  погрешностей, т. е.  $\Delta = \Delta_c + \Delta^0$ .

**Систематические погрешности** — это составляющая погрешностей измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Систематические погрешности возникают при несоответствии действительного значения меры, с помощью которой производят измерение, ее номинальному значению. Например, такие погрешности могут возникать при изменении силы рабочего тока (его уменьшении) в цепи потенциометра. К ним относят погрешности метода измерений, инструментальную погрешность, погрешность считывания, погрешность интерполяции и экстраполяции и другие. Систематические погрешности неизбежны, однако влияние их можно устранить или исключить путем введения соответствующих поправок, тщательной регулировки, компенсации и т. д.

**Случайные погрешности** — это составляющая погрешностей измерений, изменяющаяся случайно при повторных измерениях одной и той же величины. Возникают они вследствие вариации показывающего измерительного прибора, округления при считывании показаний, влияния температуры окружающей среды и вибраций, наличия посторонних электромагнитных полей и т. п. Для учета влияния случайных погрешностей одну и ту же величину измеряют много раз, а результаты измерений обрабатывают с помощью специальных математических методов (усреднения).

**Грубые погрешности (промахи)** — это составляющая погрешностей измерений, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях измерений погрешность. При обработке результатов измерений те из них, которые содержат грубые погрешности, как правило, отбрасываются и не учитываются. Причиной возникновения грубых погрешностей может быть ошибка оператора, возникновение сильной кратковременной помехи, толчок, нарушение электрического контакта и т. д.

Природа и происхождение систематических погрешностей обусловлены спецификой проведения конкретного эксперимента — процесса измерения. Поэтому обнаружение и исключение систематических погрешностей во многом зависит от мастерства измерителя-оператора, от того, насколько глубоко он изучил конкретные условия проведения измерений и особенно применяемых им методов и средств. При этом существуют некоторые общие причины возникновения систематических погрешностей, в

соответствии с которыми их подразделяют на методические, инструментальные и субъективные.

**Методические погрешности** формируются: от несовершенства метода измерения; использования упрощенных допущений и предположений при выводе формул; влияния измерительного устройства на объект измерения. Например, процесс измерения температуры с помощью термомпары может содержать методическую погрешность, вызванную нарушением температурного режима исследуемого объекта, вследствие внесения в него термомпары и искажения температурного (теплового) поля.

**Инструментальные погрешности** зависят от погрешностей применяемых средств измерения. Причинами инструментальных погрешностей могут быть неточность градуировки измерительных устройств, их конструктивное несовершенство, изменение эксплуатационных характеристик во времени и т. д., и т. п. Источниками этого вида погрешностей также могут быть влияния внешних магнитных и электрических полей, воздействие вибраций, а также отклонение от нормальных условий эксплуатации данного средства измерения.

**Субъективные погрешности** обусловлены низкой квалификацией экспериментатора, которые формируются из-за неправильного отсчета показаний прибора человеком-оператором, его невнимательности, рассеянности и неуравновешенности и т. п., т. е. человеческим фактором.

Систематические погрешности могут оставаться постоянными либо закономерно изменяться. Их определение осуществляется путем многократного повторения процесса измерения физической величины.

Обнаружение причин и источников систематических погрешностей позволяет принять меры к их устранению путем введения соответствующей поправки:

$$C = X_u - X_{np}, \quad (3.5)$$

где  $C$  — поправка, значение величины, одноименной с измеряемой;  $X_u$  — истинное значение измеряемой величины;  $X_{np}$  — значение величины, полученное с помощью измерительного прибора (устройства).

Полученную поправку нужно алгебраически прибавить к показанию прибора

$$X_u = X_{np} + C.$$

Поправка определяется с помощью поверки технического средства, сопоставления и использования соответствующих таб-

лиц и графиков, а также расчетным способом определения поправочных значений.

В результате внедрения в измерительную технику информационных технологий появилась возможность с помощью статистики исключать и корректировать некоторые виды систематических погрешностей (например, инструментальную и субъективную составляющие погрешности).

Однако полностью исключить систематическую погрешность не представляется возможным, и какая-то часть ее остается. Эта часть входит в результат измерений и искажает его. В таких случаях можно использовать метод сопоставления, сравнения измеренных значений физической величины с подобными результатами, полученными в других лабораториях, выполненными другими экспериментаторами.

**Случайные погрешности**, в основном, оцениваются с помощью математического аппарата описания случайных величин методами теории вероятностей и математической статистики. Согласно этим методам, случайная величина наиболее полно характеризуется своим законом распределения (или плотностью распределения) вероятностей. В измерительной практике чаще всего принимаются нормальная и равномерная плотность распределения. Для описания случайных погрешностей целесообразно применять нормальный закон распределения вероятностей, который можно записать в следующем виде:

$$Y(\Delta^0) = \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left( -\frac{(\Delta^0)^2}{2\sigma^2} \right),$$

где  $Y(\Delta^0)$  — плотность вероятностей случайной погрешности  $\Delta^0$ .

Анализ выражения показывает, что при малых значениях  $\delta$  вероятнее получить малую погрешность измерений, чем при больших.

Рассмотрим оценки параметров распределения случайных погрешностей прямых измерений как основополагающих в измерительной технике.

Например, если было осуществлено  $n$  прямых измерений одной и той же величины, то в общем случае в каждом из актов измерений погрешность будет равной

$$\Delta_i = X_i - X_u,$$

где  $\Delta_i$  — погрешность  $i$ -го измерения;  $X_i$  — результат  $i$ -го измерения;  $X_u$  — истинное значение.

Так как истинное значение измеряемой величины неизвестно, то непосредственно случайную абсолютную погрешность вычислить не представляется возможным. При практических расчетах вынуждены вместо  $X$  использовать ее оценку.

Обычно принимают за истинное значение физической величины ее среднее арифметическое значение данных измерений:

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n = \sum X_i / n,$$

где  $X_i$  — результаты отдельных измерений;  $n$  — число измерений.

Аналогично относительно  $\Delta_i$  можно определить отклонение результата каждого измерения от среднего значения  $\bar{X}$ , т. е.  $\Delta_i = X_i - \bar{X}$ , а далее вычислить значение среднеквадратичной погрешности данного ряда измерений:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum (\Delta_i^2) / (n-1)}.$$

Согласно теории вероятностей, при достаточно большом числе измерений, имеющем независимые случайные погрешности, оценка  $\hat{\sigma}$  сходится по вероятности с  $\sigma$ . Поэтому

$$\sigma \approx \hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i^2) / (n-1)}.$$

Так как среднее арифметическое значение  $\bar{X}$  также является случайной величиной, имеет смысл понятие среднеквадратичного отклонения среднего арифметического значения  $\bar{X}$ . Эта величина обозначается  $\sigma_{cp}$  и определяется как

$$\sigma_{cp} = \sigma / \sqrt{n} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i^2) / (n(n-1))}.$$

Таким образом значение  $\sigma_{cp}$  характеризует степень разброса  $\bar{X}$ . Следовательно,  $\bar{X}$  определяется как оценка истинного значения измеряемой величины, а  $\sigma_{cp}$  является средней квадратичной погрешностью результата измерений.

Среднее арифметическое значение  $\bar{X}$ , полученное в результате вычислений, является оценкой истинного значения  $X_u$ , но не совпадает с его значением и отличается на значение погрешности. Для ее оценки вводятся понятия:  $P_\delta$  — доверительной вероятности, т. е.

$$P_\delta = P(-\Delta < X_u - \bar{X} < \Delta) \quad (3.6)$$

и доверительного интервала, т. е.

$$P_\delta = P(\bar{X} - \Delta < X_u < \bar{X} + \Delta). \quad (3.7)$$



Вероятность  $P_\delta$  называется доверительной вероятностью, а интервал значений измеряемой величины от  $(\bar{X} - \Delta)$  до  $(\bar{X} + \Delta)$  — доверительным интервалом.

Вышеуказанные неравенства обозначают, что с вероятностью  $P_\delta$  доверительный интервал от  $(\bar{X} - \Delta)$  до  $(\bar{X} + \Delta)$  соответствует истинному значению  $X_u$ .

Таким образом, чтобы характеризовать случайную погрешность достаточно полно, надо пользоваться двумя значениями — доверительной вероятностью и соответствующим ей доверительным интервалом.

Если закон распределения вероятностей погрешностей известен, то по заданной вероятности можно определить доверительный интервал. Например, при достаточно большом числе измерений ( $n > 20 \dots 30$ ) часто бывает оправданным использование нормального закона распределения погрешности, а при небольшом числе измерений ( $n < 20$ ), результаты которых принадлежат нормальному закону распределения, целесообразно пользоваться распределением Стьюдента. Это распределение погрешности имеет плотность вероятностей, практически совпадающих с нормальным законом при больших  $n$ , но значительно отличающуюся от нормального при малых  $n$ .

Наиболее практичной формой записи результата измерений является нижеследующая:

$$a; \Delta; \Delta_n \div \Delta_n; P_\delta,$$

где  $a$  — результат измерения в единицах физической величины;  $\Delta$  — погрешность измерения;  $\Delta_n$  и  $\Delta_n$  — верхняя и нижняя границы погрешности измерения;  $P_\delta$  — доверительная вероятность.

Метрологические свойства средств измерений описываются путем указания номинальных значений основных характеристик средства измерения и допускаемых отклонений от них. Специфической метрологической характеристикой средств измерений является их погрешность. Сведения о погрешностях средств измерений необходимы для оценки погрешностей измерений.

Показания, полученные с помощью средств измерений (или измерительных устройств), всегда в большей или меньшей степени отличаются от действительного значения измеряемой величины. Поэтому разность между показанием прибора  $X_{np}$  и истинным значением измеряемой величины  $X_u$  называется абсолютной погрешностью  $\Delta_{un}$  измерительного прибора (средства измерений):

$$\Delta_{un} = X_{np} - X_u. \quad (3.8)$$

Так как истинное значение измеряемой величины остается неизменным, то на практике вместо него пользуются действительным значением измеряемой величины, т. е. значением величины, определенной по отсчетному устройству средства измерений, принятого за эталон, и выраженной в единицах этой величины.

Отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к истинному значению измеряемой им величины называется относительной погрешностью и выражается в долях или процентах измеряемой величины.

На практике абсолютную погрешность обычно относят к показанию измерительного прибора, т. е.

$$\Delta_{\text{отн}} = (X_{\text{пр}} - X_u) / X_{\text{пр}}. \quad (3.9)$$

Величину относительной погрешности можно использовать в качестве одной из характеристик точности средства измерений.

Поправкой к показанию измерительного прибора называется величина, равная абсолютному значению абсолютной погрешности и противоположная ей по знаку

$$C = X_u - X_{\text{пр}}.$$

Для определения действительного значения измеряемой величины эта поправка должна быть алгебраически прибавлена к показанию измерительного прибора:

$$X_u = X_{\text{пр}} + C. \quad (3.10)$$

Метрологической характеристикой точности технических средств измерений являются пределы основной и дополнительной погрешностей.

Основной погрешностью называется погрешность средства измерений, используемого в нормальных условиях, определенных ГОСТами или другими техническими условиями на средства измерений.

Под нормальными условиями применения средств измерений следует понимать условия их эксплуатации, при которых влияющие величины (температура окружающего воздуха, давление окружающей среды, ее влажность, напряжение электропитания, частота тока, вибрация и т. п.) имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальных значений.

Дополнительной погрешностью называется погрешность средства измерений, вызываемая действием на него условий при отклонении их действительных значений от нормальных (нормативных) или при выходе за пределы нормальных значений.

Под пределами основной и дополнительной погрешностей следует понимать наибольшую (без учета знака) погрешность средства измерений, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению. Пределы допустимых основной и дополнительной погрешностей средств измерений устанавливаются в виде абсолютных и приведенных погрешностей.

**Приведенные погрешности средства измерений** (измерительного прибора) определяются отношением погрешности измерительного прибора к нормирующему значению, т. е. к верхнему пределу измерений, диапазону измерений, длине шкалы и др.

Средства измерений в зависимости от значения величины основной приведенной погрешности подразделяются на классы точности, которые представляют собой число, равное наибольшему допустимому значению основной погрешности в процентах, при этом у этого числа символ «процент» не указывается. Таким образом, цифра класса точности показывает значение, которое не превышает приведенную погрешность данного средства измерений при его использовании в этих условиях измерений.

Классы точности характеризуют свойства средств измерений в отношении точности, однако они не являются непосредственным показателем точности измерений, выполненных с помощью этих средств, так как точность зависит от метода измерений и условий выполнения измерений.

Классы точности, которые присваиваются средствам измерений, выбираются из ряда следующих чисел:  $K = (1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0) \cdot 10^n$ , где  $n = 1; 0; -1; -2; \dots$

Конкретные классы точности устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений. Чем меньше число, обозначающее класс точности, тем меньше пределы допускаемых погрешностей. Как правило, для средств измерений класс точности устанавливается не более значения 4,0.

### **3.4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

Средства измерений представляют собой совокупность технических устройств (средств), используемых при различных измерениях и имеющих нормированные метрологические свойства, т. е. отвечают требованиям метрологии в отношении единиц и точности измерений, надежности и воспроизводимости полученных результатов, а также требованиям к их размерам и конструкции.

**Основными средствами измерений являются измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.**

В основе построения любого технического средства измерений лежит определенный принцип действия, представляющий собой физический принцип — закон, явление, закономерность и т. п., заложенные в основу функционирования средства измерений конкретного вида. Например, термоэлектрический термометр (термопара) представляет собой комплект технических средств, состоящий из двух основных элементов: термоэлектрического преобразователя температуры (ТЭПТ) и электроизмерительного прибора — милливольтметра, соединенных между собой электрической связью (проводами). Принцип действия ТЭПТ основан на термоэлектрическом эффекте, а милливольтметра — на электромагнитной индукции (взаимодействие поля постоянного магнита с проводником в виде рамки, по которому протекает электрический ток). В результате процесса измерений на выходе любого средства измерений возникает сигнал измерительной информации о каком-либо явлении, событии, состоянии объекта или команды управления, оповещения и т. п. Этот сигнал может быть использован по месту его формирования, может быть преобразован к виду, удобному при его использовании в другом месте, и т. д. Таким образом, сигнал измерительной информации является носителем данных (параметров), формируемых с помощью измерительных устройств различного назначения, принципов действия, способов и методов измерений, выполненных с учетом их метрологического назначения.

Измерительные преобразователи (датчики) предназначены для формирования сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения. Измерительные преобразователи (ИП) подразделяются на следующие основные группы.

1. **Первичные преобразователи**, к ним подводится измеряемая физическая величина. Эти преобразователи являются первыми в измерительной цепи и предназначены для первичного преобразования измеряемой физической величины в форму, удобную для дальнейшего использования.

2. **Промежуточные преобразователи** занимают в измерительной цепи место после первичного преобразователя и предназначены для проведения необходимых преобразований (усиления, выпрямления, сглаживания и т. п.).

3. **Передающие преобразователи** предназначены для дистанционной передачи сигналов измерительной информации.

Преобразователи могут быть электрическими, пневматическими, гидравлическими, электропневматическими, пневмоэлектрическими и т. п.

Измерительные приборы предназначены для формирования сигнала измерительной информации (электрического, пневматического, оптического и др.) в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем. По форме выдачи информации измерительные приборы подразделяются на аналоговые, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины, и цифровые, показания которых являются дискретными и представляются в цифровой форме.

Сигналы измерительной информации могут быть естественными, не претерпевшими никаких преобразований, и преобразованными, претерпевшими целенаправленные преобразования для удобного их использования.

В зависимости от вида отображения информации измерительные приборы подразделяются на следующие группы.

1. *Показывающие* — приборы, которые обеспечивают отсчет показаний.

2. *Регистрирующие* — приборы, которые обеспечивают регистрацию показаний. Эта группа состоит из двух основных типов приборов: самопишущие, в которых показания записываются в виде диаграмм, и печатающие, в которых показания записываются в виде цифр.

3. *Интегрирующие* — приборы, в которых измеряемая величина интегрируется по времени или другой независимой переменной.

4. *Суммирующие* — приборы, показания которых функционально связаны с суммой двух или нескольких величин, подводимых к прибору по различным каналам.

**Измерительные установки** предназначены для формирования сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и представляют собой совокупность функционально объединенных мер, измерительных преобразователей, измерительных приборов и других вспомогательных устройств, расположенных в одном месте и объединенных единой конструкцией.

**Измерительные системы** предназначены для формирования сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления (АСУ), состоящих из совокупности измерительных средств и вспомогательных устройств, объединенных между собой соответствующими каналами связи.

Вышеперечисленные средства измерений состоят из звеньев — структурных элементов, важнейшими из них являются чувствительные и преобразующие элементы, измерительные, регистрирующие и отсчетные устройства.

**Чувствительный элемент** — часть первого в измерительной цепи преобразовательного элемента, находящегося под непосредственным воздействием измеряемой физической величины. В качестве чувствительных элементов применяются самые разнообразные, основанные на различных принципах действия устройства — от простейших механических рычагов, термоэлектродов, электролитических электродов до тензо- и оптоустройств, фотомножительных устройств, воспринимающих эффект воздействия на уровне элементарных частиц, и др.

**Преобразовательный элемент** — элемент, в котором происходят последовательные преобразования измеряемой физической величины.

С помощью средств измерений физические величины преобразуются в разнообразные выходные величины, используемые в качестве сигнала измерительной информации. Такие преобразования реализуются с помощью ряда структурных схем, основные из них представлены на рис. 3.2.

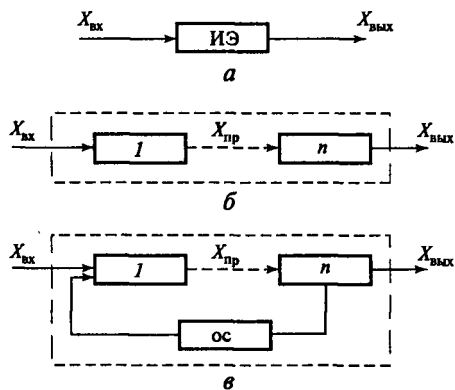


Рис. 3.2. Структурные схемы средств измерений: а) — простая; б) — последовательная; в) — с обратной связью

преобразуется в промежуточную выходную величину  $X_{пр}$  и далее, после одного или ряда преобразований, — в выходную величину  $X_{вых}$ , удобную для использования в измерительном и отсчетном устройствах или для передачи сигнала в каналы линий связи.

Наибольшее применение имеют структурные схемы построения средств измерений с обратными связями (рис. 3.2 в).

**Применение обратных связей (ОС)** обеспечивает возможность построения компенсационных измерительных устройств, обла-

В схеме (рис. 3.2 а) представлен один преобразующий элемент — первичный измерительный преобразователь ИЭ, с помощью которого измеряемая физическая величина  $X_{вх}$  непосредственно преобразуется в сигнал измерительной информации  $X_{вых}$  в виде естественной выходной величины. Эта схема широко реализуется в измерительных преобразователях и устройствах.

В схеме (рис. 3.2 б) представлена последовательность звеньев прямого преобразования, от элемента 1 до  $n$  звеньев, в которых измеряемая физическая величина  $X_{вх}$

дающих рядом существенных преимуществ в сравнении со схемами без обратных связей. Схемы с обратной связью имеют возможность учитывать результат своего действия, чтобы изменить его в случае необходимости, а также способностью функционировать независимо от некоторых внешних условий, так как они выполняют функции фильтра от возмущений и др.

Компенсационные измерительные устройства по точности преобразования превосходят системы прямого преобразования вследствие того, что измерение происходит почти без потребления энергии процесса и объект измерения мало нагружен. При разработке и конструировании средств измерений стремятся по возможности к максимальному применению обратных связей в системах преобразования сигналов.

**Измерительный механизм** — часть средства измерений, состоящая из элементов, взаимодействие которых вызывает их взаимное перемещение. Например, измерительный механизм милливольтметра, состоящий из постоянного магнита с деталями магнитопровода и подвижной рамки с пружинами или подвесками, через которые к ней (рамке) подводится электрический ток.

**Регистрирующее устройство** — часть средства измерений, предназначенная для записи показаний или представления их в цифровой форме.

**Отсчетное устройство** — часть средства измерений, предназначенная для отсчитывания значений измеряемой величины, например шкала и стрелка показывающего прибора.

Шкалой прибора называется часть отсчетного устройства, состоящая из совокупности отметок, представленных числами или символами, соответствующих ряду последовательных значений измеряемой физической величины. Шкалы измерительных приборов бывают прямолинейными, круговыми или дуговыми, равномерными или неравномерными. Они могут быть односторонними, двусторонними и безнулевыми. Измерительные приборы с одним диапазоном измерения имеют одинарную шкалу, с несколькими — двойную, тройную и т. д.

**Указателем прибора** называется часть отсчетного устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показания прибора. Указателем может быть стержень (стрелка), луч света, уровень (мениск) рабочей жидкости в измерительной трубке или пузырек воздуха в ней. Указатель является подвижным элементом, но в некоторых приборах предусматривается неподвижный указатель и вращающийся циферблат со шкалой.

Конструктивно измерительные приборы могут быть выполнены как одно целое, в общем корпусе, могут состоять из нескольких частей в различных корпусах. Приборы в одном корпусе

чаще являются местными; приборы, состоящие из нескольких частей, обеспечивают дистанционную передачу показаний.

Некоторые виды приборов выполняют ряд функций, обеспечивая одновременно выдачу показаний и запись измеряемой величины. Иногда они снабжаются интегрирующим устройством, дополнительным электроконтактным устройством, предназначенным для реализации автоматического регулирования или сигнализации предельных значений технологического параметра и т. п.

Преобразователи, измерительные механизмы приборов и другие элементы с учетом условий эксплуатации размещаются в специальные защитные корпуса, предохраняющие их от механических воздействий, влаги, пыли и агрессивных газов. По форме корпуса приборов могут быть квадратными, прямоугольными или круглыми, а по габаритам — большими, малыми и миниатюрными. Форма, размеры и способы крепления приборов определены стандартами. Для удобства монтажа, обслуживания и ремонта некоторые приборы снабжаются специальными устройствами, на которые крепятся основные детали и узлы измерительного механизма. Средства измерений, эксплуатируемые на производстве при измерении технологических параметров, проведении лабораторных и поверочных работ, подразделяются на образцовые и рабочие.

**Образцовое средство измерений** — это мера, измерительный преобразователь или прибор, служащие для проверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

**Рабочее средство измерений** — это измерительный преобразователь или прибор, предназначенные для измерений, не связанных с передачей размеров единиц физических величин другим средствам измерений.

Имеют место два режима работы измерительных средств: статический (установившийся) и динамический (неустановившийся). Оба режима преобразования входной величины в выходную определяются соответственно статическими и динамическими характеристиками.

**Статическая характеристика средства измерений** определяет функциональную зависимость между входной и выходной величинами в установившихся режимах работы. В этих режимах работы средства измерений статическая характеристика нарушается вследствие присущей средствам измерений инерционности.

**Динамическая характеристика средства измерений** определяет функциональную зависимость между входной и выходной величинами в неустановившихся (динамических) режимах работы средства измерений. Величина отклонений динамических характеристик от статических зависит от инерционных свойств средств измерений и его элементов.



Статические и динамические характеристики средств измерений оказывают большое воздействие на них как при измерениях, так и при их использовании в качестве преобразователей в системах автоматического регулирования и управления. Расчет этих систем невозможен без учета статических и динамических характеристик элементов данных систем в целях обеспечения оптимального их функционирования.

### 3.5. СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ И УСТРОЙСТВА СВЯЗИ С ОБЪЕКТОМ

Состав средств связи, преобразования и передачи информации по каналам связи зависит от структуры системы автоматизации технологического процесса и оборудования.

Технически это реализуется с помощью передающих преобразователей (ПП), каналов (линий) связи (ЛС), систем дистанционной передачи (СДП), устройств связи с объектом (УСО) и условиями согласования между собой.

Носителем данных (параметров), полученных в результате измерений, является сигнал измерительной информации или просто сигнал — это материальное свидетельство о каком-либо событии, явлении, состоянии объекта, а также команды управления, оповещения, отображения состояния объекта.

Формирование, передача, преобразование сигнала — это процесс изменения во времени и пространстве некоторой физической величины, характеризующей состояние объекта или информационной системы.

Различают сигналы: электрические, пневматические, гидравлические, оптические, механические и другие. Особое назначение в измерительной технике, в системах контроля и управления имеют электрические сигналы.

Сигналы могут быть непрерывными и дискретными. Непрерывный сигнал воспроизводит мгновенные значения физической величины. Дискретный сигнал формируется процессом квантования. Квантованием (дискретизацией) называется замена бесконечного большого числа возможных значений непрерывной величины рядом дискретных рациональных значений. Процесс квантования непрерывной величины  $X$  по времени  $t$ , представлен на рис. 3.3.

Осуществив процесс квантования, можно кодировать и переда-

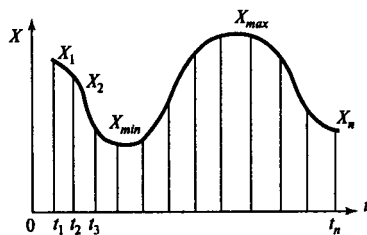


Рис. 3.3. Процесс квантования непрерывной величины

вать информацию с использованием кода, что обеспечивает большую надежность при передаче информации на большие расстояния и использования ее в цифровых системах контроля и управления.

В последнее время многие автоматизированные системы управления (АСУ) строятся на основе использования программно-технических комплексов (ПТК) и промышленных компьютеров, воспринимающих и выдающих, соответственно, входные и выходные сигналы. Обмен информацией в этих системах осуществляется через интерфейсные структуры, которые состоят из совокупности унифицированных аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации алгоритма взаимодействия различных функциональных блоков в автоматизированных системах обработки информации и управления, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной и конструктивной совместимости блоков системы.

Как правило, АСУ имеет два интерфейса: внутренний, обслуживающий управляющую ЭВМ, и интерфейс «Ввод-вывод», обслуживающий все устройства связи канала «Ввод-вывод». Оба этих интерфейса согласованы между собой, и это согласование реализуется через внутренний интерфейс компьютера.

Рассмотрим измерительные системы, архитектура которых определяется следующей схемой: передающий преобразователь (ПП) — линия связи (ЛС) — устройство связи с объектом (УСО).

**Передающий преобразователь или передающий измерительный преобразователь (ПП)** — это измерительный преобразователь, предназначенный для дистанционной передачи сигнала измерительной информации, функционирующей в комплекте с другими средствами измерений, входящими в состав СДП или УСО.

Вход ПП находится под воздействием какого-либо сигнала, пропорционального измеряемой физической величине, вырабатываемого первичным измерительным преобразователем (ПИП), т. е. датчиком, чувствительный элемент которого находится в непосредственном контакте со средой, физический параметр которой измеряется. Иногда в качестве ПП может быть использован ПИП, если его выходной сигнал отвечает требованиям, совпадающим с условиями передачи по линиям связи (ЛС) и по входу приемного устройства или УСО.

Современные ПИП часто выполняются как единое конструктивное целое с ПП, т. е. как модуль, такие технические средства измерений находят широкое применение в микропроцессорной технике.

Ряд ПИП (или модулей) имеют выходные сигналы, отвечающие требованиям ГСП, которые могут быть восприняты ПТК

АСУТП. Однако непосредственно их включить в управляющую систему не всегда возможно. Это можно осуществить лишь через УСО, так как только они обладают функцией гальванической развязки между источниками измерительного сигнала и другими элементами системы.

Таким образом, системы дистанционной передачи (СДП) — это комплекс технических средств, соединенных между собой линиями связи (ЛС) и обеспечивающих передачу сигналов измерительной информации от места ее формирования к устройствам измерения, контроля и управления, удаленных на расстояние до 2 ... 5 км.

Передающие устройства (ПП) и системы дистанционной передачи (СДП) подразделяются на две большие группы: с унифицированными сигналами, отвечающими требованиям ГСП, и с неунифицированными естественными сигналами, которые используются в том виде, в котором они получены с помощью измерительного преобразователя физической величины, не подвергшись дальнейшему преобразованию.

Широкое применение получили унифицированные преобразователи, функционирующие на принципе *силовой компенсации*. Принципиальная упрощенная схема унифицированного электросилового преобразователя приведена на рис. 3.4.

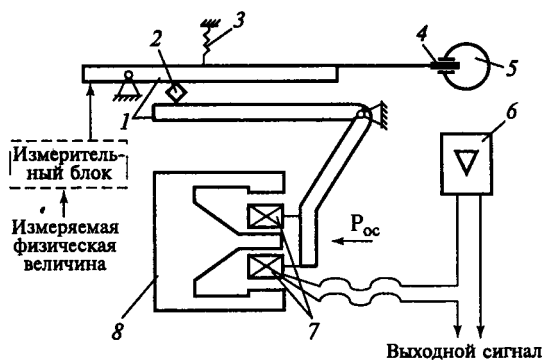


Рис.3.4.Принципиальная схема унифицированного электросилового преобразователя (пояснения в тексте)

Измеряемая физическая величина воздействует на чувствительный элемент измерительного устройства и преобразуется в усилие  $P$ , пропорциональное значению физической величины. Это усилие через рычажную систему 1 электросилового преобразователя уравнивается усилием  $P_{oc}$ , создаваемым магнитоэлектрическим устройством обратной связи. При изменении из-

меряемой физической величины и, следовательно, усилия  $P$  происходит незначительное (несколько микронов) перемещение рычажной системы 1 и связанного с ней управляющего флажка 4 индикатора рассогласования 5 дифференциально-трансформаторного типа, который преобразует это перемещение в управляющий сигнал в виде напряжения переменного тока. Управляющий сигнал поступает на нормирующий электронный усилитель 6. После усиления и выпрямления выходной сигнал в виде постоянного тока поступает в линию дистанционной передачи и одновременно в последовательно соединенные с ней обмотки рамок 7 магнитоэлектрического устройства 8 электросилового преобразователя, где он преобразуется в пропорциональное механическое усилие обратной связи  $P_{oc}$ , уравнивающее посредством рычажной системы 1 измеряемое усилие  $P$ .

Таким образом, мерой усилия  $P$  является сила постоянного тока, необходимая для создания уравнивающего усилия обратной связи  $P_{oc}$ . Пределы изменения выходного сигнала постоянного тока 0—5 или 4—20 мА, что обеспечивается использованием соответствующих типов электронных усилителей. Преобразователь настраивается на заданный диапазон измерения с помощью плавного изменения передаточного отношения рычажной системы 1, которое производится перемещением сухаря 2. Точная установка начального значения выходного сигнала преобразователя (нуля прибора) производится при помощи пружины 3 корректора нуля.

Некоторое применение получили приборы и устройства **частотно-ферродинамической системы**, в которых используются унифицированные сигналы в виде синусоидального напряжения промышленной частоты, изменяющегося по амплитуде, которая является функцией передаваемой величины. В приборах и устройствах этой системы для получения унифицированных сигналов обычно используется промежуточное преобразование входной величины в линейное перемещение или угол поворота, воспринимаемые ферродинамическими или струнными преобразователями и преобразуемые ими в унифицированный сигнал.

На использовании ферродинамического преобразователя в качестве датчика угловых перемещений в унифицированный электрический сигнал переменного тока *основано функционирование ферродинамической системы дистанционной передачи*, заключающееся в компенсации ЭДС, получаемой от датчика передающего устройства, ЭДС ферродинамического преобразователя (рис. 3.5).

Ферродинамическая система (рис. 3.5) состоит из первичного преобразователя (датчика) 1 измерительного устройства, линий связи 5 и элементов приемного устройства: преобразователя 2,

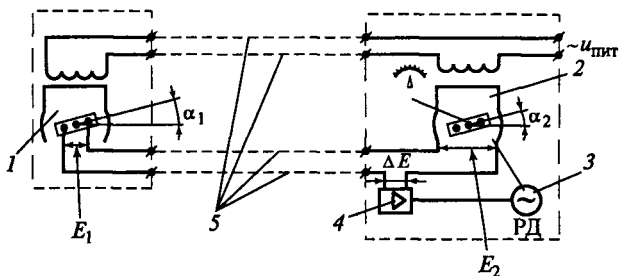


Рис. 3.5. Принципиальная электрическая схема ферродинамической системы дистанционной передачи (пояснения в тексте)

электронного усилителя 4 и реверсивного электродвигателя 3. Рамки дифференциальных преобразователей 1 и 2 соединены последовательно так, что развиваемые ими ЭДС направлены навстречу друг другу, поэтому на вход электронного усилителя 4 подается разность ЭДС с обоих датчиков, т. е.  $\Delta E = E_1 - E_2$ .

Если  $\Delta E = 0$ , система находится в равновесии. Если положение рамки преобразователя 1 под воздействием измеряемого параметра изменится на угол  $\alpha_1$ , изменится также ЭДС и станет равной  $E_1$ . Равновесие системы будет нарушено, и на вход усилителя 4 будет подана ЭДС  $\Delta E$ , которая после усиления поступает на электродвигатель 3. При вращении электродвигатель перемещает рамку преобразователя вторичного прибора до наступления момента равенства углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  и, следовательно, равенства ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ .

Ферродинамическая система дистанционной передачи хорошо зарекомендовала себя благодаря надежности, простоте и удобству эксплуатации, универсальности, высоким метрологическим характеристикам и может передавать сигналы на расстояние до 5 км.

Для формирования унифицированных сигналов постоянного тока находят широкое применение *тензорезисторные преобразователи «Сапфир»*. Принцип их действия основан на использовании тензорезисторного эффекта в монокристаллической гетероэпитаксиальной пленке кремния, выращенной на сапфирной мембране (КНС-структуре). Под действием измеряемой физической величины происходит деформация сапфировой мембраны, и в кремниевых тензорезисторах возникают механические напряжения, их сопротивления изменяются, что вызывает появление на выходе электрического сигнала, который с помощью нормирующего усилителя приводится к унифицированному виду 0+5, 0+20 и 4+20 мА.

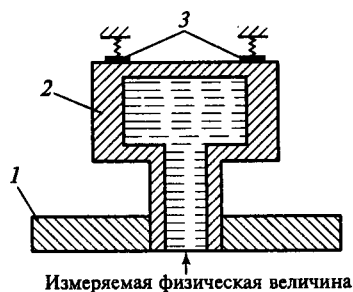


Рис. 3.6. Унифицированный тензорезисторный преобразователь «Сапфир» (пояснения в тексте)

Чувствительный элемент преобразователя «Сапфир» представляет собой тензомодуль мембранного или мембранно-рычажного типа, который размещается внутри полости измерительного блока первичного преобразователя, заполняемой полиметилсилоксановой жидкостью. Конструкция унифицированного тензорезисторного преобразователя приведена на рис. 3.6.

Он состоит из основания 1, на котором укреплен тензомодуль 2 мембранного типа с нанесенными на него в виде монокристаллической пленки чувствительными элементами 3. Изменение сопротивления тензорезисторов, пропорциональное изменению измеряемой физической величины, воздействующей на прогиб мембраны, преобразуется с помощью встроенного электронного устройства в токовый выходной сигнал.

Достоинствами тензорезисторных преобразователей являются быстрое действие, повышенная виброустойчивость, малые габаритные размеры и масса.

В системах дистанционной передачи с естественными сигналами, сигнал измерительной информации, подаваемый в линию связи от передающего преобразователя, не приводится к унифицированному (нормализованному) виду. При этом использование естественных сигналов менее удобно, чем унифицированных, однако преобразователи и системы дистанционной передачи с естественными сигналами широко применяются. Это можно объяснить тем, что они были разработаны до создания и внедрения системы ГСП. Например, в ряде случаев, при выполнении локальных задач по измерению температуры, давления, уровня и т. п. они проще и дешевле преобразователей и систем с унифицированными сигналами, так как к ним не предъявляются жесткие требования функционирования в едином комплексе с другими устройствами и приборами.

Широкое распространение имеет дифференциально-трансформаторная система, нашедшая применение для непрерывного измерения давления, расхода, уровня, разряжения и других параметров, контролируемых при ведении технологических процессов. Устройства этой системы могут быть совместимы с устройствами электрической аналоговой ветви ГСП. Схема дифференциально-трансформаторной системы дистанционной передачи представлена на рис. 3.7.

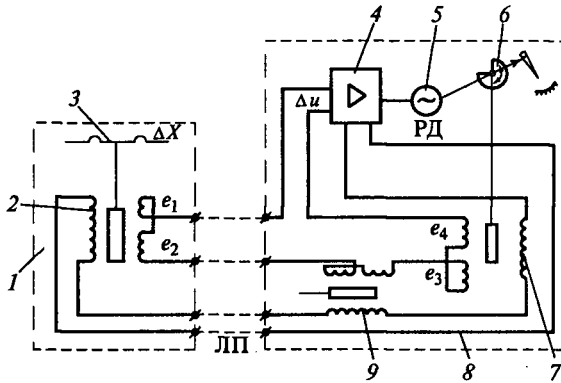


Рис. 3.7. Принципиальная схема дифференциально-трансформаторной системы дистанционной передачи (пояснения в тексте)

Принцип действия этой системы основан на компенсации разности трансформированных напряжений в катушках передающего устройства 1 и приемного устройства 8. С изменением измеряемого параметра меняется положение чувствительного трансформатора 2. Вследствие изменения сердечник дифференциального трансформатора. Вследствие изменения взаимной индукции между первичной обмоткой возбуждения и двумя вторичными обмотками, включенными навстречу друг другу, перемещение сердечника передающего устройства преобразуется в напряжение электрического тока. Дифференциальное действие катушки основано на том, что перемещение сердечника в определенном направлении вызывает соответствующее изменение напряжения в одной из вторичных обмоток и обратное изменение напряжения в другой.

В систему входят три одинаковые катушки: дифференциальный трансформатор передающего прибора 2, дифференциальный трансформатор приемного устройства 7 и дифференциальный трансформатор регулировки нуля (служащий для настройки системы) 9, а также электронный усилитель 4 и двухфазный реверсивный асинхронный электродвигатель 5, приводящий в движение с помощью профильного кулачка 6 сердечник катушки 7. С выходным валом реверсивного двигателя 5 соединена стрелка отсчетного устройства измерительного прибора. Первичные обмотки катушек соединены последовательно и питаются переменным током от силового трансформатора, установленного в блоке электронного усилителя 4. Вторичные обмотки включены встречно и подключены на вход электронного усилителя.

Когда сердечник катушки 2 находится в среднем (нейтральном) положении, ЭДС, индуцируемые во вторичных обмотках  $E_1$

и  $E_2$ , равны и направлены навстречу друг другу. Это положение определяется равенством  $\Delta U_1 = E_1 - E_2$ .

Если сердечник катушки 7 тоже находится в среднем положении, разность ЭДС во вторичных обмотках этой катушки  $E_3$  и  $E_4$  также равна нулю:  $\Delta U_2 = E_3 - E_4 = 0$ .

Из равенства следует, что при одинаковых параметрах катушек напряжение на входе в усилитель равно нулю и система находится в покое. В этом случае сигнал разбаланса равен нулю и можно записать  $\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 = 0$ .

При отклонении положения сердечника катушки 2 от нейтрального изменяется распределение магнитных потоков во вторичных обмотках. Следовательно, индуцируемые в них ЭДС не будут равны друг другу и в цепи возникнет ток, напряжение которого определится выражением  $\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2$ .

Величина этого напряжения является функцией перемещения сердечника катушки 2, а фаза зависит от направления отклонения сердечника от среднего положения.

Сигнал разбаланса  $\Delta U$  подается на вход электронного усилителя 4 и после усиления поступает на обмотку управления реверсивного двигателя 5, который с помощью кулачка 6 перемещает сердечник катушки 7 до тех пор, пока разность напряжений  $\Delta U$  вновь не станет равной нулю. Одновременно с перемещением сердечника перемещается стрелка отсчетного устройства и перо пишущего механизма, связанные с реверсивным двигателем. Таким образом, каждому положению сердечника катушки 2 первичного прибора соответствует определенное положение сердечника катушки 7 вторичного прибора.

Основная погрешность дифференциально-трансформаторной системы при передаче на расстояние до 250 м составляет  $\pm 0,5 \pm 1,0\%$ , а на расстояние до 1 км соответственно  $\pm 2,5\%$ .

Распространенной системой дистанционной передачи показаний измерительных средств на расстояние является *реостатная (омическая) система*, принцип действия которой основан на использовании реостатных датчиков и электроизмерительных приборов в качестве измерительных устройств. Реостатные датчики применяются для преобразования сигналов, формируемых при перемещении чувствительных элементов преобразователей или измерительных приборов, в сигналы электрического напряжения или силы тока, подаваемые в линии связи или последующие преобразователи. Переменным параметром является активное проволочное или непроволочное сопротивление, распределенное линейно или по заданному закону на пути перемещения движка реостатного датчика или потенциометра.



Существует большое количество конструкций реостатных датчиков: каркасные, ленточные и др.

Недостатками реостатных датчиков являются применение скользящих электрических контактов, необходимость больших применений движков, что требует значительных усилий, а также большое влияние изменения сопротивления соединительных линий.

Находит применение *индуктивная система дистанционной передачи*, которая функционирует по принципу самоуравновешивающегося моста переменного тока. Она состоит из двух электрических катушек, соединенных в мостовую схему. Каждая катушка содержит по две секции, представляющие собой соленоиды, внутри которых свободно перемещаются железные плунжеры-сердечники. Одна из катушек устанавливается в передающем устройстве, и ее сердечник связывается с любым из его движущихся элементов. Вторая катушка устанавливается в приемном устройстве, и его сердечник, повторяя движение сердечника передающего устройства, приводит в движение записывающий или показывающий механизм.

ПИП (датчики) требуют больших усилий для перестановки сердечника, что обуславливает их погрешность порядка  $\pm 2 \div 2,5\%$ . Расстояние между датчиками и прибором определяется предельно допустимым сопротивлением соединительных проводов, которое не должно быть более 3 Ом.

Большое применение имеют *сельсинные системы передачи*, которые основаны на использовании сельсинов — небольших электрических машин переменного тока. Эти системы иногда называют индукционными самосинхронизирующими системами переменного тока и состоят из двух электрически связанных друг с другом и совершенно одинаковых асинхронных машин. Одна из них является датчиком, а другая — приемником. Принципиальная электрическая схема сельсинной системы дистанционной передачи представлена на рис. 3.8.

Из схемы видно, что однофазные обмотки статоров  $C$  сельсин-датчика  $CD$  и сельсин-приемника  $CP$  подключены к напря-

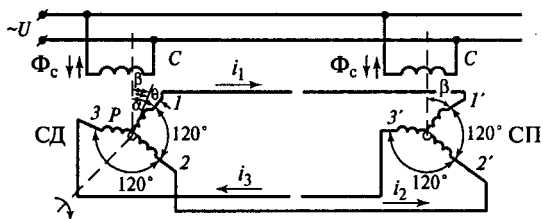


Рис. 3.8. Принципиальная электрическая схема сельсинной системы дистанционной передачи (пояснения в тексте)

жению питания с угловой частотой  $\omega$ , а трехфазные обмотки роторов  $P$  обоих сельсинов соединены соответствующими линиями связи. Переменное напряжение питания создает в статорных обмотках обоих сельсинов пульсирующие магнитные потоки, величины которых определяются следующим выражением:

$$\Phi_c = \Phi_m \sin \omega t. \quad (3.11)$$

Направления потоков совпадают с направлениями осей стартовых обмоток. Потоки индуцируют в фазных обмотках роторов ЭДС, величины которых зависят от расположения их осей относительно осей обмоток статоров. При одинаковом положении роторов сельсин-датчика и сельсин-приемника по отношению к соответствующим стартовым обмоткам, когда угол  $\beta$  равен углу  $\alpha$ , эти ЭДС, индуцируемые в фазных обмотках 1-1', 2-2', 3-3', равны между собой по величине и противоположны по напряжению. Поэтому результирующие ЭДС в каждой паре соединенных между собой фазных обмоток равны нулю и ток в цепях роторов отсутствует. В этом случае можно записать  $i_1 = i_2 = i_3 = 0$ .

Если в результате внешнего воздействия ротор сельсин-датчика в какой-то момент повернется относительно ротора сельсин-приемника на некоторый угол  $\theta$ , называемый углом рассогласования, то в соответствующих фазовых обмотках обоих роторов ЭДС не будут равны, так как в этом случае обмотки роторов занимают неодинаковое положение относительно осей обмоток статоров. При этом результирующие ЭДС в фазных обмотках роторов не будут равны нулю и в их цепях возникнут уравнивающие токи  $i_1, i_2, i_3$ .

Так как уравнивающие токи, протекающие в соответствующих цепях датчика и приемника, имеют противоположные направления, то и моменты, возникающие на их осях, действуют в противоположных направлениях.

Таким образом, появившийся синхронизирующий момент на оси ротора сельсин-приемника стремится привести его в одинаковое положение с положением ротора сельсин-датчика, т. е. при возникновении угла рассогласования синхронизирующий момент, появившийся на оси сельсин-приемника, стремится установить свой ротор в положение, при котором угол  $\theta$  равен нулю.

### 3.6. МОДУЛЯЦИЯ И ДЕМОДУЛЯЦИЯ СИГНАЛОВ

Часто электрические сигналы выражаются и передаются от одних устройств системы к другим в виде сигналов, образуемых путем модуляции, т. е. путем изменения параметров какого-либо

*носителя*. Носителями могут быть постоянный ток, переменный синусоидальный ток или напряжение и импульсный ток.

Постоянный ток имеет только один параметр — силу тока (или напряжение), поэтому модуляция постоянного тока состоит в изменении силы тока (или напряжения), т. е. значение измеряемой величины  $x$  меняется во времени и представляет собой некоторую функцию  $x(t)$ . При этом значение напряжения при модуляции изменяют по линейному закону в функции  $x(t)$  таким образом, что модулированный сигнал имеет следующий вид:

$$U_x(t) = U_0 + k(t), \quad (3.12)$$

где  $U_0$  — значение несущего напряжения до модуляции;  $k$  — коэффициент.

Частным случаем является изменение напряжения, пропорциональное функции  $x(t)$ , при котором  $U_0 = 0$ . Этот случай широко применяется в промышленных технических средствах СДП.

При модуляции постоянного тока (напряжения) частотный спектр сигнала  $U_x(t)$  имеет такую же форму и такой же частотный диапазон, как и спектр исходного сообщения  $x(t)$ , отличаясь от него только коэффициентом. Коэффициент может иметь различные размерности. Поэтому модулированный сигнал  $U_x(t)$ , в отличие от носителя, не является сигналом постоянного тока.

Модуляция переменного тока осуществляется следующим образом. Переменное синусоидальное напряжение до модуляции имеет вид

$$U_0(t) = U_{m0} \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (3.13)$$

где  $U_{m0}$  — амплитуда;  $\omega_0$  — круговая частота;  $\varphi_0$  — начальная фаза.

Модуляции может подвергаться любой из трех параметров, а также два или три параметра одновременно. При этом моделируемый параметр связан со значением измеряемой величины  $x$  линейной зависимостью.

Часто используется амплитудная модуляция, которая состоит в изменении амплитуды по закону

$$U_m = U_{m0} + kx(t). \quad (3.14)$$

При этом выходной сигнал имеет вид

$$U(t) = [U_{m0} + kx(t)] \sin(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (3.15)$$

Амплитудный модулятор представляет собой усилитель с управляемым коэффициентом усиления  $K_y$ . На один вход его подается несущее колебание  $U_0(t)$  от синусоидального генератора, а на другой вход, управляющий коэффициентом усиления, величина

на, линейно связанная с сообщением  $x(t)$ , например сигнал  $U_x(t)$ , образованный модуляцией постоянного напряжения.

Восстановить передаваемый сигнал можно с помощью амплитудного демодулятора, представляющего собой сочетание выпрямителя с частотным фильтром, который сглаживает колебания частоты  $\omega_0$ , но пропускает более медленные колебания, соответствующие спектру частотной функции  $x(t)$ . Сигнал на выходе пропорционален  $U_x(t)$ . Фазовая модуляция состоит в изменении начальной фазы колебания по следующему закону:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \Delta\varphi kx(t). \quad (3.16)$$

При этом модулированный вид будет описываться выражением

$$u(t) = U_{m0} \sin[\omega_0 t + \Delta\varphi kx(t) + \varphi_0]. \quad (3.17)$$

Процесс фазовой модуляции состоит в воздействии сигнала вида

$$U_x(t) = U_0 + kx(t)$$

на элемент генератора синусоидальных колебаний, определяющий значение начальной фазы. Демодуляция состоит в определении начальной фазы модулированного сигнала путем сравнения их со значениями начальной фазы немодулированного сигнала.

Дополнительные трудности при использовании фазовой модуляции возникают из-за необходимости передачи по отдельному каналу опорного сигнала.

Частотная модуляция состоит в изменении частоты по линейному закону функции  $\omega$ . Частота становится функцией времени:

$$\omega(t) = \omega_0 + kx(t). \quad (3.18)$$

Так как частота — величина переменная, то замена  $\omega_0$  в уравнении фазовой модуляции на  $\omega(t)$  недопустима. Следовательно, общее выражение имеет вид

$$u(t) = U_{m0} \sin[\theta(t)], \quad (3.19)$$

где  $\theta(t)$  — мгновенное значение фазы, которое имеет вид  $\theta(t) = \int \omega(t) dt$ . С учетом этого уравнение частотной модуляции может быть записано в следующем виде:

$$u(t) = U_{m0} \sin[\omega_0 t + k \int x(t) dt + \varphi_0]. \quad (3.20)$$

Практически процесс частотной модуляции состоит в том, что сигнал  $U_x(t)$  воздействует на частотоподающий элемент генератора (преобразователя), определяющий частоту его выходных колебаний.

Импульсный ток (напряжение) используют в качестве носителя информации так же, как и синусоидальные колебания. При этом выбирают периодическую последовательность импульсов прямоугольной формы, которая определяется следующими параметрами:  $U_{m0}$  — амплитуда;  $T_0$  — период или обратная ему величина — частота  $f_0 = 1/T_0$ ; продолжительность (ширина) импульсов —  $t_{i0}$ . Отношение периода к продолжительности импульса называется скважностью импульсов:

$$\mu_0 = T_0/t_{i0}. \quad (3.21)$$

Различаются следующие виды импульсной модуляции: амплитудно-импульсная; частотно-импульсная; широтно-импульсная; фазоимпульсная.

Демодуляция осуществляется различными способами. Один из них, наиболее распространенный, заключается в использовании частотно-зависимого контура, на выходе которого амплитуда колебаний зависит не только от амплитуды входного напряжения, но и от его частоты. Далее он преобразует эти колебания, модулированные по частоте, в колебания, модулированные по амплитуде. Затем амплитудный демодулятор выдает сигнал вида  $U_x(t)$ .

В каждом из рассмотренных видов модуляций модуляция сигналов и их демодуляция реализуются с помощью специальных аппаратных и программных средств.

В последнее время широкое распространение в измерительной технике получили цифровые системы управления, в которых широко применяется кодово-импульсная модуляция (КИМ). Она реализуется следующим образом: сначала непрерывную функцию  $x(t)$  подвергают дискретизации по времени с периодом  $T$ , выбирая таким образом набор дискретных ординат  $x_i$ , чтобы затем с требуемой точностью восстановить исходную функцию  $x(t)$ . Далее каждое значение  $x_i$  подвергают преобразованию в цифровую форму. Числа  $N_i$ , соответствующие значениям ординат  $x_i$ , представляют в форме Кодовых комбинаций импульсов, т. е. в форме сигналов КИМ. Это кодирование обладает высокой помехоустойчивостью.

Удобно применять машинный код, т. е. кодирование, при котором элементы имеют лишь два значения «0» и «1». Поэтому такое кодирование приобрело в измерительной технике широкое применение.

При образовании сигнала из двух значений каждый элемент кода может быть выражен импульсом, у которого один из параметров принимает два значения. Таким параметром может быть амплитуда (или продолжительность) импульса. Если одно из двух значений этого параметра принимается равным нулю, то символ

«0» означает отсутствие импульса, т. е. паузу, а символ «1» — наличие импульса. При выборе амплитуды в качестве измеряемого параметра можно в частном случае символы «0» и «1» обозначить равными, но противоположными по полярности амплитудами.

Когда элементы сигнала имеют только два значения основного параметра, их можно различить при приеме, даже на фоне значительных помех, которые поступают в каналах связи. Кроме того, для их получения, преобразования и хранения используются наиболее надежные элементы промышленной электроники, имеющие по два возможных состояния — ключи, триггеры, логические схемы и др. Такие элементы поддаются интегральному исчислению, поэтому аппаратура, выполненная на их основе, получается малогабаритной, надежной, дешевой и помехоустойчивой. На таких элементах строится вся цифровая вычислительная техника.

Двоичный (машинный) код, образуемый двумя символами «0» и «1», является наиболее экономичным, широко используемым в вычислительной и управляющей технике и соответственно в аппаратуре промышленной автоматики.

**Основными элементами** в дискретной технике являются аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (соответственно АЦП и ЦАП), реализующие дискретизацию, квантование и кодирование информации, а также ее декодирование.

*Аналого-цифровые преобразователи* предназначены для автоматического преобразования измеряемой аналоговой величины в дискретную, представленную в виде цифрового кода. Согласно методу построения, АЦП можно подразделить на три группы: с время-импульсным преобразованием, частотно-импульсным преобразованием и поразрядного уравнивания.

В основу *время-импульсного метода* положено преобразование измеряемой величины в интервал времени, заполняемый затем импульсами со стабильной частотой следования (счетными импульсами). АЦП, использующие этот метод, применяются для преобразования временного интервала, напряжения, частоты, разности фаз и других величин в код.

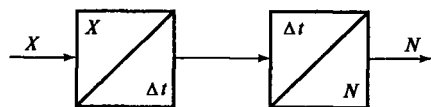


Рис. 3.9. Функциональная схема (упрощенная) аналого-цифрового преобразователя с время-импульсным преобразованием

На рис. 3.9 представлена функциональная схема (упрощенная) аналого-цифрового преобразователя с время-импульсным преобразованием.

Она включает два преобразователя. Первый преобразует величину  $X$  в интервал времени  $\Delta t$ , а второй — интервал времени

$\Delta t$  в последовательность импульсов  $N$ , т. е. в цифровой код. Схема АЦП с частотно-импульсным преобразованием представлена на рис. 3.10.

Входное напряжение поступает на генератор импульсов ГИ с управляемой частотой следования  $f_x$ , которая управляется входным напряжением  $u_x$  в соответствии с формулой  $f_x = ku_x$ , где  $k$  — известный коэффициент пропорциональности.

Устройство управления УУ запускает генератор импульсов калиброванной продолжительности ГИКД, который управляет временным селектором ВС, открывая его на время  $T_0$ . Число кодовых импульсов, поступающих на выход, будет равно  $N \approx T_0/T = T_0 f_x$ . Таким образом, средняя за время  $T_0$  частота будет пропорциональна входному напряжению.

Работа АЦП поразрядного уравнивания основана на сравнении измеряемого напряжения  $u_x$  с набором образцовых напряжений ряда  $u_{01} u_{02} \dots u_{0n}$ , составленному по определенному закону, например в соответствии с разрядами двоичной системы счисления. Эти напряжения сравниваются с измеряемым с помощью специального тактового устройства и устройства сравнения, и путем подбора происходит отыскивание напряжения, наиболее близкого к входному.

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) предназначены для преобразования цифрового кода в аналоговую величину, однородную с измеряемой. Существует несколько видов ЦАП, однако в каналах СДП и УСО широкое применение получили ЦАП *весового типа*. На рис. 3.11 представлена схема цифро-аналогового преобразователя весового типа.

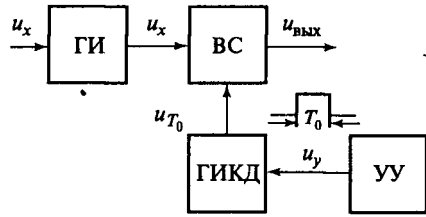


Рис. 3.10. Функциональная схема АЦП с частотно-импульсным преобразованием

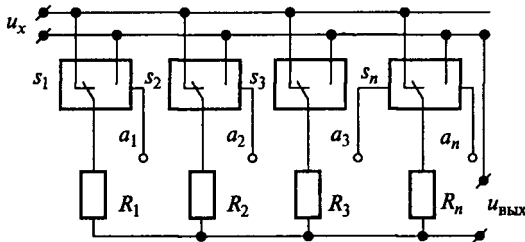


Рис. 3.11. Схема цифро-аналогового преобразователя весового типа

Резисторы  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  подбираются таким образом, чтобы их проводимости имели соотношения как весовые коэффициенты управляющего двоичного кода, т. е. так, чтобы  $(1/R_n)/(1/R_{n-1}) = \dots = (1/R_2)/(1/R_1) = 2$ .

При этом выходное напряжение будет иметь значение

$$U_{\text{вых}} = AE \sum_{i=1}^n k_i 2^{i-1}, \quad (3.22)$$

где  $A$  — коэффициент пропорциональности;  $E$  — образцовое напряжение;  $n$  — число разрядов управляющего двоичного кода, поступающего на входы  $a_1, a_2, a_n$ ;  $i$  — номер разряда,  $k_i$  — разрядный коэффициент, который может принимать значение «0» или «1» в зависимости от положения ключа  $S_i$ .

В свою очередь, положение ключей управляется кодовыми импульсами, поступающими на входы  $a_1, a_2, a_n$ . В результате цифровой код оказывается преобразованным в пропорциональное аналоговое напряжение.

### 3.7. УСТРОЙСТВА СВЯЗИ С ОБЪЕКТОМ (УСО)

Аппаратура, предназначенная для сопряжения по соответствующим каналам связи датчиков (измерительных преобразователей) с исполнительной аппаратурой автоматизации и преобразования информации, т. е. с автоматическими регулирующими устройствами, техническими средствами показания, записи, сигнализации измеряемых и регулирующих параметров, относится к устройствам связи с объектом (УСО). Таким образом, УСО предназначены для ввода сигналов с датчиков в устройства обработки и вывода сигналов для управления исполнительными механизмами.

Модули ввода/вывода являются локальными, УСО и осуществляют первичную обработку непрерывных и дискретных сигналов от входных датчиков и выдачу управляющих воздействий на ИМ. Каждый модуль имеет выход в технологическую сеть на основе интерфейса. Обработанный сигнал преобразуется модулем в защитный цифровой код для дальнейшей передачи в сеть. Из сети модуль получает команды на выдачу управляющих воздействий. Вычислительные мощности модулей обеспечивают также выработку дополнительных сигналов о выходе значения за допустимые пределы, синхронизацию ведения единого времени системы, взаимодействие с минипультотом и т. п.

Каждый модуль представляет собой функционально законченное устройство, все модули имеют единую конструкцию, интерфейс и питание.



Модули УСО выполняют:

- ввод аналоговых сигналов среднего уровня  $\pm 10$  В;  $\pm 5$  мА;  $\pm 20$  мА; 4+20 мА (в том числе с подавлением помех нормального и общего вида, с гальванической развязкой);

- ввод аналоговых сигналов низкого уровня от термоэлектрических преобразователей (термопар) и термометров сопротивления (в том числе с применением выносных преобразователей, имеющих искробезопасное исполнение);

- ввод аналоговых сигналов переменного тока от вращающихся и дифференциальных трансформаторов;

- ввод дискретных сигналов постоянного напряжения и тока: 6; 12; 48; 110; 220 В; 5 мА; 20 мА; «сухой контакт» (в том числе инициативных сигналов); сигналов напряжения переменного тока 24; 110; 220 В;

- ввод импульсных (число-импульсных и время-импульсных) и частотных сигналов;

- вывод (формирование) аналоговых сигналов напряжения и тока  $\pm 10$  В,  $\pm 5$  мА,  $\pm 20$  мА;

- вывод (формирование) гальванически развязанных дискретных сигналов постоянного напряжения от 5 до 48 В (в том числе с контролем линии связи и с защитой от перегрузок);

- вывод (формирование) импульсных сигналов напряжения до 24 В (в том числе с заданным периодом следования и с заданной длительностью);

- вывод дискретных сигналов постоянного и переменного тока для управления исполнительными механизмами путем коммутации исполнительных цепей с токами до 10 А при напряжении до 220 В (с применением выносных бесконтактных и релейных формирователей);

- вывод (формирование) сигнала управления асинхронными электродвигателями (с применением выносных бесконтактных пускателей 220/380 В на ток от 5 до 25 А, обеспечивающих включение, реверс, динамическое торможение, защиту от перегрузок); обеспечивается метрологическая аттестация каналов связи с объектом.

В современной автоматике большое число автоматических систем управления формируются на основе применения промышленных компьютерных систем, выполняющих функции центрального элемента (звена) сбора, обработки информации, а также выработки и передачи управляющих сигналов на исполнительные устройства.

К промышленным компьютерным системам предъявляются специфические требования, которые, в основном, определяются условиями эксплуатации в производственных помещениях. Спе-

цифичность этих условий определяется повышенным содержанием пыли и влаги в окружающей среде, изменениями температурных режимов, повышенной вибрацией, наличием сильных электромагнитных полей и т. д.

**Устройства связей «датчик — человек — компьютер»** должны быть выполнены с учетом жестких условий эксплуатации, требований представления информации человеку-оператору, а также возможности оперативного вмешательства в процесс управления.

*Важным компонентом любой автоматизированной системы управления технологическими процессами является УСО — устройство связи с объектом. УСО предназначено для сопряжения аппаратуры (Д или ПИП), исполнительных механизмов (ИМ), управляемого (контролируемого) объекта (технологического процесса) с вычислительными и управляющими средствами компьютерных систем.*

Основные функции УСО.

1. **Нормализация аналогового сигнала** — приведение границ шкалы первичного непрерывного сигнала Д или ПИП к одному из стандартных диапазонов входного сигнала аналого-цифрового преобразователя (АЦП) измерительного канала. В настоящее время наибольшее распространение получили сигналы по напряжению:  $0 \div +5$  В,  $-5 \div +5$  В,  $0 \div +10$  В; по току:  $0 \div 20$ ,  $4 \div 20$  мА. Ряд ПИП (или датчиков) имеют входные сигналы, отвечающие требованиям ГСП, которые могут быть восприняты управляющей частью ПТК АСУТП или промышленным компьютером. Однако непосредственно их включать в систему не всегда можно. Осуществить это возможно лишь посредством УСО, так как только они обладают функцией гальванической развязки между источниками измерительного сигнала и другими элементами системы.

2. **Предварительная низкочастотная фильтрация аналогового сигнала**, т. е. ограничение полосы частот первичного непрерывного сигнала в целях снижения влияния на результат измерения помех различного происхождения. На промышленных объектах наибольшее распространение получили помехи с частотой сети переменного тока, а также хаотические импульсные помехи, вызванные влиянием на технические средства измерительных переходных процессов и наводок при коммутации исполнительных механизмов повышенной мощности.

3. **Обеспечение гальванической изоляции (развязки)** между источником аналогового или дискретного сигнала и измерительными или другими статусными каналами системы. Это относится и к изоляции между каналами дискретного вывода системы и управляемым силовым оборудованием. Кроме собственно защиты входных и выходных цепей гальваническая изоляция позволяет

снизить влияние на систему помех по цепям заземления за счет полного разделения оборудования вычислительной системы и контролируемого оборудования. При этом УСО может выполнять некоторые специальные задачи с помощью наличия в системе других цепей и интерфейсов. К этим задачам можно отнести: защиту от перенапряжения; фильтрацию высоких частот; подавление помех на частоте 50 Гц, а также специфические функции, связанные с особенностями обслуживания конкретной системы. В схемах и конструкциях УСО должны быть определены требования по надежности, удобству обслуживания, возможности «наращивание-расширение» и др.

Для реализации указанных задач и функций УСО разрабатывается и конструктивно изготавливается широкая номенклатура модулей. Каждый модуль выполняется в виде функционально законченного устройства (платы), заключенного в соответствующий корпус и оснащенного клеммами, штырьевыми или другими соединителями для входных и выходных цепей. Модули УСО, как правило, монтируются на стандартных несущих рельсах, которые можно объединить в монтажные панели. Такая конструктивно-технологическая схема наиболее распространена для УСО как зарубежного, так и отечественного производства.

Модуль УСО конструктивно и функционально состоит из ряда элементов, входящих в состав УСО любой конфигурации, предназначенных в первую очередь для выполнения основных функций, указанных выше, а конкретнее — для нормализации (нормирования) сигналов, фильтрации сигналов и обеспечения гальванической изоляции (развязки).

Измерительные усилители (ИУс) предназначены для усиления уровня входного напряжения тока и введения его в диапазон нормирования, удобный для последующих преобразований или индикации. ИУс выполняют следующие требования: обеспечение большого коэффициента усиления, постоянство коэффициента усиления; минимальное выходное напряжение и его изменение (дрейф) при нулевом напряжении на выходе; максимальное входное сопротивление; минимальная инерционность.

Этим требованиям, предъявляемым к ИУс, удовлетворяют усилители постоянного тока в интегральном исполнении с глубокой отрицательной связью, т. е. операционные усилители (ОУ). Операционные усилители с глубокой отрицательной обратной связью удовлетворяют вышеуказанным требованиям. Например, схема инвертирующего измерительного усилителя выполняет эти требования, т. е. изменяет полярность выходного напряжения по отношению к входному. Она состоит из операционного усилителя, резисторов обратной связи и корректирующего резистора.

В дифференциальных усилителях наряду с усилением входного сигнала осуществляется и дифференцирование его по времени, т. е. учитывается скорость его изменения. Эта операция реализуется схемно комбинацией ОУ с  $RC$ -цепочками.

**Гальваническая связь** — это связь электронных (электрических) элементов и схем, реализуемая посредством активных сопротивлений (резисторов) устройства. Гальванические связи между элементами схем могут возникать через общие шины питания, «земли», шасси и по другим каналам. Гальваническая изоляция (или развязка) является необходимой для электрической изоляции между источниками аналоговых или дискретных электрических сигналов различного вида и статусными каналами УСО, а также для изоляции между каналами дискретного вывода системы и управляемым силовым оборудованием (исполнительными устройствами и механизмами).

Гальваническая изоляция позволяет снизить влияние помех на систему по цепям заземления посредством полного разделения вычислительной системы ПТК АСУТП (или промышленного компьютера) от управляемого оборудования.

Простейшим устройством гальванической изоляции-развязки являются электромагнитные реле. Однако они инерционны, имеют значительные габариты, невысокую надежность и высокое потребление энергии. Наиболее часто в качестве элементов гальванической изоляции применяются резисторные, резисторно-емкостные, резисторно-индуктивные, емкостно-индуктивные цепи и фильтры. Например, используются аттенюаторы, обеспечивающие при постоянном уровне мощности или напряжения сигнала на входе возможность уменьшить выходной сигнал в заданное число раз; применяются  $RC$ -цепочки, эффективность которых зависит от соотношения между постоянной времени  $\tau = RC$  и периодом входного сигнала  $t$ . При  $\tau \ll t$  автоматически выполняется соотношение  $U_{\text{вых}} \ll U_{\text{вх}}$ .

В последнее время в устройствах УСО находят применение оптроны (оптроны, оптопары), представляющие собой оптоэлектронное устройство, состоящее из источника света, фотоприемника и оптической согласующей или управляющей среды, которые могут быть связаны оптически, электрически или обоими видами связи. Наиболее распространенными являются оптроны с пассивной оптической средой, которые выполняют роль согласующего элемента для получения максимального коэффициента передачи светового сигнала от источника света к фотоприемнику.

Важной функцией модулей УСО является фильтрация сигналов как на входе и выходе, так и на его внутренних связях.

Фильтры электрических сигналов позволяют ограничивать частотный спектр сигналов или выделять сигналы в пределах ограниченной полосы частот.

Фильтры разделяются на несколько видов: нижних частот, верхних частот, полосопропускающие и полосозаграждающие.

Идеальный фильтр низких частот имеет нулевой коэффициент передачи на частотах выше частоты среза, т. е. частоты, которая измеряется при условии, что мощность выходного сигнала фильтра уменьшилась на 50% в сравнении с мощностью входного сигнала. На частотах ниже частоты среза он пропускает сигнал без его ослабления. Идеальный фильтр высоких частот не оказывает влияния на амплитуду сигналов, имеющих частоту выше частоты среза, не пропускает более низкочастотные сигналы, чем частота среза.

Идеальный полосопропускающий (полосозаграждающий) фильтр пропускает (не пропускает) сигналы в интервале между их нижней и верхней частотами среза. Частотные фильтры представляют собой LC-цепочки требуемых параметров. Для получения требуемых параметров фильтров используются высокоточные и высокостабильные конденсаторы и катушки индуктивности.

Из множества модулей УСО, производимых зарубежными и отечественными фирмами, рассмотрим, например, модули УСО фирмы «Analog Devices» и фирмы «Прософт».

**Аналоговые модули УСО фирмы «Analog Devices»** предназначены для обеспечения ввода сигналов измерительной информации от первичных измерительных преобразователей в устройства обработки и вывода сигналов для автоматического управления исполнительными механизмами. Они обладают высокой точностью, хорошей линейностью, воспроизводимостью преобразований, надежностью, предназначены для работы с различными источниками входных сигналов (тока, напряжения, сигналы от термоэлектрических преобразователей — термопар; термопреобразователей сопротивления — терморезисторов и др.) и могут быть быстро заменены при выходе из строя.

Эта фирма выпускает несколько видов модулей УСО (серии 3, 5, 6, 7 и др.). На рис. 3.12 представлена структурная схема модуля (серии 5В) входного типа 5В32-02, предназначенная для нормализации сигнала 4+20 мА.

Сигнал от ПИП (датчика) 4+20 мА поступает на измерительный резистор (20 Ом), на котором формируется падение напряжения, пропорциональное входному сигналу. Далее это напряжение поступает на входные цепи. Схема защиты, обеспечивающая защиту элементов устройства от перенапряжения на входе, представляет собой электронную схему, состоящую из RC-цепочек,

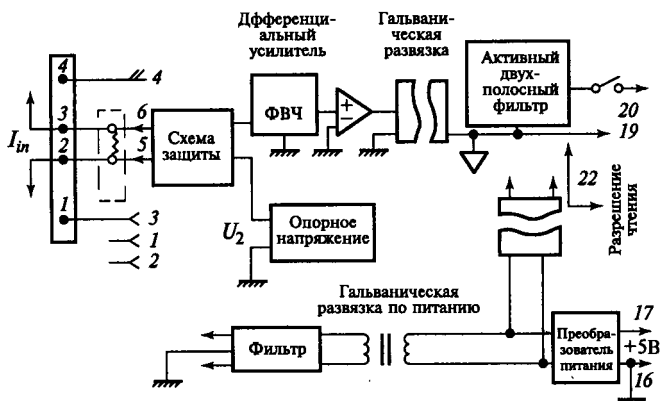


Рис. 3.12. Структурная схема аналогового входного модуля УСО серии 5В фирмы «Analog Devices» (пояснение в тексте)

функционирующих с опорным напряжением. Фильтр высоких частот (ФВЧ) предназначен для подавления помехи на частотах 50 и 60 Гц, т. е. частот, на которых функционирует большинство электротехнического оборудования. Фильтр сформирован *LC*-цепочкой.

Дифференциальный усилитель, не обозначенный на схеме, представляет собой операционный усилитель, осуществляющий усиление сигнала и дифференцирование его по времени, т. е. представляется возможным учитывать скорость изменения сигнала, что осуществляется комбинацией операционного усилителя с *RC*-цепочками.

Напряжение гальванической развязки, построенной на основе *RLC*-цепочек, составляет величину 1500 В.

Активный двухполосный фильтр обеспечивает сглаживание пульсаций напряжения на выходе преобразователя. В качестве основных элементов используются дроссели с большой индуктивностью либо резисторы и конденсаторы большой емкости. Действие таких фильтров основано на зависимости сопротивления цепей, составленных из этих элементов, от частоты тока, т. е. у дросселей оно растет с увеличением частоты и равно нулю для постоянного тока, а у конденсатора, наоборот, уменьшается с увеличением частоты и равно бесконечности (разрыв) при постоянном токе.

Полоса пропускания частот для модулей 5В составляет: 4 Гц — узкополосный вариант и 10 кГц — широкополосный вариант.

Питание модулей 5В осуществляется от внешнего специального источника постоянного напряжения  $+5 \text{ В} \pm 5\%$ . В каждом из

модулей в схеме питания смонтированы две гальванические развязки: электронная, для связи с основной схемой модуля, и трансформаторная, для развязки с другими УСО, функционирующими в общей системе АСУТП и питающимися от общего источника питания. Назначение элементов схемы питания на входе и на выходе, т. е. преобразователя питания и фильтра, — защита постоянного напряжения (5В) от помех по частоте и от перенапряжения.

На рис. 3.13 представлена блок-схема аналогового выходного модуля УСО серии 5В.

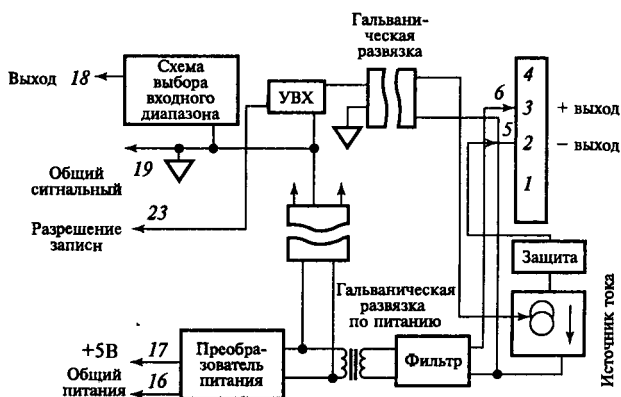


Рис. 3.13. Структурная схема аналогового выходного модуля УСО серии 5В фирмы «Analog Devices»

Из рис. 3.13 видно, что назначение отдельных элементов аналогично назначению их у входных модулей, схема которых нами разобрана. Кроме них в схеме имеются «Схема выбора входного диапазона» и «УВХ», допускающие мультиплексированное включение, т. е. когда один ЦАП может обеспечивать работу нескольких входных модулей, при этом необходимый период регенерации аналогового сигнала на входе каждого модуля должен быть не менее 25 мс. Выбор модуля при этом осуществляется сигналом от УВХ.

Элементы «Источник тока» и «Защита» обеспечивают питание током выхода модуля, подаваемого на управляющие цепи ЦАП или другого управляющего элемента системы.

Для использования модулей серии 5В в системе управления и контроля фирма организовала выпуск нескольких видов монтажных панелей, допускающих подключение источников внешних аналоговых сигналов, компенсаторов холодного спая термопар, гнезда для измерительных резисторов холодного спая термопар,

гнезда для измерительных резисторов и 26 контактных разъемов для АЦП/ЦАП.

Фирмой «Analog Devices» выпускаются также модули серий 3В, 7В и 6В. Основными достоинствами модуля 3В являются: диапазон изменения сигналов более широкий, чем у модулей 5В, для питания требуется три напряжения +15, -15, +24 В. Модули серии 7В функционально аналогичны модулям 5В, однако напряжение питания их +24 В. Имеются также некоторые отличия по номенклатуре и диапазону входных и выходных сигналов. Модули серии 6В предназначены для распределенного сбора данных. Их метрологические характеристики в основном те же, что и у модулей 5 В. В их схемах использованы микроконтроллеры, предназначенные для передачи по запросу данных из буфера в устройство обработки посредством соответствующего интерфейса.

Широкая номенклатура УСО, предназначенных для использования в АСУ различного уровня, начиная от сравнительно простых до сложных, состоящих из технологических объектов сосредоточенных и распределенных систем, выпускается отечественной фирмой «Прософт».

Для создания локальных систем автоматического регулирования, а также компактных АСУТП, состоящих из ряда взаимосвязанных технологических процессов и агрегатов, широко применяются УСО фирмы серии ADAM-3000.

При организации взаимодействия между ПИП (датчиками) непрерывных и дискретных параметров технологических процессов и вычислительных систем контроля и управления, разделенных между собой на достаточно большие расстояния, используются модули серии ADAM-4000, которая включает специальные коммуникационные модули, программное обеспечение, реализуемое встроенным микропроцессором. Настройка и калибровка этих модулей осуществляется программным способом с помощью стандартного интерфейса RS-485.

Выпускаются также модули серии ADAM-5000, которая является дальнейшим развитием концепции фирмы для построения сложных распределенных и соподчиненных систем управления технологическими объектами (отделений, цехов, производств).

Модули аналогового ввода-вывода серии ADAM-3000 представляют собой устройства, назначение которых заключается в сопряжении ПИП (датчиков) и исполнительных механизмов автоматизируемого объекта с промышленными компьютерными системами. Поэтому на УСО этой серии возлагаются следующие функции:

- нормализация аналогового сигнала, т. е. приведение границ шкалы первичного непрерывного сигнала к одному из стандарт-



ных диапазонов входного сигнала аналого-цифрового преобразователя канала. Наиболее распространенные для этой серии являются диапазоны 0÷5В, -5÷+5 В, 0÷10В;

- предварительная низкочастотная фильтрация аналогового сигнала от помех различного происхождения с частотой сети переменного тока, а также различных импульсивных помех от переходных процессов и наводок разнообразных технических средств автоматизации и обслуживаемого оборудования;

- обеспечение гальванической изоляции (развязки) между источниками сигналов, измерительными и другими статусными каналами системы.

Каждый модуль этой серии является функционально законченным устройством, заключенным в пластмассовый корпус и оснащенный клеммными соединителями с винтовой фиксацией для подключения входных и выходных цепей. Габаритные размеры модуля (101,0×93,5×23,2) мм. Установка модулей производится на стандартных DIN-рельсах. Питание модулей осуществляется напряжением 24 В постоянного тока. Диапазон рабочих температур от 0 до 70° С.

Структурная схема аналогового модуля серии ADAM-3012 представлена на рис. 3.14.

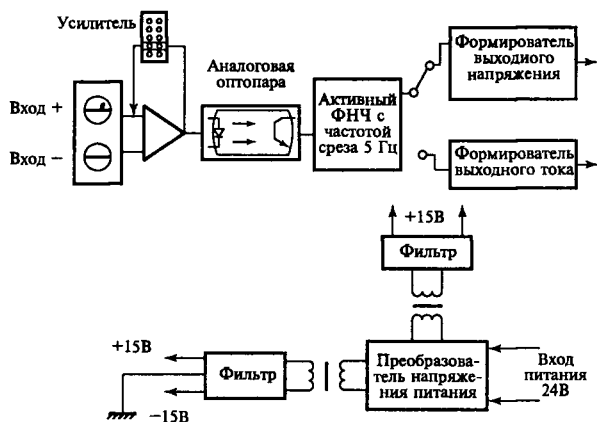


Рис. 3.14. Структурная схема модуля ADAM-3012

Назначение элементов модуля аналогично назначению элементов, рассмотренных выше. Отличительной особенностью схемного решения для этой серии является то, что тип и диапазон входного сигнала, подводимого к инструментальному усилителю, задается с помощью миниатюрных переключателей «Установка коэффициентов усилителя». Гальваническая развязка осу-

ществляется с помощью аналоговой оптопары, состоящей из светоизлучающего диода и транзистора.

Кроме вышеуказанных основных функций нормализации аналоговых сигналов, их фильтрации и обеспечения гальванических развязок на УСО серии ADAM-3000 возможно выполнение и более сложных задач, что гарантируется подключением в их состав АЦП, а также дискретного ввода-вывода, микропроцессоров и средств организации интерфейсов передачи данных.

### **3.8. ТИПОВАЯ СИСТЕМА СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Во многих сферах производственной деятельности требуется обеспечить постоянный контроль состояния удаленных объектов. Своевременный сбор достоверной информации часто играет ключевую роль в управлении производственным процессом.

Система сбора и передачи информации построена по модульному принципу. В качестве основной базы аппаратных средств выбрана (ЗАО «Автоматика-Север») гамма недорогих и эффективных С-программируемых контроллеров, выпускаемых корпорацией Z-Word inc (США). Для эффективного использования линий связи применены многоточечные способы передачи информации. Такой подход позволяет гибко, в зависимости от предъявляемых требований, менять конфигурацию системы. Система сбора и передачи информации делится на три основных подсистемы (рис. 3.15):

- к подсистеме сбора данных относятся локальные объекты — пункты сбора данных, максимально приближенные к объекту контроля и обеспечивающие, при необходимости, локальное и дистанционное управление;

- в подсистему передачи данных включены линии связи и оборудование передачи данных;

- диспетчерская подсистема включает программно-аппаратные (ЧМИ), связи «человек — машина», которые обслуживаются системной БД.

Выделенные телефонные пары пунктов сбора данных соединяются параллельно и образуют луч, подключаемый к одному из лучевых модемов концентратора. Радиомодемы, работающие на одной частоте, также составляют луч, который обслуживается соответственно радиомодемом концентратора связи. Количество лучей может быть расширено до 63 и зависит от выбранной конструкции (с учетом расширения системы). Управление сбором данных от абонентов одного луча возможно на контроллер «Мастер узлов» концентратора. Контроллеры «Мастер узлов» объединяются в информационную сеть по интерфейсу RS-485. Передачей

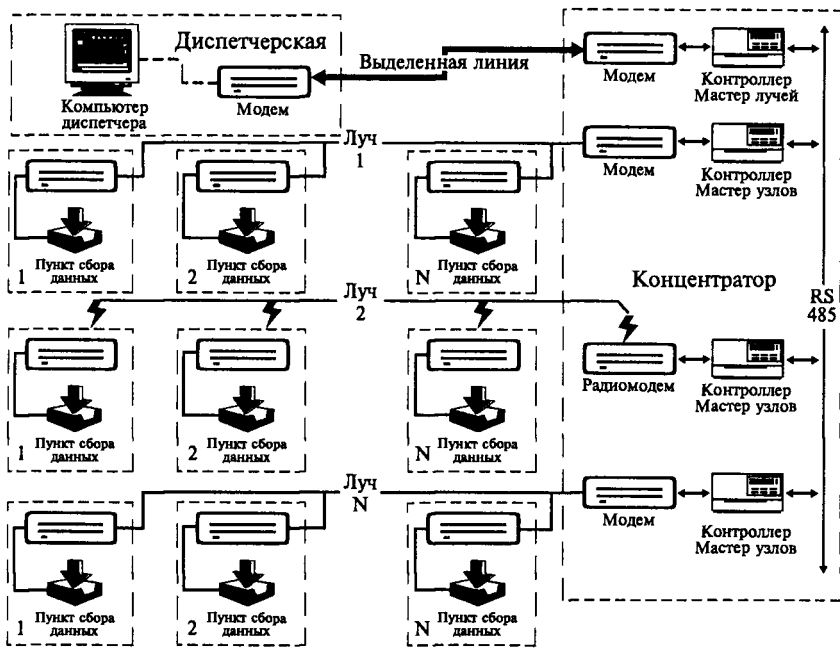


Рис. 3.15. Архитектура системы сбора и передачи информации

данных по этой сети управляет главный контроллер «Мастер лучей», имеющий постоянную связь с компьютером диспетчера. Компьютер диспетчера определяет режимы работы «Мастер лучей» и через него имеет доступ к другим компонентам системы. В целом в стандартном режиме система функционирует следующим образом:

- пункты сбора данных измеряют показания датчиков, заносят их в свою собственную память (накапливают архивные данные) и ожидают телефонного или радиовызова от обслуживающего их модема контроллера «Мастер узлов»;

- контроллер «Мастер узлов» через модем посылает вызов очередному пункту сбора данных и после установления связи считывает накопленный архив в собственный буфер, при необходимости передает имеющуюся у него управляющую информацию для этого пункта, разрывает установленную связь и переходит к вызову следующего абонента;

- контроллер «Мастер лучей» по очереди опрашивает контроллеры «Мастер узлов» на предмет наличия в них информации от пунктов сбора данных и, в свою очередь, считывает эти данные в свой собственный буфер;

— компьютер опрашивает контроллер «Мастер лучей» и считывает накопленные им данные и формирует из них таблицы для длительного хранения и последующего анализа.

Компьютер и контроллер «Мастер лучей» постоянно находятся в связи, а обмен информацией по сети RS-485 происходит с высокой скоростью (19 200 бит/с), т. е. цепи «Компьютер — Мастер лучей» и «Мастер лучей» — «Мастер узлов» не оказывают существенного влияния на время обмена данными.

Время установления связи между контроллером «Мастер узлов» и пунктом сбора информации при использовании телефонной линии около 20 с. При этом время передачи информации существенно.

Таким образом, цикл приема информации от пунктов сбора данных определяется числом пунктов сбора, подключенных к одному лучу. Например, если к лучу подключено  $N$  пунктов сбора данных, цикл обновления информации на таком луче будет равен: при  $N=10$ ,  $t_{\text{цикл}} = 20 \text{ с} \times 10 = 200 \text{ с} = 3,5 \text{ мин.}$

Для радиоканала время вызова очень мало, но существенно медленнее, чем в проводных системах осуществляется передача данных. Общее время обмена с одним пунктом примерно 4 с. Для радиоканала тот же пример выглядит так: при  $N=10$ ,  $\text{цикл} = 4 \text{ с} \times 10 = 40 \text{ с.}$

В некоторых случаях (например, испытания) такой большой цикл обновления данных недопустим. Для разрешения этой проблемы в системе предусмотрен режим «Прямой канал». В этом режиме контроллер «Мастер узлов» устанавливает связь с выбранным оператором узлов сбора данных и не разрывает ее до отмены режима «Прямой канал». То есть имеется возможность получать информацию от пункта сбора данных с максимальным темпом, но такой пункт сбора данных на луче может быть только один. «Прямой канал» может быть открыт на любом луче с любым пунктом. В режиме «Прямой канал» цикл обновления данных составляет примерно 1 с, но данные в таблицы не фиксируются, так как узел сбора данных и в этом режиме продолжает накапливать архивы, которые будут переданы на компьютер диспетчера после отмены режима «Прямой канал». Данные прямого канала фиксируются в специальных файлах, доступ к которым можно получить с помощью пункта «выпрыгивающего» меню «Текущие данные».

При разработке конфигурации системы сбора данных целесообразно спланировать количество лучей и распределение узлов по лучам с учетом того, что имеет важное значение, а что второстепенное.

Ядром типового пункта сбора данных служит программируемый контроллер с необходимым набором модулей расширения. Выпускаемая корпорацией Z-World Inc 110-номенклатура модулей позволяет просто подключать различные устройства ввода/вывода, в том числе: термометры, сопротивления, датчики с выходом 4÷20 мА, импульсные датчики, устройства последовательной передачи данных, простые контактные датчики, исполнительные механизмы.

Контроллер и его программное обеспечение (ПО) поддерживают подключение до четырех модулей расширения в любой конфигурации.

По стандарту контроллер комплектуется встроенным жидкокристаллическим дисплеем с клавиатурой для настройки параметров измерительной системы, диагностики и конфигурации. Однако там, где наличие встроенного пульта управления нежелательно, для тех же целей можно использовать специальный портативный тестер. Если для подключения пункта сбора данных к сети недостаточно встроенного в контроллер интерфейса RS-485, пункт комплектуется модемом для работы на выделенную или комплектуемую телефонную линию, либо модемом для работы по радиоканалу.

В зависимости от реальных условий для коммуникаций применяются интерфейс RS-485, выделенные и коммутируемые телефонные линии, радиоканалы, комбинации перечисленных средств.

**Технические характеристики типового пункта сбора данных:** габариты 600×400×200 мм; класс защиты IP 54; память данных 128 Кб (до 512 Кб); память программ 128 Кб (до 512 Кб); аналоговые входы 32/16 (дифференциальные); цифровые входы 16 (защищенные до 48 В); цифровые выходы 14 (до 120 мА); расширение (до 4-х модулей расширения), 32 аналоговых или 64 цифровых входа/выхода или комбинации (в том числе ЦАП, реле, RS-232); порт RS-232 один; порт RS-485 один; максимальное расстояние до датчика (4÷20 мА) 200 м; максимальное расстояние до датчиков без преобразователей (4÷20 мА) 10 м.

Если необходимо повысить скорость сбора информации, для распараллеливания процесса используется специальный концентратор связи, состоящий из набора так называемых «лучевых» комплектов (контроллер и проводной или радиомодем). Пункты сбора данных, работающие по одному радиоканалу или подключенные параллельно к одной линии связи, составляют луч сбора информации. Каждый лучевой комплект последовательно вызывает абонентов своего луча, собирает данные и хранит их в соб-

ственной памяти. Эти комплекты опрашиваются по интерфейсу RS-485.

Концентратор состоит из контроллера «Мастер лучей», соединенного через модем с компьютером диспетчера и контроллером «Мастер узлов», связанного через модем или радиомодемом с подчиненными пунктами сбора данных. Между собой все контроллеры объединены в информационную сеть по интерфейсу RS-485. Пункты сбора данных подключаются к модему контроллера «Мастер узлов» параллельно (параллельное подключение к лучу), поэтому опрос каждого пункта сбора данных этого луча может осуществляться только последовательно, что существенно снижает суммарную скорость обмена данными.

Проводная часть подсистемы сбора данных использует выделенные линии связи, без питания, имеет возможность параллельного подключения абонентов к линии (многоточечное соединение) в периферийных шкафах, что существенно удешевляет линии связи. Соединение устанавливается централизованным вызовом абонента.

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ**

1. Метрология — наука об измерении.
2. Основные метрологические понятия и термины.
3. Виды измерений.
4. Погрешности измерений и измерительных устройств.
5. Средства измерений и их основные элементы.
6. Системы дистанционной передачи сигналов.
7. Модуляция и демодуляция сигналов.
8. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП).
9. Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).
10. Устройства связи с объектом (УСО).
11. Типовая система сбора и передачи информации.
12. Что такое физические величины? Единицы физических величин?
13. Перечислите основные физические величины системы СИ?
14. Перечислите основные методы измерений в современной метрологии.
15. Что такое доверительный интервал результата физических измерений?
16. Перечислите группы измерительных приборов в зависимости от вида отображения информации.
17. Перечислите основные функции УСО.
18. Назовите назначение основных элементов структурных схем аналогового входного (выходного) модуля.

## Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (ПРОЦЕССОВ)

К средствам формирования информации о технологическом процессе, как объекте управления, относятся устройства, непосредственно взаимодействующие с ним и формирующие выходной сигнал, функционально связанный с измеряемым параметром. Эти устройства формирования информации (первичные преобразователи) обычно устанавливаются непосредственно на контролируемом объекте и в зависимости от вида измеряемых параметров подразделяются на 5 основных групп:

- средства измерения теплоэнергетических параметров, к которым относятся температура, давление, разряжение, перепад давлений, уровень, расход, а также электроэнергетические (сила тока, напряжение, мощность и другие);
- средства формирования информации о физических свойствах вещества и качестве готовой продукции;
- средства формирования информации о составе и свойствах вещества;
- средства измерения масс, сил, а также весоизмерительные и весодозирующие устройства;
- средства измерения кинематических величин, в том числе количества изделий, циклов.

### 4.1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура — физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию хаотического движения молекул вещества. Техническое средство, используемое для измерений температуры, называют *термометром*. Методы и средства измерения (СИ) температуры делятся на контактные и бесконтактные.

Контактные СИ температуры основаны на непосредственном контакте измерительного преобразователя (ИП) с контролируемой средой. Контактные термометры подразделяются на термометры расширения, электрические и специальные. В свою очередь, термометры расширения разделяются на жидкостные, биметаллические, дилатометрические и манометрические. К электрическим термометрам следует отнести термометры сопротивления (терморезисторы) и термоэлектрические. К специальным относят различные индикаторы температуры. Основные характеристики СИ температуры приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

## Основные характеристики средств измерения температуры

Вид СИ		Терморезисторные	Термоэлектрические	Манометрические	Оптические	Дилатометрические	Биметаллические
Параметр		Терморезисторные	Термоэлектрические	Манометрические	Оптические	Дилатометрические	Биметаллические
Величина, характеризующая температуру		Величина сопротивления чувствительного элемента	Величина термо-ЭДС в спае металлов	Величина давления в замкнутом объеме	Величины фото-ЭДС, фотосопротивления, яркости свечения эталона	Величина изменения длины твердого тела	Размер деформации пластин из разнородных металлов
Диапазон измерения, °С		-260 ÷ 600	-50 ÷ 1950	-50 ÷ 600	20 ÷ 6000	-30 ÷ 100	-30 ÷ 50
Класс точности или погрешность:	верхний предел	Класс 0,25	0,1 мВ для $t < 300^\circ \text{C}$	1,0	1,0	1,0	0,5°С
	нижний предел	Класс 0,5	0,1 ± 0,006 (t - 300) мВ для $t > 300^\circ \text{C}$	2,0	2,0	2,0	1,0°С



Измерительные преобразователи на основе терморезисторных и термоэлектрических принципов просты по конструкции и имеют высокую надежность. Однако их выходной сигнал невелик по величине и без дополнительного усиления не может быть передан на большое расстояние до нескольких десятков метров.

Терморезисторные преобразователи температуры предназначены для измерения малых и средних величин температур и работают в комплекте с логометрами и мостовыми схемами.

Измерительные преобразователи температуры модульные ИПМ-0196/МО, М1, М2 обеспечивают непрерывное преобразование сигналов термопреобразователей сопротивления (50М, 100М, 50П, 100П по ГОСТ 50353—92 или Pt100 по DIN 43760) в унифицированный сигнал постоянного тока 0÷5 мА или 4÷20 мА. ИПМ предназначены для использования в системах регулирования и управления технологическими процессами. Входные сигналы — от термопреобразователей сопротивления ТСМ и ТСП. Выходные сигналы — унифицированные сигналы постоянного тока 0÷5 мА или 4÷20 мА. Имеется гальваническая развязка выходных и входных цепей и возможность контроля текущего параметра. Изделия монтируются на металлической рейке толщиной 30 мм. Производитель НПП «Элемер». Технические характеристики приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Технические характеристики преобразователей температуры

Диапазон преобразования температуры, °С	Класс точности	Тип первичного преобразования	Шифр исполнения изделия
-50...+50	0,25	(50,100)(М,П), Pt100	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)
-25...+25	0,5	(50,100)(М,П), Pt100	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)
0...+100	0,25	(50,100)(М,П), Pt100	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)
0...+500	0,25	50П, 100П, Pt100	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)
0...+200	0,5	ТХА	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)
0...+300	0,5	ТХК	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)
0...+400	0,5	ТХК	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)
0...+600	0,5	ТХА	ИМП-0196/М(0,1,2)-(0,05,420)

Все модули характеризуются линейной зависимостью выходного токового сигнала от преобразуемой физической величины. По числу преобразуемых входных сигналов все модули одноканальные. Подключение внешних цепей осуществляется с помощью клеммных колодок по трехпроводной схеме. Сопротивление каждого провода не должно превышать для ИПМ-0196/М(1,2) 10 Ом.

Термоэлектрические преобразователи температуры (термопары) предназначены для измерения температур и работают в комплекте с милливольтметрами и потенциометрами. Тип входного сигнала — напряжение термопары (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 15\text{ мВ}$ ,  $\pm 50\text{ мВ}$ ,  $\pm 100\text{ мВ}$ ,  $\pm 500\text{ мВ}$ ,  $\pm 1\text{ В}$ ,  $\pm 2,5\text{ В}$ ,  $\pm 20\text{ мА}$ . Типы термопар и диапазоны измерения температуры: **J** (0—760°C); **K** (0—1000°C); **T** (100—400°C); **E** (0—1400°C); **K** (500—1800°C). Основная погрешность измерения: не хуже  $\pm 0,05\%$ . Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное).

Первичные преобразователи термоэлектрические типа ТХК-0395, ТХК-9206, ТХК-9419 применяются для измерения температуры пищевых продуктов. Диапазон измерения  $-40 \div +200^\circ\text{C}$ . Номинальная статическая характеристика — **L**. Класс допуска по ГОСТ Р 50431—92. Для измерения температуры газообразных и жидких сред применяются преобразователи термоэлектрические типа ТХА-0192, ТХА-1192, ТХА-0292, ТХА-0192С, ТХА-0193, ТХА-1393, ТХА-1293. Диапазон измерения  $-40 \div +800^\circ\text{C}$ . Номинальная статическая характеристика — **K**. Класс допуска по ГОСТ Р 50431—92 ...2. Количество чувствительных элементов 1 или 2. Производитель ОАО Челябинский завод «Теплоприбор».

Для измерения температуры различных сред применяются измерительные преобразователи с выходным унифицированным сигналом типа Метран-200Т и Метран-200Т-Ех. Диапазон измерения  $-50 \div +180^\circ\text{C}$ . Номинальная статическая характеристика — **Cu100**. Основная погрешность измерения: 0,25; 0,5; 1,0. Напряжение питания 120 или 200 В. Выходной сигнал: 0—5 мА; 4—20 мА. Производитель: ОАО Челябинский завод «Теплоприбор».

**Преобразователи Метран-900Т и Метран-900Т-Ех** применяются для измерения температуры различных сред. Диапазон измерения: 0...+1200°C. Номинальная статическая характеристика: **Pt 100** и **K**. Основная погрешность измерения: 0,25; 0,5. Напряжение питания: 120 или 200 В. Выходной сигнал: 4—20 мА. Производитель: ОАО Челябинский завод «Теплоприбор».

Интеллектуальный датчик температуры предназначен для преобразования температуры от первичного измерительного преобразователя на основе медного и платинового преобразователя в цифровой код, подключается к шине М-BUS до датчиков. Диапазон измерения: в зависимости от вида чувствительного элемента меняется при перепрограммировании. Номинальная статическая характеристика: **50П**, **100П** ( $-200...+500^\circ\text{C}$ ); **50М**, **100М** ( $-50...+180^\circ\text{C}$ ); **В**(0...+1600°C); **L**(0...600°C); **K**(0...+1200°C). Основная погрешность измерения: 0,1, 0,2, 0,3%. Выходной сигнал в

мА: цифровой в стандарте М-BUS, подключается к шине М-ВЦ8. Производитель: ОАО Челябинский завод «Теплоприбор».

**АДАМ-4011** — модуль аналогового ввода сигнала термопары. Подсистема аналогового ввода. Количество и тип каналов аналогового ввода: 1 дифференциальный. Тип входного сигнала: напряжение термопары (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазон входного сигнала:  $\pm 15\text{мВ}$ ,  $\pm 50\text{мВ}$ ,  $\pm 100\text{ мВ}$ ,  $\pm 1\text{В}$ ,  $\pm 2,5\text{В}$ ,  $\pm 20\text{мА}$ . Типы термопар и диапазоны измерения температуры: J(0—760°C); K(0—1000°C); T(-100—+400°C); E(0—1400°C); K(500—1750°C); S(500—1750°C); B(500—1800°C). Напряжение изоляции 500 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования 100 мс. Основная погрешность измерения: не хуже  $\pm 0,05\%$ .

**АДАМ-4013** — модуль ввода сигнала термосопротивления. Подсистема аналогового ввода. Типы поддерживаемых термометров сопротивления: Pt, Ni. Диапазон входного сигнала:  $\pm 15\text{мВ}$ ,  $\pm 50\text{мВ}$ ,  $\pm 100\text{мВ}$ ,  $\pm 500\text{мВ}$ ,  $\pm 1\text{В}$ ,  $\pm 2,5\text{ В}$ ,  $\pm 20\text{мА}$ . Типы термометров и диапазоны измерения температуры: Pt (-100—100°C,  $\alpha = 0,00385$ ); Pt (0—100°C,  $\alpha = 0,00385$ ); Pt (0—200°C,  $\alpha = 0,00385$ ); Pt (0—600°C,  $\alpha = 0,00385$ ); Pt (-100—100°C,  $\alpha = 0,003916$ ); Pt (0—100°C,  $\alpha = 0,003916$ ); Pt (0—200°C,  $\alpha = 0,003916$ ); Pt (0—600°C,  $\alpha = 0,003916$ ); Ni (-80—100°C); Ni (0—100°C). Напряжение изоляции 3000 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования 100 мс. Варианты подключения: 2,3,4 — проводное. Основная погрешность: не хуже  $\pm 0,05\%$ .

**АДАМ-5018** — 7-канальный модуль ввода сигналов термопар. Количество и тип каналов аналогового ввода: 7 дифференциальных. Остальные технические характеристики аналогичны модулю АДАМ — 4011.

**АДАМ-5013** — 3-канальный модуль ввода сигналов термосопротивления. Количество каналов 3. Остальные технические характеристики аналогичны модулю АДАМ-4013.

Манометрические преобразователи температуры формируют на выходе унифицированный сигнал, удобный для записи и управления, а также дистанционного измерения температуры без использования дополнительной энергии на расстояние до 60 м. Они просты по конструктивному исполнению, надежны в эксплуатации, с равномерной шкалой, взрывобезопасны и нечувствительны к внешним магнитным полям.

Бесконтактные СИ температуры основаны на использовании электромагнитных и ультразвуковых явлений. Они позволяют контролировать температуру потоков продукции и не искажают температурное поле.

Вышеперечисленные аналоговые преобразователи температуры для совместимости со средствами микропроцессорной техники требуют наличия на выходе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для преобразования аналогового сигнала этих преобразователей, функционально связанного с измеряемой величиной, в цифровую форму.

Это можно осуществить посредством модулей ввода аналоговых сигналов серий АДАМ-4000 и АДАМ-5000, т. е. АДАМ-4012, АДАМ-4017, АДАМ-5017, АДАМ-5017Н. Применяя интеллектуальные преобразователи серий АДАМ, такие как АДАМ-4011, АДАМ-4011Д, АДАМ-4013, АДАМ-5013, АДАМ-5018, на выходе можно получить сигнал, пропорциональный величине температуры, в цифровой форме.

#### 4.2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ

Давление определяется отношением силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности. Различают абсолютное, атмосферное, избыточное давление и состояние, называемое вакуумом.

Давление измеряется с помощью манометров и измерительных преобразователей давления (ИПД). Манометр — измерительный прибор для измерения давления или разности давлений с непосредственным отсчетом (отображением) их значений. Измерительный преобразователь давления — преобразователь, выходной сигнал которого функционально связан с измеряемым давлением или разностью давлений.

По функциональному назначению и названию манометры подразделяются на следующие группы: напоромеры — манометры для измерений малых избыточных давлений (до 40 кПа); тягомеры — вакуумметры с верхним пределом измерений не более 40 кПа; тягонапорометры — мановакуумметры с диапазоном измерений  $-20 \div +20$  кПа; вакуумметры остаточного давления — вакуумметры для измерения глубокого вакуума или остаточного давления (менее 200 Па). Дифманометры — для измерений разности давлений.

В зависимости от назначения дифманометры подразделяются на дифманометры-расходомеры, дифманометры-тягомеры, дифманометры-уровнемеры и т. д.

По принципу действия чувствительного элемента (ЧЭ) средства измерения давления подразделяются на три группы: к первой группе относятся поршневые, жидкостные и другие типы манометров и ИПД, основанные на прямых методах измерений; ко второй — деформационные, полупроводниковые и другие типы

манометров и ИПД, основанные на прямых относительных методах измерений; к третьей — термодатчики и ионизационные вакуумметры, ультразвуковые манометры и другие приборы, основанные на косвенных методах измерений.

Широкое применение получили деформационные манометры с одновитковой трубчатой пружиной. Они устанавливаются непосредственно на технологическом оборудовании (по месту) или дистанционно (на щитах). Диапазон измерений деформационных манометров составляет от 10 Па до 2 ГПа, класс точности — от 0,25 до 4,0. При измерении относительно небольших давлений (менее 1 МПа) используют мембранные манометры, которые содержат гофрированную мембрану, герметично закрепленную между фланцами, класс точности от 0,15 до 2,5.

Электромагнитные преобразователи, используемые в системах передачи сигналов, подразделяются на индуктивные, трансформаторные и магнитоупругие.

Индуктивные преобразователи, переводящие перемещения в изменение индуктивности магнитной цепи, используются в манометрах любого вида. Обычно применяется дифференциальная схема включения индуктивных преобразователей, которая расширяет линейный участок статической характеристики и повышает чувствительность прибора.

Широкое применение нашли и резисторные деформационные манометры, основанные на использовании тензорезисторов, изменяющих сопротивление при деформации. Различают следующие группы тензорезисторов: проволочные, фольговые, тонкопленочные и полупроводниковые.

В настоящее время серийно изготавливаются тензорезисторные преобразователи типа «Сапфир». В них используется полупроводниковый кремниевый тензорезистор, нанесенный на изолированную сапфировую подложку. Под воздействием измеряемого давления подложка деформируется и возникающее при этом изменение сопротивления тензорезистора с помощью электронного устройства преобразуется в аналоговый стандартный сигнал  $0 \div 5$ ,  $0 \div 20$  или  $4 \div 20$  мА постоянного тока.

Измерительные преобразователи «Сапфир» можно применять для измерений нижеследующих параметров: избыточного давления (ИД), абсолютного давления (АД), вакуума (ВД), избыточного давления и вакуума (ИВД), перепада давления (ПД), гидростатического давления (ГД). Эти преобразователи работают при температурах  $5 \div 50^\circ\text{C}$ , по требованию заказчика возможно расширение диапазона температур до  $(-20 \div +80)^\circ\text{C}$ . Допускаемая основная по-

грешность составляет 0,25 и 0,5 верхние пределы измерений — от 0,25 кПа до 100 МПа.

**Измерительные преобразователи давления ЗОНД-10** предназначены для преобразования давления жидкостей и газов в унифицированный токовый сигнал 0÷5 мА или 4÷20 мА, используются для измерения избыточного (ИД), абсолютного (АД), гидростатического (ГД) давления и перепада давлений (ПД). Тензочувствительный элемент отделен от измерительной среды типовой мембраной.

#### *Технические характеристики*

	ИД	АД	ГД	ПД
Верхний предел измерения, кг/см <sup>2</sup>	0,1...0,6	1...1000	0,1...6	0,1
Напряжение питания:	12...24В			
Выходной сигнал:	0..5 мА или 4..20 мА			
Изготовитель:	ВНИИМИ.			

**Датчики давления МТ 1000, Сапфир 22 МТ** предназначены для непрерывного пропорционального преобразования измеряемого давления (разряжения или избыточного давления) в унифицированный токовый сигнал.

#### *Технические характеристики*

Верхний предел измерений, кПа					
по разряжению	-8;	-20;	-100;	-0,1	
по избыточному давлению	+1,5	+8	+20	+31	+150
нижний предел измерений равен	0				
Напряжение питания:	36 В.				
Выходной сигнал:	0...5 мА или 4...30 мА.				
Изготовитель:	ЗАО «Маномстр».				

**Преобразователи давления VEGABAR 20.25** предназначены для измерения давления в емкостях и трубопроводах с газами, парами и жидкостями. Измеряют абсолютное и избыточное (положительное или отрицательное) давление в химической и пищевой промышленности. Это компактные приборы, где чувствительным элементом является сухой керамический емкостной чувствительный элемент с утопленной мембраной или сухой пьезорезисторный чувствительный элемент со встроенным электронным блоком. Технические характеристики: диапазон измерения, бар: 0...600; температура измеряемой среды: 200° С; выходной сигнал: 4...20 мА. Изготовитель: VEGA (Германия).

**Датчик разности давления DPE 002** предназначен для измерения разности давления жидких и газообразных агрессивных и неагрессивных сред. Представляет собой моноблок, состоящий из емкостного первичного и промежуточного преобразователей. Технические характеристики: диапазоны измерения, кПа: 0...1,6; 0...4; 0...10; 0...25; 0...40; 0...100; 0...250; 0...400; 0...630; 0...1000.

Выходной сигнал: 4...20 мА. Напряжение питания:  $27 \pm 3$ В. Изготовитель: НИИФИ, г. Пенза.

#### **4.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА**

Расход есть величина, численно равная количеству вещества, проходящего по транспортному устройству в единицу времени. Различают объемный ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и массовый ( $\text{кг}/\text{с}$ ) расход вещества. Приборы для измерений количества вещества называются *счетчиками*, для измерений расхода вещества — *расходомерами*. Отдельную группу приборов и устройств, используемых для учета и стабилизации материальных потоков, составляют весы, дозаторы и счетчики штучных изделий.

Весы — это прибор для определения масс тел по действующей на них силе тяжести. Дозатор — это устройство, предназначенное для автоматического отмеривания и выдачи заданного количества вещества в виде порций или постоянного расхода.

В практике получили распространение расходомеры нижеследующих групп: переменного перепада давления, обтекания, тахометрические, электромагнитные и ультразвуковые.

Расходомеры переменного перепада давления имеют широкое применение в пищевой промышленности. Принцип их действия основан на измерении перепада давления, который образуется в результате местного изменения скорости потока жидкости, газа или пара. Расходомер состоит из первичного преобразователя (сужающего устройства), дифференциального манометра и соединительной (импульсной) линии. В состав этой системы может входить нормирующий преобразователь, преобразующий показания дифманометра в электрический или пневматический сигнал и вторичный прибор для регистрации этого сигнала.

Стандартные сужающие устройства подразделяются на три типа: нормальная диафрагма, нормальное сопло и труба (сопло) Вентури. Максимальная погрешность измерений расхода с помощью расходомеров переменного перепада давления при нормальных условиях эксплуатации составляет от 1,0 до 6,0%.

Расходомеры обтекания эксплуатируются в производственных условиях для измерений расходов жидкостей от 0,0025 до

16 м<sup>3</sup>/ч, а газов от 0,06 до 40 м<sup>3</sup>/ч. Принцип их действия основан на уравнивании обтекаемого тела потоком измеряемого вещества. Форма обтекаемого тела может быть различной: поплавков, поршень, шар, диск, крыло и другие. Они используются для измерения малых расходов жидкостей и газов, включая агрессивные, имеют незначительные потери давления и хорошие динамические характеристики, а также постоянство относительной погрешности. По конструктивным особенностям эти расходомеры подразделяются на ротаметры, поршневые и поплавковые расходомеры. По принципу действия они аналогичны. Приведенная погрешность составляет (0,5 ÷ 1,0)%.

Тахометрические расходомеры, преобразующие скорость потока в угловую скорость вращения обтекаемого элемента, подразделяются на турбинные и шариковые. Эти расходомеры состоят из аксиальной или тангенциальной лопастной турбинки, опирающейся на kernовые подпятники или подшипники. В качестве вторичного преобразователя, измеряющего скорость вращения турбинки, часто используют индукционный преобразователь. При вращении турбинки в индукционной катушке наводятся импульсы электрического напряжения, частота которых пропорциональна угловой скорости вращения турбинки. Приборы просты по конструкции, имеют большую чувствительность и большие пределы измерений, как для малых от 5·10<sup>-9</sup> м<sup>3</sup>/с, так и больших до 1 м<sup>3</sup>/с расходов жидкостей, малую инерционность, а приведенная погрешность составляет (0,5 ÷ 1,0)%.

Шариковые расходомеры применяют, в основном, для измерений расхода агрессивных сред и сред, содержащих абразивные включения. Например, расходомеры типов ШРТ, «Сатурн», «Шторм» применяют для измерений расхода жидкостей (0,025 ÷ 400) м<sup>3</sup>/ч, приведенная погрешность составляет (0,5 ÷ 1,0)%.

Электромагнитные расходомеры преобразуют скорость движения в магнитном поле электропроводящей жидкости в ЭДС, не имеют контакта с контролируемой средой. Эти расходомеры состоят из участка трубопровода, изготовленного из немагнитного материала, покрытого изнутри электрической изоляцией (резина, эмаль, фторопласт и др.) и расположенного между полюсами магнита, магнитная индукция которого направлена перпендикулярно оси трубопровода. При движении электропроводной жидкости в магнитном поле появляется ЭДС индукции, пропорциональная скорости ее движения. Для съема ЭДС через стенку трубы вводятся электроды, сигнал с которых поступает на измерительное устройство и вторичный прибор.



Электромагнитные расходомеры используют для измерений расходов жидкостей в диапазоне от  $10^{-9}$  до  $3 \text{ м}^3/\text{с}$ . Шкала прибора линейная, погрешность измерения составляет  $1 \div 2\%$ .

**Ультразвуковые расходомеры** — это приборы, принцип действия которых основан на увеличении звуковых колебаний движущейся средой. Они перспективны для измерений загрязненных, быстрокристаллизирующихся и агрессивных жидкостей и пульп. Основными элементами первичных преобразователей этих расходомеров являются пьезоэлементы, которые выполняют функции излучателей и приемников ультразвуковых колебаний. Основная погрешность составляет  $2 \div 4\%$ .

**Счетчики количества жидкостей.** В производственных условиях применяются, в основном, объемные и скоростные счетчики.

Скоростные счетчики имеют первичный преобразователь в виде аксиальной или тангенциальной турбины. Они используются для измерения количества воды и других жидкостей. В зависимости от расположения счетного механизма в счетчиках и контакта его с измеряемой средой они подразделяются соответственно на «сухоходы» и «мокроходы». Счетчики «мокроходы» просты по конструкции, обладают большой чувствительностью и точностью, удобны в эксплуатации.

Счетчики с аксиальной турбинкой типа ВВ изготавливают калибрами (диаметр условного прохода)  $50 \div 300 \text{ мм}$  и применяются для измерений расхода от 3 до  $1300 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Тангенциальные счетчики СВК (одноструйные) или СВМ (многоструйные) изготавливают калибрами  $15 \div 150 \text{ мм}$  на расходы от 3 до  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Относительная погрешность измерения составляет  $0,5\%$ .

Объемные счетчики позволяют измерять количества чистых промышленных жидкостей, включая жидкости с изменяющейся вязкостью, с относительной погрешностью не более  $0,5\%$  и достаточным диапазоном измерений. Принцип их действия основан на суммировании объемов жидкости, вытесненных из измерительной камеры счетчика за любой отсчетный промежуток времени.

Основными элементами объемных счетчиков жидкостей являются измерительная камера определенного объема и конфигурации с перемещающимся в ней рабочим органом (поршень, диск, шестерни и т. д.). Рабочий орган счетчика перемещается под действием разности давлений на входе и выходе измерительной камеры при протекании через нее контролируемой среды. За каждый цикл своего перемещения рабочий орган вытесняет определенный объем жидкости. Суммарное число перемещений рабочего органа фиксируется счетным механизмом.

Наибольшее применение имеют счетчики с овальными шестернями и лопастные счетчики.

Счетчики с овальными шестернями выпускают двух модификаций: СВШ — без обогрева на калибры  $12 \div 250$  мм и СВШ — с паровой обогреваемой рубашкой (для сильновязких жидкостей) на калибры  $12 \div 40$  мм, класс точности 0,25 и 0,5.

Лопастные счетчики используются для измерений объемов масел и глицерина, а также агрессивных жидкостей с объемом условного прохода  $100 \div 300$  м<sup>3</sup>/ч и классом точности 0,25 и 0,5.

## Весы

Для измерений массы вещества применяют весы, которые по принципу действия подразделяются на рычажные, пружинные, гидравлические и электромагнитные.

В рычажных весах масса вещества определяется путем уравновешивания моментов, развиваемых силами тяжести измеряемого груза и известной массы, приложенных к соответствующим концам рычага. Указатель этих весов позволяет встраивать различные измерительные элементы, преобразующие угол поворота оси указателя в электрический сигнал. Эти весоизмерительные агрегаты осуществляют автоматическое взвешивание грузов (контейнеры, ящики, коробки и др.), регистрируют и этикетировать взвешенную продукцию с указанием массы и номера партии.

В пружинных весах неизвестная масса взвешиваемого груза определяется по деформации упругого элемента. Для измерений деформации в современных весах используют главным образом тензорезисторные и вибрационно-частотные преобразователи.

Весы с тензорезисторными преобразователями обладают высокой точностью, стабильностью, надежностью, малой инерционностью и применяются, в основном, при больших пределах измерений.

**Вибрационно-частотные преобразователи** имеют высокую стабильность и класс точности до 0,5. На их основе серийно выпускаются датчики типа СКВ с верхними пределами измерения сил сжатия  $200\text{Н} \div 200\text{кН}$  и датчики типа СВР с верхними пределами сил растяжения  $2 \div 10$  кН.

В гидравлических весах усилие, развиваемое грузом, определяется путем измерения давления, создаваемого этим грузом в жидкости.

В электромагнитных весах груз уравновешивается силой Ампера. По назначению весы подразделяются на приборы периодического и непрерывного взвешивания твердых и сыпучих продук-

тов. **Весы периодического взвешивания** применяют для суммарного учета изделий в потоке и дозирования различных продуктов (мука, сахарный песок, соль и т. п.). **Весы для непрерывного взвешивания** обладают большой производительностью, но имеют малую точность.

**Действие весов непрерывного взвешивания** (конвейерные) основано на измерении массы определенного участка ленты транспортера, скорости ее движения и вычисления их произведения, представляющего собой мгновенную производительность транспортера. Автоматические конвейерные весы предназначены для взвешивания в движении поддона с грузом и обеспечивают передачу данных в систему управления, а также регистрацию результата. Относительная погрешность взвешивания 0,5%, скорость движения конвейера 0,2 м/с.

В системах управления дозаторы выполняют функции измерительного или исполнительного устройства. В первом варианте доза материала выдается как готовая продукция, во втором — отмеренная порция поступает в объект управления (машину, аппарат).

По принципу действия дозаторы подразделяются на объемные и весовые. По дозируемому веществу различают дозаторы газов, жидкостей и сыпучих сред. Весовые дозаторы сложны по конструкции, точны, но не обладают достаточным быстродействием. Объемные дозаторы просты по конструктивному исполнению, обладают достаточным быстродействием, но менее точны.

По назначению дозаторы подразделяются на порционные дозаторы и дозирочные питатели. Первые предназначены для отмеривания единичных порций вещества, вторые — для поддержания расхода вещества на заданном уровне.

**Для дозирования жидкостей** можно использовать дозаторы истечения и насосы-дозаторы.

Простейший дозатор истечения непрерывного действия представляет собой емкость с постоянным уровнем жидкости. Слив жидкости из этой емкости производится через определенное гидравлическое сопротивление, создаваемое дроссельным рабочим органом (РО), погрешность дозирования составляет не более 1%.

**Автоматические порционные дозаторы** сыпучих материалов имеют широкое применение, особенно ленточные весовые дозаторы, в которых по результатам взвешивания на конвейерных весах перемещаемого материала автоматически регулируется интенсивность его подачи. Дозаторы снабжены питателями, позволяющими в широких пределах измерять поток транспортируемого материала. Погрешность этих дозаторов составляет 0,5%.

**Счетчики штучных изделий.** Для учета штучной продукции (буханки, батоны, бутылки и т. п.) на конвейере применяют счет-

ные устройства (счетчики), которые в зависимости от вида энергии, используемой для приведения их в действие, подразделяются на механические, электромеханические, электронные и пневматические.

*Механические счетчики* состоят из счетного механизма и приводного устройства (заслонки, звездочки, турникеты и т. п.) и работают за счет энергии движущегося изделия.

*Электромеханические счетчики* приводятся в действие электромагнитом. Перемещающееся изделие кратковременно замыкает кнопочный выключатель цепи управления электромеханического счетчика. Под действием импульса тока якорь электромагнита поворачивает с помощью храпового механизма ось счетчика импульсов.

В *пневматических счетчиках* считываемые изделия прерывают воздушную среду, которая и формирует управляющий сигнал. Они находят применение во взрывоопасной среде, при повышенной температуре и т. д.

В *электронных счетчиках* импульсный сигнал формируется индуктивным, фотоэлектрическим, радиоволновым (СВЧ) или радиоизотопными преобразователями. Их действие основано на изменении движущимся изделием соответственно индуктивности катушки с электромагнитным сердечником, потока электромагнитного или радиоактивного излучения. Эти датчики позволяют вести учет штучной продукции без непосредственного контакта с учитываемыми изделиями и обладают длительным сроком службы и высокой надежностью.

Преобразователи перепада давления, уровня и расхода серий VEGADIF — 34÷51 предназначены для измерения перепада давления, уровня и расхода газов, паров и жидкостей. Данные преобразователи измеряют разность давлений на стандартной измерительной диафрагме, на входе и выходе фильтра или на стороне всасывания и на стороне давления насоса. Комплект состоит из емкостного чувствительного элемента с керамической мембраной или кремниевого пьезорезисторного чувствительного элемента с металлической изолирующей мембраной и электронного блока преобразования.

### *Технические характеристики*

Диапазон измерений (статическое давление), мбар:	10...1000
Погрешность измерения:	0,1%
Выходной сигнал:	0...5 мА; 4...20 мА
Изготовитель:	УЕОА (Германия)

**Вихревой расходомер VORFLO VOR 1100/2000** предназначен для измерения потока энергии (МДж/г); массового расхода (кг/г), потока нормального объема (Нм<sup>3</sup>/г) паровых, газовых или легколетучих жидкостных сред на предприятиях пищевой и химической промышленности. Принцип действия основан на измерении частоты колебания износа датчика, пропорциональной скорости потока. Состоит из специального элемента — крыла, установленного в трубопроводе, и преобразователя сигналов в защищенном корпусе.

### *Технические характеристики*

Диапазон измерений:	не ограничен.
Температура измеряемой среды:	-40...205° С; +65...400° С
Выходной сигнал:	4...20 мА; частотный; импульсный; протокол HART для портативной ЭВМ
Изготовитель:	Danfoss (Дания)

**Электромагнитный расходомер Promag** предназначен для измерения объемного расхода и объема электропроводящих жидкостей с удельной электропроводностью от 1...5 м См/см (пищевой воды, водных растворов, сточных вод, осадка, щелочей, кислот, пульпы, патоки, сула, пива, вина, молока и кисломолочных продуктов). Расходомер состоит из первичного электромагнитного преобразователя расхода, смонтированного в трубопроводе, и электронного блока в герметичном корпусе.

### *Технические характеристики*

Диапазон измерения:	0,005+11200 м <sup>3</sup> /ч.
Выходной сигнал:	электрический унифицированный аналоговый или цифровой. Отображение информации возможно на 11-разрядном цифровом ЖК-дисплее или на мониторе компьютера или контроллера.
Изготовитель:	Endress + Hauser (Германия)

**Расходомер для измерения массового расхода, массы и плотности Promass** предназначен для измерения массового расхода и массы (количества), плотности (концентрации) и температуры жидкости (кислот, щелочей, молочных продуктов, сиропа, шоколада, масел, жиров, уксуса, красок, суспензий, патоки, сула, продуктов ферментации, алкогольных продуктов, различных газов и их смесей). Принцип действия основан на измерении кориолисовых сил в трубах первичного преобразователя при протекании

через них потока среды. Измерение плотности основано на измерении резонансной частоты колебаний трубок первичного преобразователя расхода. Расходомер — это программное средство измерений, состоящее из первичного преобразователя расхода и электрического блока в герметичном корпусе. Технические характеристики: диапазон измерения: не ограничен; выходной сигнал: цифровой для отображения на ЖК-дисплее или мониторе компьютера. Изготовитель: Endress + Hauser (Германия).

**Расходомер — счетчик жидкости индукционный СЖИ-М** предназначен для измерения объема, массы, расхода и дозирования жидких пищевых сред (вода, пиво, молоко и др.) с удельной проводимостью от  $10^{-3}$  до  $10$  См/см и выдачи сигнала на исполнительное устройство при достижении заданного параметра в автономном режиме и в составе АСУ ТП. Комплект состоит из датчика индукционного типа КРЖИ, смонтированного на трубопроводе и преобразующего расход жидкости в последовательность электрических импульсов, которые поступают на вход микропроцессорного преобразователя постоянного сигнала типа ПЧС1, который обеспечивает вычисления и отображения на дисплее: разового объема; суммарного объема; расхода жидкости; массы продукта, соответствующего разовому объему, а также формирует сигнал управления, согласно заданному объему жидкости.

### *Технические характеристики*

Температура измеряемой среды	+4...+150° С
Предельное давление	1,6 МПа
Диапазон расхода:	
для ДРЖИ-25-8	0,2...8 м <sup>3</sup> /ч
для ДРЖИ-50-30	0,8...30 м <sup>3</sup> /ч
для ДРЖИ-50-50	1,25...50 м <sup>3</sup> /ч
Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Погрешность измерения	0,5%
Дистанционность передачи:	100 см
Выходные сигналы:	по стандарту ИРПС 20 мА; релейный постоянного тока — 24 В, 7 А
Габариты ПЧС1	220x148 мм
Изготовитель:	ООО «Контакт», г. Рязань

**Счетчик жидкости многоканальный дозирующий СЖМД** предназначен для контактного учета, контроля и дозирования жидких молочных продуктов и электропроводных жидкостей в диапазоне от 0,8 до 50 м<sup>3</sup>/ч. Максимальное число каналов 10.

Счетчик содержит индукционные датчики расхода жидкости, ПЭВМ, работающую под управлением Windows 95, устройства связи с объектом (УСО), прикладное программное обеспечение, разработанное с помощью инструментального программного пакета «TRACE MODE». Вычислительный комплекс обеспечивает выполнение следующих функций: подсчет разового и суммарного расхода жидкости; вычисление массы, пропорциональной разовому объему; отсчет заданного объема продукта (дозирование с формированием сигналов управления исполнительными механизмами в режиме реального времени); отображение измеренных и вычисленных значений на мониторе ПЭВМ в виде таблиц, гистограмм; архивирование регуляторов и составление отчетной документации. Изготовитель: ООО «Контакт», г. Рязань.

**Счетчик-расходомер вихреакустический СВА** предназначен для технологического и коммерческого учета расхода воды и водных растворов.

В комплект входят: первичный измерительный преобразователь (датчик СВА-ПГ) и электронный преобразователь вычислителя (СВА-ЭГ), соединенные кабелями. Электронный преобразователь исполнен для щитового монтажа. На передней панели расположены шестиразрядный электромеханический декадный счетчик расхода и цифровой жидкокристаллический дисплей мгновенного расхода.

### *Технические характеристики*

Диапазон расходов:	1...1,5 м <sup>3</sup> /ч; 2,5...60м <sup>3</sup> /ч; 5...100м <sup>3</sup> /ч; 10...200м <sup>3</sup> /ч
Температура измеряемой среды:	1...150° С
Давление измеряемой среды	до 1,6 МПа
Напряжение питания	220 В, 50Гц
Погрешность измерения	1,5
Выходной сигнал:	0...5 мА; 4...20мА; 0...1кГц; импульс прямоугольной формы
Габариты СВА-ЭП	120x160x500 мм
Изготовитель:	ОАО «Теплоприбор», г. Челябинск

**Массовый (кориолисовый) расходомер TRIO-MASS** предназначен для измерения массового и объемного расхода электропроводящих и непроводящих жидкостей и газов, а также их плотности и температуры по принципу измерения сил Кориолиса. Состоит из первичного преобразователя (расходная труба, смонтированная в трубопроводе) и цифрового дисплея с 2 строками с 16 символами каждая.

### *Технические характеристики*

Диапазон измерения расхода м <sup>3</sup> /ч;	36...1080 (min); 16 800...510 000 (max)
Температура измеряемой среды	-50...+180°C
Точность измерения расхода	±0,15%
Точность измерения плотности	±0,005 кг/л
Диапазон измерения плотности	0,5...3,5 кг/л
Максимальная длина кабеля	300 м
Изготовитель:	ABBА (Германия)

#### **4.4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ**

По принципу действия первичного преобразователя уровнемеры подразделяются на механические, электрические, акустические, тепловые и специальные.

Механические уровнемеры основаны на силовом воздействии уровня измеряемого материала на чувствительный элемент (поплавок и т. д.). Они подразделяются на поплавковые, буйковые и гидростатические. Поплавковые уровнемеры позволяют измерять уровень в диапазоне до 20 м с погрешностью измерения до  $\pm 1$  мм. В качестве первичного преобразователя уровнемера используется поплавок, плавающий на поверхности жидкости с постоянной осадкой. Положение поплавка фиксируется и преобразуется в электрический или пневматический сигнал вторичным преобразователем. Связь поплавок со вторичным преобразователем осуществляется при помощи механических элементов (троса, ленты, рычага) или бесконтактных следящих систем.

Работа **буйковых уровнемеров** основана на измерении выталкивающей силы, действующей на частично погруженное в жидкость тело массивного буйка. Изменение уровня жидкости преобразуется буйком в усилие, которое автоматически уравнивается устройством силовой компенсации. Выпускают буйковые уровнемеры с электрическим (типа УБ-Э) и пневматическим (типа УБ-П) унифицированными сигналами. Верхний предел измерения составляет от 2 см до 16 м, погрешность измерения до  $\pm 5$  мм.

Действие **гидростатических уровнемеров** основано на измерении гидростатического давления жидкости в аппарате. Гидростатическое давление измеряется с помощью дифманометра, двух манометров или пьезометрическим способом.

В **пьезометрических уровнемерах** мерой уровня является регистрируемое манометром давление газа, пропускаемого через трубку, опущенную в жидкость. В состав уровнемера входит регуля-



тор, который обеспечивает постоянный расход подаваемого в трубку газа вне зависимости от текущего значения уровня.

Принцип измерений **акустических уровнемеров** основан на физических явлениях, связанных с распространением звука в жидкой или газовой фазе. Они подразделяются на локационный, поглощения и резонансный. Широко применяется принцип локации, согласно которому измерение уровня осуществляют по времени прохождения расстояния от излучателя до границы раздела сред и обратно. Первичным преобразователем в них служит пьезоэлемент, выполняющий одновременно функции источника и приемника ультразвуковых колебаний. Они могут быть одноточечными и многоточечными. Минимальный диапазон измерений акустических уровнемеров составляет  $0 \div 2,5$  м, максимальный  $0 \div 30$  м. Класс точности 1,0 и 1,5.

**Электрические уровнемеры** подразделяются на кондуктометрические, емкостные и индуктивные.

**Кондуктометрические уровнемеры** используют измерение электрического сопротивления преобразователя, погруженного в электропроводную среду. Эти уровнемеры находят применение, в основном, в качестве сигнализаторов уровня электропроводящих жидкостей.

Работа **емкостных уровнемеров** основана на зависимости изменения емкости конденсатора, образованного электродами, частично погруженными в измеряемую среду. При изменении уровня жидкости изменяется емкость конденсатора, поскольку диэлектрическая проницаемость контролируемой среды больше, чем у воздуха. Конструкции емкостных преобразователей зависят от назначения прибора (измеритель или сигнализатор) и электропроводности среды. В измерителях уровня, в основном, применяют вертикально расположенные цилиндрические электроды. В сигнализаторах уровня электроды расположены горизонтально, что приводит к резкому изменению емкости преобразователя при заполнении аппарата до заданного уровня. Для неэлектропроводных жидкостей применяют неизолированные электроды, а для электропроводных один из электродов покрывают изоляционным слоем. Простота конструкции, надежность, высокая точность (погрешность не превышает 0,5%) обеспечили емкостным уровнемерам широкое применение в промышленности для измерения уровня сыпучих материалов и различных жидкостей. Например, емкостные уровнемеры типа РУС имеют различные диапазоны измерений от 0 до 20 м. Класс точности 0,5; 1,0; 1,5.

Действие **индуктивных уровнемеров** основано на зависимости индуктивности катушки от степени ее погружения в измеряемую

электропроводящую среду. Основная погрешность обычно не превышает 0,5%.

**Высокочастотные резонансные уровнемеры** предназначены для работы с любыми жидкостями, а также сыпучими гранулированными материалами. Измерительные преобразователи этих уровнемеров представляют собой отрезок электрической линии, собственная частота электромагнитных колебаний которого зависит от степени погружения его в измеряемую среду. Они имеют различные диапазоны измерений с верхней границей до 40 м. Погрешность 1,0; 1,5%.

**Оптические уровнемеры** можно подразделить на визуальные и фотометрические.

**Визуальные уровнемеры** представляют собой прозрачные вставки в стенках сосуда или сообщающихся с сосудом мерных трубках с нанесенной на них шкалой.

**В фотометрических уровнемерах** используется световой луч, падающий под острым углом на поверхность жидкости. Отраженный от поверхности жидкости луч через оптически прозрачную стенку попадает на протяженный приемник излучения. Координата приемника, в которой фиксируется максимальная освещенность, характеризует текущее значение уровня.

Принцип действия **тепловых уровнемеров** основан на зависимости удлинения или изменения электрического сопротивления подогреваемого стержня (трубки, проволоки) от степени погружения его в жидкость.

**Емкостный сигнализатор уровня** предназначен для контроля и сигнализации предельных уровней, наличия зерна и зернопродуктов в оперативных бункерах и шахтах зерносушилок. Состоит из корпуса, электронного блока и чувствительного элемента в виде пластины. Напряжение питания 24 В. Выходной сигнал: открытый коллектор (дискретный логический сигнал). Габариты 120x120x60 мм. Изготовитель: г. Краснодар, Кубанский филиал ВНИИЗ.

**Емкостной датчик уровня заполнения** предназначен для непрерывного контроля уровня заполнения зерна в оперативных бункерах и шахтах зерносушилок. Состоит из пластинчатого, трубчатого или тросового чувствительного элемента и первичного преобразователя. Диапазон измерения 0...10 м. Выходной сигнал 0...5 мА. Напряжение питания 220 В, 50 Гц. Габариты: диаметр 120 мм. Изготовитель: г. Краснодар, Кубанский филиал ВНИИЗ.

**Сигнализатор уровня СУ 100** предназначен для контроля уровня сыпучих и жидких электропроводных и диэлектрических сред, границы раздела между ними. Состоит из чувствительного элемента, электронного преобразователя и выходного устройства,

объединенного в одном блоке. Выходной сигнал: бесконтактный (0,2 А), релейный 2,5 А/250 В, сигнализация — по месту. Напряжение питания: постоянного тока 21+26В, переменного тока 18+25В. Габариты — в зависимости от конструкции (стержневой, гибкий, тросовый, пластинчатый, плоский). Изготовитель: ООО «Контакт-1», г. Рязань.

**Кондуктометрический сигнализатор уровня трехканальный СУ300** предназначен для сигнализации трех независимых предельных положений уровня электропроводных жидкостей в одном резервуаре. Состоит из кондуктометрического датчика и релейного блока со световой сигнализацией. Режимы работы: сигнализация трех уровней; поддержание уровней в заданных режимах. Выходной сигнал: релейный (число входов 3); 0,5 А/250 В. Напряжение питания 220 В, 50 Гц. Габариты: в зависимости от конструкции (стержневой, гибкий). Изготовитель: ООО «Контакт-1» г. Рязань.

**Индикаторы — сигнализаторы уровня ИСУ 100** предназначены для непрерывного измерения и сигнализации о двух независимых значениях уровня сыпучих и жидких электропроводных и диэлектрических сред. Прибор состоит из двух емкостных чувствительных элементов, емкость которых изменяется пропорционально уровню погружения в контролируемую среду, измерительного преобразователя с цифровой индикацией (жидкокристаллический, 3 разряда) и стрелочного показывающего прибора на базе миллиамперметра М381 щитового монтажа. Выходной сигнал: 0—5 мА, 0—20 мА, 4—20 мА, 0—5 В, 0—10 В, релейный (число датчиков 2), 2,5 А/250В. Класс точности 1,5. Габариты цифрового индикатора 190x150мм. Изготовитель: ООО «Контакт-1», г. Рязань.

**Уровнемер радиоволновой Барс 311** предназначен для непрерывного измерения уровня жидких продуктов как в автоматическом режиме, так и в составе АСУТП. В комплект уровнемера входит первичный преобразователь (приемно-передающий модуль и модуль обработки), который обеспечивает формирование частотного сигнала, пропорционального уровню контролируемой среды и размещенного под или над крышкой резервуара, и вторичного преобразователя, обеспечивающего: формирование двух установок со световой индикацией и выходом на реле; формирование стандартных частотно-токовых сигналов; индикацию уровня на цифровом индикаторе. Диапазон измерения 0—20 м. Основная погрешность измерения  $\pm 50$  мм. Выходной сигнал унифицированный токовый и частотный; релейный. Габариты вторичного прибора 220x196 мм. Изготовитель: ООО «Контакт-1», г. Рязань.

**Устройство управления электроприводом насоса с сигнализацией предельного уровня САУ-М4** предназначено для работы с насосами, автоматизации процессов поддержания заданного датчиками уров-

ня в резервуарах наполнительных емкостей с дистиллированной водой, молоком, пищевыми растворами и другими электропроводящими жидкостями. В комплект входят кондуктометрические датчики уровня (на 3 уровня), щитовое управляющее устройство, осуществляющее светодиодную сигнализацию предельных уровней и автоматическое управление насосами в режимах заполнения или осушения до заданного уровня. Выходной сигнал — в соответствии с временной диаграммой работы реле при заполнении и осушении резервуара. Габариты САУ-4М 96х96х160 мм.

Подключение первичных преобразователей давления, расхода и уровня с аналоговыми выходными сигналами к микропроцессорным системам контроля и управления можно осуществить посредством АЦП (модулей ввода аналоговых сигналов серий АДАМ-4000 и АДАМ-5000). Применяют модули АДАМ-4012, АДАМ-4016, АДАМ-4017, АДАМ-4080, АДАМ-4080Д, АДАМ-5017, АДАМ-5017Н, АДАМ-5080.

#### **4.5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ СОСТАВА ВЕЩЕСТВА**

Средства измерительной техники, предназначенные для анализа состава вещества, называют *анализаторами*, а измерительные преобразователи, входящие в их состав, *аналитическими устройствами*. В подавляющем большинстве анализаторы представляют собой сложные измерительные системы, в которые входят различные специальные блоки и устройства, связанные с отбором проб, их подготовкой и перемещением, анализом, вычислениями и др.

Автоматические анализаторы выпускаются в рамках государственной службы приборов (ГСП) в составе агрегатного комплекса средств аналитической техники (АСАТ). Комплекс состоит из ряда подкомплексов, построенных на различных принципах измерений. Примерный состав блоков подкомплексов АСАТ приведен на рис. 4.1.

Измерительные преобразователи и анализаторы, применяемые в АСАТ, позволяют анализировать вещества в газообразном, жидком, твердом, порошкообразном состояниях, а также в виде плазмы, суспензий и аэрозолей.

Агрегатный комплекс средств аналитической техники (АСАТ) состоит из следующих подкомплексов: фотометрических средств измерений (АСАТ-Ф), кондуктометрических средств измерений (АСАТ-К), потенциометрических средств измерений химического состава (АСАТ-П), диэлькометрических средств измерений состава (АСАТ-Д), магнитных, термомагнитных средств измерений (АСАТ-М). Для контроля физико-механических параметров мате-

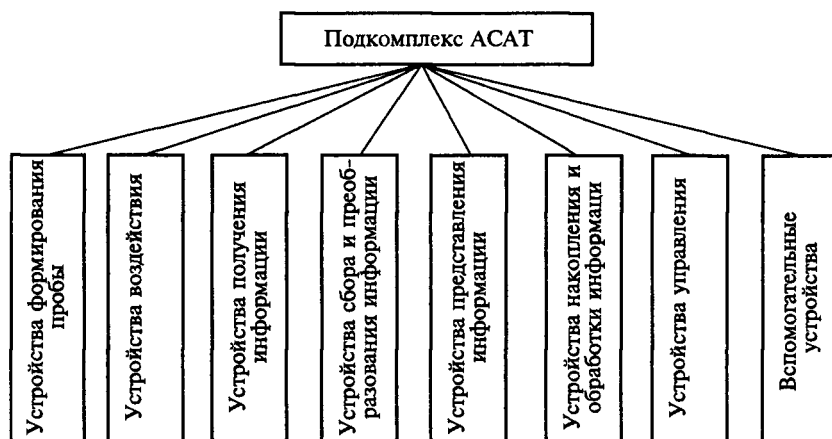


Рис. 4.1. Примерный состав блоков подкомплекса АСАТ

риалов, сырья и готовой продукции находят применение агрегатный комплекс средств испытаний материалов и готовой продукции на прочность (АСИП) и агрегатный комплекс средств неразрушающего контроля (АСНК).

#### **4.5.1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПОДКОМПЛЕКСА АСАТ-Ф**

Подкомплекс фотометрических средств измерений включает оптические анализаторы, работающие в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой областях спектра. В них используются явления поглощения, отражения и рассеяния излучения анализируемым веществом.

Спектральный анализ позволяет получить точные и однозначные характеристики вещества, отличается высокой избирательностью, универсальностью и производительностью. Анализы пищевых продуктов производятся по спектрам поглощения в ультрафиолетовом (УФ), видимом и инфракрасном (ИК) участках спектра (абсорбционный анализ), по спектрам люминесценции, комбинированного рассеяния (КР) и атомного эмиссионного анализа.

Оптические методы основаны на взаимодействии излучения с веществом. При поглощении света атомы и молекулы поглощающих веществ переходят в новые, энергетически возбужденные состояния. Приобретенная атомами и молекулами избыточная энергия в одних случаях расходуется на повышение их внутренней энергии, в других — на флуоресценцию или фосфоресценцию или расходуется в ходе фотохимических реакций.

Оптические анализаторы позволяют производить анализ как окрашенных, так и бесцветных веществ по избирательному поглощению монохроматического света в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра и характеризуются высокой точностью (относительная погрешность измерения составляет  $0,5 \div 1,0\%$ ). Они обеспечивают решение следующих задач: количественное определение содержания элементов и органических веществ (в том числе белков, углеводов и жиров) в широком интервале длин волн от 185 до 1100 нм; количественный анализ многокомпонентных систем; определение состава светопоглощающих комплексных соединений; изучение химических равновесий и определение фотометрических характеристик светопоглощающих соединений.

В УФ области спектра определяется содержание ряда групп атомов и исследуются превращения отдельных веществ, входящих в состав пищевых продуктов.

Метод ИК-спектроскопии является важнейшим физическим методом идентификации, изучения строения молекул и количественного анализа сложных пищевых сред.

Метод КР позволяет получать спектры не только прозрачных, а также дисперсных и капиллярно-пористых тел.

Перспективными являются метод спектроскопии по нарушенному полному внутреннему отражению (НПВО) и метод неупругого рассеяния нейтронов (СНРН). Метод СНРН позволяет получать высокое разрешение спектров в области  $(1,0 \div 1000) \text{ см}^{-1}$  и не ограничен правилами отбора образца.

Атомный эмиссионный спектральный метод предназначен для проведения качественного и количественного анализа. Этот метод применяется, в основном, для анализа неорганических элементов в пищевых продуктах (рыбе, мясе).

Спектральный анализ основан на применении сложной измерительной аппаратуры. Она состоит из совокупности источников света, фотометрических преобразователей и устройств, а также электронной и вычислительной техники обработки и отображения информации.

Главными задачами спектральной аппаратуры являются: получение спектров поглощения или флуоресценции пищевых продуктов, их идентификация и расшифровка, запись значений контролируемых компонентов, характеризующих пищевую ценность продукта.

Анализаторы дисперсных сред, основанные на явлении рассеивания света, называются *турбидиметрами*, если измеряемый световой поток проходит через анализируемую среду, и соответственно *нефелометрами*, если измеряется световой поток, отраженный этой сре-

дой. Например, турбидиметрические анализаторы мутности воды (типа ТВ) имеют диапазоны измерений от  $0 \div 3$  до  $0 \div 500$  мг/л, основная погрешность измерений  $\pm 2\%$ , а турбидиметрический анализатор содержания частиц сажи в дымовых газах осуществляет измерения в диапазоне от  $0 \div 2$  до  $0 \div 800$  мг/м<sup>3</sup>, основная погрешность  $\pm 2,5\%$ .

Анализаторы селективного измерения поглощения ультрафиолетового излучения различными веществами являются ультрафиолетовыми анализаторами и используются для измерений концентраций отдельных газов и паров (сероводород, озон, ртуть, сернистый ангидрид, четыреххлористый углерод и др.).

Оптические анализаторы, основанные на использовании излучений видимой части спектра, относятся к классам точности от 2,0 до 10.

Во всех фотометрических приборах используется несколько типовых оптических и электрических схем, различающихся у анализаторов одной группы лишь большей или меньшей степенью сложности. Существуют схемы, которые используются как в недисперсионных, так и в дисперсионных анализаторах. Для многих прикладных задач с применением дисперсионных анализаторов удобнее и точнее зарегистрировать спектр поглощения, чем измерять интенсивность поглощения излучения в точке.

В последнее время анализаторы качества оснащаются микропроцессорной и вычислительной техникой, которая в автоматическом режиме решает вопросы идентификации, записи и расшифровки спектров с выдачей результатов анализа в цифровой форме.

Информацию о спектральных характеристиках многих пищевых продуктов получают по спектрам поглощения нерассеивающих сред и спектрам поглощения и отражения рассеивающих свет компонентов.

Интенсивность поглощения различна в разных областях спектра. Для ИК спектрофотометров характерна область  $\lambda = 2,0 \div 40$  мкм или  $5000 \div 200$  см<sup>-1</sup>. В спектрофотометры УФ и видимой областей спектра используется излучение с  $\lambda = 0,2 \div 1,1$  мкм. Спектрофотометры КР работают в диапазоне  $0,4 \div 0,85$  мкм.

Люминесценция, в основном, используется для анализа качества пищевых продуктов животного и растительного происхождения (определяется степень порчи). Спектры флуоресценции обычно охватывают диапазон  $0,3 \div 1,3$  мкм. Анализаторы атомного эмиссионного анализа (спектроскопы) работают в диапазоне длин волн  $0,39 \div 0,7$  мкм.

#### 4.5.2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПОДКОМПЛЕКСА АСАТ-К

Кондуктометрический подкомплекс основан на использовании электрохимических СИ — электрокондуктометрических анализаторов (в дальнейшем кондуктометров). Принцип действия кондуктометров состоит в измерении электрической проводимости электролитов, по величине которой определяется концентрация растворенных веществ. При проведении анализа газовых смесей их растворяют во вспомогательной жидкости, а затем измеряют электропроводность раствора.

Существуют контактный и бесконтактный методы измерений. При этом различают контактные и бесконтактные измерительные ячейки (чувствительные элементы) и соответственно кондуктометры. Простейшая двухэлектродная контактная ячейка состоит из камеры с двумя металлическими электродами, заполненной анализируемой жидкостью. Для уменьшения погрешности, связанной с поляризацией электродов, применяют четырехэлектродные измерительные ячейки, в которых функции подвода электрической энергии к ячейке и съема сигнала измерительной информации разделены. При этом измерение электропроводности растворов осуществляется на переменном токе. Бесконтактные кондуктометры подразделяются на низкочастотные (с частотой до 1 кГц) и высокочастотные (с частотой до сотен МГц). В высокочастотных кондуктометрах используются емкостные и индуктивные первичные ИП, в низкочастотных — в основном емкостные.

Кондуктометрические анализаторы используют для получения информации о массовой доле моющего средства в растворах, применяемых при мойке оборудования и тары, с содержанием моющего средства в диапазоне 0,1 ÷ 2,0 % при температуре 50 ÷ 70° С с погрешностью ±0,1%.

Бесконтактные кондуктометры применяются при анализе растворов, содержащих взвеси, коллоиды, пленкообразующие и кристаллизующие вещества, а также для исследования агрессивных растворов солей, щелочей и кислот с высокой удельной электропроводностью.

**Концентратомер КАЦ-021** предназначен для автоматического дистанционного измерения приведенной к 25°С удельной электрической проводимости (УЭП) или концентрации водных растворов (NaCl, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и другие вещества).

Прибор состоит из безэлектродного первичного преобразователя и измерительного блока. Здесь обеспечиваются цифровая индикация и дистанционная передача результатов измерений удельной проводимости или концентрации, а также независимость показаний от температуры.



### *Технические характеристики*

Диапазоны измерений УЭП	20...200 мСм/см
концентрации NaCl:	1,5...15%
концентрации NaOH и H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :	0,5...15%
Погрешность измерений УЭП:	не более ±1,5%,
концентрации растворов	не более ±3,0%.
Выходной сигнал:	0+5 мА, 0+20 мА, 4+20 мА.
Напряжение питания переменного тока:	220±20 В с частотой 50±5 Гц.
Габариты:	
первичного преобразователя	
(погружного):	диаметр 120 на 150 мм
измерительного блока	135x205x240 мм

**Анализатор жидкости кондуктометрический АЖК-3103** предназначен для автоматического непрерывного контроля удельной электрической проводимости и концентрации растворов кислот, щелочей, солей и т. д. в химической и пищевой промышленности. Анализатор состоит из первичного измерительного преобразователя (проточный или погружной) и измерительного прибора с цифровой светодиодной индикацией.

### *Технические характеристики*

Диапазон измерения УЭП	
(в зависимости от модификации):	0+2, 0+100 и 0+1000 мСм/см;
концентрации NaCl	0+5 0+50 0+500 мг/л;
или измерения УЭП при	0+5 0+50 мСм/см,
концентрации NaCl соответственно	0+5 0+50 г/л
Погрешность измерений	±2,0%
Выходной аналоговый сигнал	0+5 мА, 4+20 мА
Сигнализация заданного уровня	«сухой» контакт.
Температура контролируемой среды	+5...+95° С
Габариты цифрового прибора	48x96x160 мм
Изготовитель:	НЛП «Автоматика», г. Владимир

**Концентратомер универсальный моющих растворов и сигнализатор раздела сред КУРС** предназначен для автоматического контроля и регулирования концентрации моющих растворов, сигнализации об уровнях раздела сред «вода — молоко», «вода — моющий раствор» в процессах и оборудовании молочной, масложировой, пивобезалкогольной, винодельческой и ликероводочной промышленности.

Принцип действия концентратомера основан на кондуктометрическом методе. Прибор состоит из датчика проточного или по-

грузного типа, преобразователя сигналов, микропроцессорного измерителя-регулятора.

### *Технические характеристики*

Диапазоны измерений УЭП:	
каустическая сода	0,1+150 мСм/см
кальцинированная сода	0,5+50 мСм/см
азотная кислота	1+150 мСм/см
сульфаминовая кислота	0,5+60 мСм/см
вода — молоко — моющий раствор	0,15+8,0 мСм/см
Преобразователь сигналов настраивается на диапазоны:	0+199,9 мСм/см и 0+19,9 мСм/см
Точность измерений	±2% от диапазона
Измеритель-регулятор:	два выходных релейных устройства для сигнализации раздела сред
Давление измеряемой среды	не более 0,5 МПа
Температура контролируемой среды:	+5...50° С
Габариты:	
датчика	142x52x73 мм
преобразователя	165x110x90 мм
микропроцессорного измерителя-регулятора	144x72x190 мм

**Концентратомер — сигнализатор кондуктометрический АЖК-3120** предназначен для автоматического измерения концентрации растворов и сигнализации раздела фаз: «вода — молоко»; «вода — моющий раствор» в пищевой промышленности и состоит из проточного первичного преобразователя и цифрового прибора, имеющего сигнализацию о выходе измеряемого параметра за заданные значения (нижний и верхний уровни).

### *Технические характеристики*

Диапазон измерения:	
молоко	1...6%
кальцинированная сода	0,2...2,0%
каустическая сода	0,1...1,0%
раствор щелочи NaOH	0,2...1,5%
раствор кислоты	0,2...1,0%
Основная погрешность: ±4% от диапазона	
Температура контролируемой среды	+5...95° С
Сигнализация заданного уровня	«сухой» контакт
Выходной сигнал	0+5 мА, 4+20 мА
Габариты цифрового прибора	48x96x160 мм
Изготовитель:	НЛП «Автоматика», г. Владимир

### 4.5.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПОДКОМПЛЕКСА АСАТ-П

Потенциометрический подкомплекс предназначен для измерения концентраций различных ионов в растворах (ионометрия) и для контроля окислительно-восстановительного потенциала (оксредметрия). Эти измерения можно производить и в газовых средах.

Потенциометрические анализаторы относят к электрохимическим средствам измерений, принцип действия которых основан на определении потенциала измерительной ячейки, размещенной в электролите. Электродный потенциал измеряют косвенным методом по величине ЭДС измерительной ячейки, составленной из измерительного (индикаторного) и сравнительного (вспомогательного, опорного) электродов. Электроды размещаются в ячейке, через которую пропускают анализируемую среду. Величина ЭДС измерительной ячейки формирует информацию о концентрации (активности) ионов в анализируемой среде, а также об ее окислительно-восстановительных свойствах.

Для определения активной концентрации различных ионов при потенциометрических измерениях используют показатель  $pX$  ( $p$  — первая буква слова *Protenz* — степень,  $X$  — химический символ элемента по таблице Д.И. Менделеева), который определяется как отрицательный десятичный логарифм количества ионов элемента

$$pX = -\lg a_x, \quad (4.1)$$

где  $a_x$  — количество ионов элемента в 1 л раствора.

Известно большое количество разнообразных по конструкции индикаторных электродов для ионометрии, среди которых широкое применение нашли ионоселективные электроды, обладающие селективной избирательностью для конкретного типа ионов. Для измерения активности катионов и анионов  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $I^-$ ,  $CO_3^{-2}$ ,  $NH_4^-$ ,  $SO_4^{-2}$  и многих других изготавливают электроды на основе ионообменных мембран, специального стекла. Для измерения активности ионов водорода применяются стеклянные электроды, мембрана которых изготавливается из специального электродного стекла на основе окислов Na, K, Cs. Для измерения окислительно-восстановительного потенциала применяются платиновые электроды, используемые в качестве индикаторного электрода.

В качестве сравнительного (вспомогательного, опорного) в пищевой промышленности используется хлорсеребряный электрод, потенциал которого постоянен и составляет 201 мВ.

В качестве анализаторов величины  $pX$  используются ионометры на диапазоны измерений от  $-20$  до  $20$   $pX$  с погрешностью измерений  $\pm 0,01$   $pX$  при постоянной времени до 40 с. Ионометры

изготавливаются в лабораторном и промышленном вариантах, в стационарном или переносном исполнении.

Потенциометрические ионоселективные измерительные системы решают вопрос автоматического контроля концентраций микроэлементов в пищевых продуктах.

***pH*-метр — иономер «ЭКОТЕСТ-120» (портативный микропроцессорный)** предназначен для измерения активности ионов водорода (*pH*), активности различных ионов (*pX*), молярной и массовой концентраций одновалентных и двухвалентных анионов и катионов, а также для определения температуры водных растворов. В память прибора введены параметры 27 ионов, в том числе  $H^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO^+$ ,  $Ca^{+2}$  и др. Это позволяет подключить к прибору соответствующие ионоселективные датчики контроля этих ионов.

Достоинства прибора: представление результатов измерений в единицах мВ, *pX*, моль/л, мг/л; измерение температуры; сохранение данных предыдущих калибровок; возможность работы с IBM совместимых компьютеров (связь осуществляется по каналу RS-232C); применение внешнего коммутатора каналов (это позволяет использовать прибор в качестве многоканального до 49 каналов); жидкокристаллический двухстрочный индикатор, удобное пользовательское меню, режим подсказок.

### ***Технические характеристики***

Диапазон измерений преобразователя:	
активности	от -20 до +20 <i>pX</i>
ЭДС	от -400 до +400 мВ
температуры	от -20 до +150° С
Дискретность:	
величины <i>pX</i>	0,001
температуры	0,1° С
Основная абсолютная погрешность преобразователя	±0,01 <i>pX</i>
температуры	±0,5° С
Питание преобразователя	от автономного источника питания от 4 до 6 В; от источника постоянного тока с напряжением от 8 до 12 В
Габариты измерительного преобразователя:	200x105x60 мм
Масса	0,4 кг.
Изготовитель:	ВНИМИ, г. Москва

Величина *pH*, определение которой есть частный случай ионометрии, характеризует кислотные (щелочные) свойства раство-

ров, т. е. активность ионов водорода в них. Для дистиллированной воды  $pH=7$ . Растворы с  $pH < 7$  являются кислыми, с  $pH > 7$  — щелочными.

Существуют три метода измерения кислотности: колориметрический, потенциометрический и кондуктометрический.

**Колориметрический метод** основан на титровании пробы вещества до точки нейтрализации, которая определяется по цветовому индикатору. Этот метод трудоемок, субъективен и не поддается автоматизации.

**Потенциометрический метод** измерения  $pH$  заключается в том, что при погружении в контролируемую среду измерительной ячейки, состоящей из измерительного (индикаторного) и сравнительного (вспомогательного) электродов, между электродами в контролируемом растворе возникает электрический потенциал, зависящий от активности ионов водорода и температуры раствора. В качестве измерительного применяют стеклянный, иногда сурьмяный или водородный электроды. Сравнительным для пищевых веществ монополюсно является хлорсеребряный электрод. Электродную систему помещают в специальные устройства для защиты от механических повреждений. Измерительные ячейки изготавливают погружного и поточного типа. Величину  $pH$  определяют  $pH$ -метрами. Они состоят из измерительной ячейки с термокомпенсатором, высокоомного преобразователя и потенциометра. Изготавливаются лабораторные и производственные  $pH$ -метры, которые подразделяются на переносные и стационарные. Диапазон измерений этих  $pH$ -метров составляет  $0 \div 14$   $pH$  с поддиапазонами  $0 \div 4$ ,  $0 \div 8$ ,  $8 \div 12$   $pH$ . Абсолютная погрешность измерений  $\pm 0,01$   $pH$ . Выходной токовый сигнал составляет  $0 \div 5$  мА.

**$pH$ -милливольтметр  $pH-011$**  предназначен для автоматического непрерывного и лабораторного измерения активности ионов водорода ( $pH$ ) и окислительно-восстановительного потенциала ( $Eh$ ) водных растворов.

Прибор состоит из электронного блока (высокоомного преобразователя) и электродной системы.

При этом обеспечивается цифровая индикация и дистанционная передача результатов измерения с возможностью выбора коэффициента преобразования в широких пределах, а также температурная компенсация характеристик электродов. Технические характеристики следующие: диапазон измерений от 0 до 14  $pH$ ; основная погрешность электронного блока  $\pm 0,02$   $pH$ . Температура анализируемой среды  $+5...+50^\circ C$ . Выходной сигнал  $0...5$  мА,  $0...20$  мА,  $4...20$  мА. Напряжение питания переменного тока  $(220 \pm 20)$  В. Частота питающего напряжения  $(50 \pm 5)$  Гц. Габариты

электронного блока (щитовое крепление) 154x205x240 мм; блока электродной системы 280x440x105 мм.

**pH-метр «МК-Луч»** предназначен для непрерывного контроля величины *pH* и температуры кисломолочных продуктов, заквасок, продуктов сахарной, пивоваренной, винодельческой, микробиологической промышленности в трубопроводах и на оборудовании. Прибор состоит из электронного блока (высокоомного преобразователя) и датчика (погружного или проточного).

### *Технические характеристики*

Диапазон измерений	0...14 <i>pH</i>
Основная погрешность электронного блока	$\pm 0,01$ <i>pH</i>
Температура контролируемой среды	0+150° С
Величина ЭДС	-2500...+2500 мВ
Габариты:	
электронного блока	150x200x200 мм
датчика погружного	200x500 мм
датчика проточного	80x120 мм
Изготовитель:	ВНИМИ, г. Москва

**pH-метр Chicker 1 (малогабаритный переносной)** предназначен для оперативного контроля величины *pH* водных растворов, имеет цифровой дисплей с крупной и четкой индикацией *pH*.

### *Технические характеристики*

Диапазон измерений:	0...14 <i>pH</i>
Точность измерения:	$\pm 0,01$ <i>pH</i>
Основная абсолютная погрешность:	$\pm 0,2$ <i>pH</i>
Двухточечная калибровка:	( <i>pH</i> = 7,01 и <i>pH</i> = 4,1)
Продолжительность работы батарей:	(2x1,4 В) 3000 ч
Масса:	65 г
Изготовитель:	фирма «HANNA Instrumens», дилер компании МИЛЛАБ

### **pH-метр серии «PICCOLO».**

В приборе реализован принцип «электрод + усилитель сигнала», что позволяет свести к минимуму влияние буферного раствора, нежелательных примесей, влажности окружающей среды на точность *pH*-измерений.

Эти *pH*-метры комплектуются комбинированным электродом-штангой (PICCOLO-1) длиной 90 мм, комбинированным

электродом-штангой (PICCOLO-2) длиной 160 мм или комбинированным электродом-штангой (PICCOLO Plus) длиной 160 мм, позволяющим также измерять температуру.

### *Технические характеристики*

Диапазон измерений:	1...13 <i>pH</i>
Точность измерения:	$\pm 0,01$ <i>pH</i>
Основная абсолютная погрешность:	$\pm 0,01$ <i>pH</i>
Калибровка:	двухточечная
Вес:	400 г (вместе с футляром для транспортировки)
Изготовитель:	фирма «HANNA Instrumens», дилер компания МИЛЛАБ

**Кондуктометрический метод определения кислотности** основан на измерении электропроводности контролируемых сред. Электропроводность анализируемых растворов зависит от удельной электропроводности компонентов, формирующих контролируемую среду, кислотности и температуры. ИП представляет собой двухэлектродную ячейку, выполненную из металлических стержней. В качестве измерительной схемы используется электронный мост постоянного тока. Однако этот метод контроля кислотности не нашел широкого применения из-за низкой чувствительности и плохой воспроизводимости результатов измерений.

**Окредметрия** рассматривает вопросы взаимодействия веществ в растворах. Процессы, протекающие в растворе, вовлекают частицы в окислительно-восстановительную систему, которая характеризуется величиной окислительного потенциала (ОП). Термин «окислительный потенциал» введен для того, чтобы показать, что потенциал увеличивается с ростом окислительной способности раствора (симбатная зависимость). Восстановительная способность раствора будет тем больше, чем меньше его окислительный потенциал (антибатная зависимость). Величина ОП (в мВ) является параметром (энергетической характеристикой) оперативного контроля интенсивности протекания окислительно-восстановительных реакций, т. е. активности и глубины протекания биохимических, микробиологических и других преобразований при брожении полуфабрикатов. Она определяет термодинамические и кинетические характеристики процесса созревания полуфабрикатов хлебопекарного, спиртового и пивоваренного производств, а также виноделия.

Величину ОП следует рассматривать как работу реакций окислительно-восстановительного взаимодействия анализируемой среды (субстрата) со стандартной системой, потенциал которой

принимается равным нулю, т. е.  $\Psi^* = 0$ . Поэтому разность потенциалов между окислительно-восстановительной системой ( $\Psi$ ) и стандартной (опорной) системой формирует ОП, который равен

$$\varphi = \Psi^* - \Psi. \quad (4.2)$$

Таким образом, ОП численно равен ЭДС чувствительного элемента ИП, в котором взаимодействуют две окислительно-восстановительные системы, одна из которых стандартная. Эта гальваническая ячейка ИП состоит из измерительного (индикаторного) и сравнительного (вспомогательного) электродов.

При измерении величины ОП ( $-O_2$ ) измерительный преобразователь состоит из точечного (глубинного) платинового (измерительного) и хлорсеребряного (сравнительного) электродов. При измерении величины ОП ( $+O_2$ ) измерительный преобразователь формируется из тонкостенного (поверхностного) платинового и хлорсеребряного электродов. Наиболее информативной является величина ОП ( $-O_2$ ). Измерительной схемой величины ОП являются милливольтметр или потенциометр. Диапазон измерения от  $-1990$  до  $+1990$  мВ с абсолютной погрешностью измерения  $\pm 10$  мВ.

При введении в контролируемую среду компонента (улучшителя, обогатителя и др.) она отвечает скачком ОП, величина которого является энергетической характеристикой (работой) взаимодействия данного компонента с этой средой. По величине ОП можно определить оптимальную дозировку компонента. При стабилизации ОП системы, т. е. при установлении в ней динамического равновесия окислительно-восстановительных преобразований (равновесие окисленных и восстановленных форм в контролируемой среде) можно судить о готовности данной среды (например, полуфабриката) для дальнейшей переработки. Для измерения величины ОП или рН можно использовать любой рН-метр с диапазоном измерения величины ЭДС электродной системы, например: рН-милливольтметр рН-011, рН-метр «МК-Луч», рН-метр серии «PICCOLO».

#### **4.5.4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПОДКОМПЛЕКСА АСАТ-Д**

Подкомплекс диэлькометрических средств измерений предназначен для определения свойств, состава и структуры веществ по диэлькометрическим (по диэлектрической проницаемости) параметрам. Подкомплекс состоит из трех групп приборов. В первую группу входят приборы для непрерывного бесконтактного дистанционного контроля концентрации одного из компонентов двухфазных потоков, образующихся, например, при гидротранспорте материалов. Вторую группу образуют приборы, предназначенные для определения состава бинарных смесей жидкостей и



газов. Третья группа состоит из диэлькометрических анализаторов, предназначенных для анализа свойств и состава веществ всех агрегатных состояний.

#### **4.5.5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ СОСТАВА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ**

В пищевой промышленности анализ состава газовых смесей осуществляется с помощью тепловых (термокондуктометрические, термохимические и термомагнитные), гальванических, оптических и фотометрических газоанализаторов, а анализ состава жидкостей — анализаторов электрических (кондуктометрические и потенциометрические) и оптических.

Как правило, комплекты газоанализаторов состоят из измерительного преобразователя, измерительного и вспомогательных устройств.

Принцип действия термокондуктометрических автоматических газоанализаторов основан на использовании значительного различия в теплопроводности компонентов, входящих в состав контролируемых газовых смесей. С помощью первичных измерительных преобразователей измеряется относительное изменение теплопроводности контролируемой газовой смеси, которая сравнивается с теплопроводностью эталонной смеси.

Действие термохимических газоанализаторов основано на изменении температуры при сжигании газа на каталитически активной нагреваемой нити.

Принцип действия термомагнитных газоанализаторов основан на использовании парамагнитных свойств кислорода и предназначен для измерения концентрации этого газа в газовых смесях.

Работа гальванических автоматических газоанализаторов основана на использовании электрохимической реакции, вызывающей возникновение тока на щелочном гальваническом элементе при попадании на него кислорода.

Принцип действия оптических автоматических газоанализаторов основан на использовании изменения степени поглощения инфракрасного излучения анализируемым газом в зависимости от концентрации в нем определяемого компонента.

Действие фотометрических газоанализаторов основано на сравнительном измерении световых потоков, падающего и отраженного от ленты прибора, обработанной раствором соответствующего индикатора.

**Газоанализатор «Ритангаз-16»** предназначен для автоматического контроля отходящих газов топливосжигающих установок. Контролируемый газовый состав:  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ,  $O_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ . Диапа-

зон измерений:  $O_2$  от 0...21%,  $CO$  от 0...30 000 ppm;  $CO_2$  от 0 до 25%;  $NO$  от 0 до 20 000 ppm;  $SO_2$  от 0 до 4000 ppm;  $SO_2$  от 0 до 100 ppm;  $H_2S$  от 0 до 200 ppm. Класс точности измерения 1,0.

**Газоанализатор «ГИАМ-15М»** предназначен для автоматического контроля концентрации газов в технологических процессах. Контролируемый газовый состав:  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $SO_2$ . Диапазон измерений:  $CO$  от 0 до 1%;  $CO_2$  от 0 до 200 ppm;  $CO_3$  от 0 до 0,2%;  $NO$  от 0 до 60 г/м<sup>3</sup>. Класс точности измерения 1,0.

**Газоанализатор «АНКАТ-7621»** предназначен для непрерывного контроля концентрации токсичных газов на уровне ПДК рабочей зоны. Контролируемый газовый состав:  $CO$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $Cl_2$ ,  $NO_2$ .

Диапазон измерений:  $CO$  от 0 до 50 г/м<sup>3</sup>;  $H_2S$  от 0 до 20 г/м<sup>3</sup>;  $SO_2$  от 0 до 20 г/м<sup>3</sup>;  $NO_2$  от 0 до 20 г/м<sup>3</sup>. Класс точности измерения 0,5.

**Газоанализатор-сигнализатор «СГГ-4М»** предназначен для автоматического непрерывного контроля концентраций многоканальных воздушных смесей горючих газов и паров, вплоть до взрывоопасных.

**Газоанализатор «ГАНК-4»** предназначен для автоматического непрерывного контроля за содержанием до 70 вредных веществ в воздухе рабочей зоны и атмосфере.

Подключение анализатора состава пищевых продуктов с аналоговыми выходными сигналами к микропроцессорным системам контроля и управления следует осуществлять посредством АЦП (т. е. модулей ввода аналоговых сигналов серий АДАМ-4000 и АДАМ-5000), а именно с помощью АДАМ-4012, АДАМ-4017, АДАМ-4080, АДАМ-4080Д, АДАМ-5017, АДАМ-5017Н, АДАМ-5080.

## **4.6. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ**

Анализаторы свойств веществ всех агрегатных состояний подкомплекса АСАТ можно подразделить на анализаторы: плотности, влажности и вязкости.

### **4.6.1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ**

Плотность вещества — это величина, определяемая как отношение массы вещества к занимаемому им объему.

СИ плотности жидкостей подразделяют на поплавковые, весовые, гидростатические, вибрационные и радиоизотопные плотномеры.

**Поплавковые плотномеры (ареометры)** в основном применяются в лабораторной практике для измерений плотности жидкостей, т. е. для определения процентного содержания растворен-

ных веществ в бинарных растворах. Принцип их действия основан на измерении выталкивающей силы, действующей на поплавков, частично или полностью погруженный в контролируемое вещество. В зависимости от типа датчика (ЧЭ) плотномера на выходе может формироваться электрический или пневматический сигнал.

Плотномеры с частично погруженным поплавком осуществляют измерение плотности в диапазоне  $0,005 \div 0,01$  г/см<sup>3</sup> с погрешностью  $1,5 \div 3\%$  от диапазона измерений. Плотномеры с полностью погруженным поплавком могут измерять плотность жидкостей в диапазоне  $0,5 \div 1,2$  г/см<sup>3</sup>, их класс точности 1,0.

**Весовые плотномеры** применяют для измерения плотности вещества в потоке. В них жидкость протекает по петлеобразному участку трубы, соединенному с основным трубопроводом гибкими резиновыми или металлическими патрубками (сильфонами). При изменении плотности жидкости соответственно изменяется масса петлеобразной трубы и с помощью электросилового или пневмосилового преобразователя формируется унифицированный сигнал, который поступает на регистрирующий прибор. Диапазон измерений этих плотномеров составляет  $0,5 \div 2,5$  г/см<sup>3</sup>. Класс точности 1,0; 1,5.

**Гидростатические плотномеры** можно применять для непосредственного измерения плотности в технологических объектах. Их действие основано на зависимости давления столба жидкости постоянной высоты от ее плотности. Эти плотномеры имеют диапазон измерений от 0,04 до 0,35 г/см<sup>3</sup> и от 0,08 до 0,50 г/см<sup>3</sup>. Основная погрешность составляет  $1,5 \div 2,0\%$  диапазона измерений.

Работа **вибрационных плотномеров** основана на функциональной зависимости характеристик упругих колебаний резонатора от плотности контролируемого вещества. Резонаторы изготавливаются в форме трубы, пластины, стержня, струны, камертона и т. д. По конструкции различают проточные и погружные вибрационные плотномеры: в проточных контролируемое вещество протекает через внутреннюю полость резонатора; в погружных резонатор размещается в потоке контролируемого вещества. Диапазон измерений вибрационных плотномеров составляет  $0,5 \div 0,6$  г/см<sup>3</sup> с абсолютной погрешностью 0,0001 г/см<sup>3</sup>.

Принцип действия **радиоизотопных плотномеров** основан на измерении изменения интенсивности ионизирующего излучения при его прохождении через контролируемую среду. Они находят применение для измерений плотности агрессивных, а также достаточно вязких сред.

## **Расходомер для измерения плотности (концентрации) жидкости Pgomass**

Принцип действия этого расходомера основан на измерении величин кориолисовых сил в трубах первичного преобразователя при протекании через них потока среды. Измерение плотности основано на измерении резонансной частоты колебания трубок первичного преобразователя расхода. Расходомер представляет собой программное средство измерений, состоящее из первичного преобразователя расхода и электрической части в герметичном корпусе.

### ***Технические характеристики***

Диапазон измерений:	не ограничен
Выходной сигнал:	цифровой для отображения на ЖК-дисплее или мониторе компьютера
Изготовитель:	Endress + Hauser (Германия)

**Массовый (кориолисовый) расходомер TRIO-MASS** предназначен для измерения плотности и температуры проводящих и непроводящих жидкостей по принципу измерения силы Кориолиса. Прибор представляет собой первичный преобразователь (расходная труба, вмонтированная в трубопровод), соединенный с цифровым дисплеем с 2 строками с 16 символами каждая.

### ***Технические характеристики***

Диапазон измерения плотности	0,5.....3,5 кг/л
Точность измерения	±0,005 кг/л
Температура измеряемой среды	-50...+180° С
Максимальная длина кабеля	300 м
Изготовитель:	ABBA (Германия)

## **4.6.2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ**

Раздел метрологии об измерении величин, характеризующих влажность газообразных сред, называется *гигрометрией*, средства измерения влажности газов — *гигрометрами*, раздел об измерении величин, определяющих влажность жидких и твердых веществ, называется *влагометрией*, а приборы для измерений их влажности — *влагомерами*. Газообразные среды могут характеризоваться абсолютной и относительной влажностью. Содержание влаги в жидких и твердых веществах определяется массовой влажностью, или влагосодержанием.

Гигрометры по принципу действия подразделяются на психрометрические, конденсационные, сорбционные и диэлькометрические.

**Психрометрические анализаторы (психрометры)** применяются для измерений концентраций (содержания) паров воды в газообразных средах. Их действие основано на охлаждении жидкости (в основном, воды) при ее испарении в контролируруемую газообразную среду.

Психрометр состоит из двух идентичных термопреобразователей: «сухого», омываемого контролируемым газом, и «влажного», ЧЭ которого увлажняется, так как соприкасается с фитилем, всасывающим воду из специального сосуда. В газообразной среде, относительная влажность которой меньше 100%, вода испаряется с поверхности фитиля и охлаждает ЧЭ «влажного» термопреобразователя до температуры ниже окружающей. По разности температур между «сухим» и «влажным» термопреобразователями определяют величину относительной влажности по психрометрическим таблицам или специальным номограммам. В автоматических психрометрах в качестве термопреобразователей используют термосопротивления, включенные в измерительную схему — двоярный автоматический уравновешенный мост, шкала которого отградуирована в единицах относительной влажности, класс точности 2,5; инерционность 3 ÷ 5 мин.

Действие **конденсационных гигрометров** (гигрометры точки росы) основано на измерении температуры, при которой газообразная среда достигает насыщения при данном давлении. Температура насыщения определяется по началу конденсации водяного пара на зеркальной поверхности охлаждаемого тела при обдуве его контролируемой газовой средой. Эта температура называется *температурой точки росы*. По температуре точки росы при неизменном давлении можно определить абсолютную и относительную влажность газообразной среды. Диапазон измерений этих гигрометров составляет  $-80 \div -40^\circ\text{C}$  при давлении контролируемого газа  $0,05 \div 10$  МПа, абсолютная погрешность измерений не более  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

**Сорбционные влагомеры** действуют на основе использования механических, тепловых, оптических и электрических эффектов, обуславливающих процесс сорбции влаги из окружающей среды твердым телом или жидкостью.

Широкое применение имеют сорбционные влагомеры, принцип действия которых основан на электрических эффектах. Например, сорбционный влагомер, в котором массу влаги определяют при помощи пьезоэлектрического эффекта, возникающего

на пластине, покрытой сорбентом (диоксид кремния, сульфинированный полистирол или другой гигроскопический полимер). Масса сорбированной влаги определяется путем измерения частоты или амплитуды колебаний пластины, на поверхность которой нанесен слой сорбента. Пластина включена в высокочастотный колебательный контур (5—15 МГц) генератора и помещена в камеру, через которую прокачивается контролируемый газ. При изменении влажности контролируемой среды изменяется масса сорбируемой влаги и соответственно частота колебаний генератора, в состав которого входит пластина со слоем сорбента.

Принцип действия диэлькометрических гигрометров основан на зависимости диэлектрической проницаемости вещества от его влажности. При этом диэлектрическая проницаемость воды примерно в  $20 \div 40$  раз больше диэлектрической проницаемости других веществ. В этих гигрометрах контролируемый газ прокачивается с постоянным объемным расходом через камеру, в которую помещен алюминиевый стержень со слоем оксида алюминия, нанесенным на поверхность. Поверх этого слоя уложена никелевая проволока. Стержень и проволока образуют электрический конденсатор, емкость которого изменяется при сорбции паров воды оксидом алюминия. Емкость конденсатора измеряется мостовой схемой переменного тока. Эти гигрометры работают в диапазоне  $20 \div 100\%$  относительной влажности. Относительная погрешность измерения 1,5%.

**Измеритель-регулятор температуры и влажности ИРТВ-5215 в комплекте с ИПТВ 056** предназначен для измерения и регулирования температуры и влажности воздуха в различных технологических процессах.

В ИРТВ-5215 в качестве первичного преобразователя применяется измерительный преобразователь температуры и влажности ИПТВ 056, в состав которого входят емкостной чувствительный элемент относительной влажности и термосопротивление Pt 100.

Прибор ИРТВ-5215 осуществляет измерение параметров и отображение их на цифровом табло, а также осуществляет функции сигнализации (регулирования) релейного типа (2 установки на каждый канал) либо непрерывное регулирование температуры и влажности по расходу пара. Электроуправляемые многооборотные вентили подключаются к прибору напрямую.

### *Технические характеристики*

Тип первичного преобразователя	ИПТВ 056М
Основная погрешность измерения температуры	$\pm 0,25\%$
Выход регулятора температуры «сухой контакт»:	250 В/10 А
Выходной унифицированный сигнал:	0...5 мА, 4...20 мА

Встроенный измерительный преобразователь по влажности

выходной унифицированный сигнал составляет 0...5 мА или 4...20 мА

Габаритные установочные размеры:

передняя панель (по DIN 43700)

96x96 мм

монтажная глубина

180 мм

вырез на щите

86x86 мм

Действие **кондуктометрических гигрометров** основано на измерении зависимости электропроводности влагосорбирующих материалов от влажности контролируемой среды, их часто называют сорбционно-кондуктометрическими. Например, для непрерывного измерения относительной влажности паровоздушных смесей часто используется сорбционно-кондуктометрический гигрометр типа ГС-210. В качестве первичного преобразователя в нем используется блок, состоящий из 7 узкодиапазонных влагочувствительных элементов, соединенных между собой корректирующими резисторами для получения линейной зависимости по току, обеспечивающему термокомпенсацию измерительной системы. Диапазон измерений этого гигрометра составляет  $15 \div 98\%$ . Относительная погрешность до  $\pm 3\%$ .

Для измерений влажности жидких, твердых и сыпучих веществ применяют термогравиметрические (весовые), диэлькометрические, оптические, частотные, кондуктометрические и другие виды анализаторов.

Действие **термогравиметрических (весовых) влагомеров** основано на измерении веса пробы продукта до и после высушивания. Сушка осуществляется нагретым воздухом, с помощью инфракрасного или СВЧ излучения. Весовой метод достаточно трудоемок и находит применение, в основном, в лабораторной практике.

**Диэлькометрические влагомеры** широко применяются в системах контроля влажности многих пищевых продуктов (крупы, сухое молоко, масла, маргарин и другие). В них используются емкостные ИП с электродами пластинчатой или коаксиальной формы. Пространство между электродами заполняется контролируемым веществом. Диапазон измерения составляет  $17 \div 24\%$  с основной погрешностью  $\pm 0,2$ .

Для измерений влажности продуктов, представляющих собой как диэлектрики, так и полупроводники, перспективны высокочастотные влагомеры, основанные на измерении поглощения электромагнитной энергии, прошедшей через пробу продукта. На этом принципе работают влагомеры, имеющие диапазон измерений влажности продукта  $45 \div 60\%$  и погрешность измерений  $\pm 1,0\%$ .

**Влагомеры ИК-спектроскопии** применяются для измерения относительной влажности продуктов до  $10 \div 15\%$ .

Методика измерений основана на сравнении отражательной способности ИК-излучения контролируемым продуктом на длинах волн  $\lambda = 0,8 \div 6,1$  мкм, наиболее поглощаемой молекулами воды, и опорной — наименее поглощаемой молекулами воды. По этому методу работает влагомер ВИЛ-1 с выдачей результатов измерений в цифровой форме.

**ИК-влагомер М55** предназначен для контроля качества и измерения разнообразных технологических параметров.

Измерения осуществляются в инфракрасном диапазоне спектра и используются для определения влажности и содержания паров, протеина, никотина, сахаров в порошкообразных, гранулированных и смолистых материалах, измерений толщины пластиковой и ламинированной пленки, веса покрытий и масляной пленки в технологическом потоке в пищевой, химической, табачной и бумажной промышленности.

Влагомер представляет собой измерительный преобразователь-излучатель, установленный в потоке, соединенный с цифровым прибором.

### *Технические характеристики*

Точность измерения содержания:

влаги

$\pm 0,1\%$

органических продуктов

$\pm 0,1\%$

покрытий

$\pm 0,1 \dots 0,5 \text{ г/м}^2$

Изготовитель:

Infrared Engineering (Канада)

**Частотные влагомеры** получили широкое применение при контроле влажности пищевых продуктов. Их действие основано на высокочастотном и сверхчастотном методах определения влажности материалов. Принцип действия **высокочастотных влагомеров** основан на том, что диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  жидких и твердых капиллярно-пористых материалов, которые относятся к макроскопическим неоднородным диэлектрикам, сильно зависят от их влажности. Большая часть капиллярно-пористых веществ являются хорошими диэлектриками с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 1 \div 6$ , в то время как для воды  $\epsilon = 81$ .

Высокочастотные влагометрические системы работают в диапазоне частот  $5 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^7$  Гц и используют емкостный или фазово-частотный принцип разделения полезных и мешающих сигнала-



лов. При этом происходит воздействие на контролируемый продукт переменным электромагнитным полем и производится анализ поведения материала в этом поле. Измерение влажности сводится к определению зависимости диэлектрической постоянной от частоты, влажности и температуры.

В качестве первичных преобразователей используют плоские или цилиндрические конденсаторы, в электрическое поле которых помещают контролируемый продукт для измерения влажности.

Любой высокочастотный влагомер состоит из измерительного преобразователя влажности, высокочастотного генератора и измерительной схемы (неуравновешенные и уравновешенные высокочастотные мосты). Диапазон измерения относительной влажности капиллярно-пористых продуктов 4—75%, класс точности 2,0.

**Сверхвысокочастотные влагомеры** действуют на основе изменения параметров электромагнитной волны при ее взаимодействии с контролируемым материалом, зависящего от его диэлектрических характеристик.

Сверхвысокочастотный (СВЧ) метод измерения влажности жидких и твердых веществ основан на измерении влажности по величине отраженных и прошедших через анализируемое вещество электромагнитных волн СВЧ диапазона с частотой 3000—10 000 МГц. При этом СВЧ-преобразователь с влажным материалом следует рассматривать как систему с распределенными параметрами. Для измерения влажности используют излучение СВЧ диапазона, которые охватывают область дисперсии воды.

СВЧ-методы, в основном, подразделяются на два вида: по отражению и по поглощению. Проходя через влажный образец материала, электромагнитные волны отражаются, что выражается в изменении амплитуды  $E_0$ , и преломляются, что обуславливает фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$ . Эти изменения зависят от диэлектрических свойств контролируемого вещества ( $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$ ), толщины плоскопараллельного слоя и длины излучения.

Методы, основанные на измерении параметров проходящей волны, применяются при оценке интегральной влажности в направлении распространения излучения. При этом на результат измерения влияют толщина анализируемого вещества, степень его неоднородности и температура.

Преимуществами методов с использованием отраженной СВЧ-волны является независимость результатов измерений от толщины слоя измеряемого вещества и односторонний доступ к материалу, а также возможность измерения средних и высоких величин влажности, однако в диапазоне низких влажностей их чувствительность невелика.

В общем плане СВЧ-влажномер состоит из генератора СВЧ, модулятора частот, анализируемого образца, размещенного между передающей и приемной антеннами (измерительная ячейка — зонд), устройства преобразования сигнала и измерительных схем, работающих по методам прямого отсчета и компенсации. Диапазон измерений относительной влажности  $2 \div 100\%$ , класс точности 1,0.

### **Измеритель влажности LB 447**

Принцип действия основан на поглощении быстрых нейтронов сыпучими материалами в бункерах, ковшах, шнеках и на ленточном транспортере. Осуществляется компенсация насыпной плотности для определения весовой влажности. Выходной сигнал прибора RS-232; RS-485. Изготовитель: EGG Berthold, Германия.

#### **4.6.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ВЯЗКОСТИ**

Вязкость — это свойства текущего материала оказывать сопротивление перемещению одной его части относительно другой. Вискозиметры по принципу действия подразделяются на капиллярные, шариковые, ротационные, вибрационные и др. Они обеспечивают измерение вязкости вещества как в отдельной пробе, так и в потоке. Действие капиллярных вискозиметров (вискозиметры истечения) основано на закономерности истечения жидкости через калиброванное отверстие — капилляр. В них вязкость определяется по перепаду давления в капилляре при истечении через него жидкости с постоянным объемным расходом, а также по времени истечения заданного объема жидкости через него. Диапазоны измерений автоматических капиллярных вискозиметров от 0 до  $2 \cdot 10^{-2}$ , от 0 до  $1 \cdot 10^2$  Па·с, классы точности  $1,5 \div 2,5$ .

Шариковые вискозиметры (вискозиметры с падающим шариком) действуют на основе измерения скорости или времени падения шарика в цилиндрическом сосуде, заполненном контролируемой средой. Созданы вискозиметры с падающим шариком непрерывного циклического действия. Диапазон измерений шариковых вискозиметров составляет от  $0,6 \cdot 10^{-3}$  до  $0,8 \cdot 10^2$  Па·с с погрешностью  $\pm 2\%$ .

Принцип действия ротационных вискозиметров основан на измерении крутящего момента, возникающего на оси ротора (цилиндр, шар, диск и др.) при перемещении его относительно контролируемой среды, в которую он погружен. Характерной особенностью ротационных вискозиметров является широкий диапазон измерений от  $10^{-3}$  до  $10^3$  Па·с с основной погрешностью  $\pm(1 \div 2,5)\%$ .

**Вискозиметр ротационный РКБМ-62** предназначен для автоматического измерения вязкости различных пищевых продуктов (дробленых ягод, фруктов, соков, масел и т. д.).

### *Технические характеристики*

Пределы измерения	0,7...4% масс
Температура измеряемой среды	5...50° С
Выходной сигнал	0...5мА

**Вибрационные вискозиметры** действуют на основе зависимости демпфирующих свойств контролируемой среды от ее вязкости. В автоматических вискозиметрах обычно измеряются параметры затухания свободных колебаний или амплитуды вынужденных колебаний пластинки или стержня, погруженных в анализируемую среду. Чем больше сопротивление контролируемой среды, тем больше ее вязкость.

Вибрационные вискозиметры используются для непрерывного контроля различных жидкостей. Диапазон измерений — от  $10^{-4}$  до  $10^2$  Па·с, погрешность  $\sim 2,5 \div 4,0\%$ .

## **4.7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ВКУСА И АРОМАТА ПИЩЕВОГО ПРОДУКТА**

При сертификации пищевого продукта большое значение имеет его вкус и аромат, обусловленные большой совокупностью органических и неорганических соединений на молекулярном, ионном и атомном уровнях (кислот, спиртов, альдегидов, кетонов и других соединений в малых и очень малых количествах).

**Хроматография** является одним из наиболее универсальных инструментальных методов при анализе вкуса и аромата продуктов питания. Известно, что в хлебе найдено 211 соединений, которые могут участвовать в образовании его вкуса и аромата, в вине этих компонентов значительно больше.

Хроматография представляет собой физико-химический метод разделения сложных смесей продукта (в газообразной и жидкой фазах), при котором компоненты распределяются между двумя фазами, одной из которых является движущийся поток анализируемого продукта (подвижная фаза), а второй — неподвижный сорбент с развитой поверхностью (неподвижная фаза), через которую движется анализируемый поток.

Хроматограф — это анализатор газовой или жидкостной фазы пробы продукта, предназначенный для определения их состава, в зависимости от способности входящих в них компонентов погло-

щаться сорбирующими веществами. Он состоит из реактора-испарителя, в который вводится проба продукта. Эта проба подхватывается подвижной фазой (газ-носитель) и поступает в хроматографическую колонку. Она заполняется сорбентом, являющимся неподвижной фазой, через которую протекает подвижная фаза (проба продукта). При этом осуществляется перенос анализируемого продукта вдоль сорбента. В результате сорбционного процесса происходит разделение смеси продукта на отдельные компоненты. На выходе колонки разделенные фракции контролируемого продукта поступают в детектор, сигнал от которого, пропорциональный содержанию компонентов пробы продукта, регистрируется и представляется оператору на дисплее или печатающем устройстве.

Процесс хроматографического разделения может быть осуществлен одним из трех методов: проявительным, фронтальным или вытеснительным.

В промышленной хроматографии преимущественное применение получил проявительный метод, который позволяет достаточно просто и точно определить анализируемые компоненты пробы продукта по выходным сигналам-хроматограммам, получаемым с помощью детектора.

Промышленные хроматографы в основном снабжены специальными устройствами (микропроцессоры или микроЭВМ) для обработки хроматографической информации. Ее обработка заключается в распознавании (идентификации) хроматограмм и проведении вычислительных операций, характеризующих качественный и количественный состав пищевого продукта, его пищевую ценность, вкус и аромат.

#### **4.7.1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ СТРУКТУРЫ КОМПОНЕНТОВ ПРОДУКТА**

Для получения масс-спектра соединения его молекулы в газообразном состоянии подвергают в масс-спектрометре ионизации, после которой проводят разделение и анализ полученных ионов по их массам. Разнообразие получающихся ионов определяется структурой и устойчивостью (потенциальной энергией) как исходной молекулы, так и образующихся заряженных и незаряженных ее осколков. Поэтому масс-спектр, показывающий относительные интенсивности и значения молекулярного веса и заряда ( $m/e$ ) для ионов и молекулярных осколков, содержит существенную информацию о различных частях исследуемой молекулы. Эту информацию можно использовать для того, чтобы логиче-

ским путем «восстановить» структуру молекулы анализируемого соединения.

Магнитный масс-спектрометр состоит из пяти зон ионизации, при последовательном прохождении которых молекулы и ионы контролируемого соединения подвергаются воздействиям электромагнитного поля и потока электронов. Молекулы анализируемого вещества при диффузии через зоны ионизации ионизируются при столкновении с потоком электронов. Положительно заряженные ионы вытягиваются из зоны ионизации и ускоряются электрическим полем. Далее ионы поступают в зону магнитного поля, в котором происходит разделение по массам, так как ионы приобретают определенную кинетическую энергию и имеют различные скорости в соответствии с их массами. По массам, образующимся в результате этих преобразований, можно судить о том, какие атомы или группы атомов входили в состав молекул пищевого продукта. Важным параметром, определяющим качество масс-спектров, является разрешающая способность масс-спектрометра. Чем выше разрешающая способность, тем легче и надежнее можно определить массы различных ионов. Большинство современных масс-спектрометров высокого разрешения имеют разрешающую способность более 25 000. Для них характерна достаточно высокая точность измерения  $\sim 10^{-3}$  ат. ед. массы.

#### **4.7.2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА ЯДЕР 'ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДУКТА**

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) основан на избирательном поглощении веществом энергии электромагнитного поля на фиксированной частоте в результате переориентации ядерных спинов при определенных условиях. Резонансная частота, на которой наступает поглощение, зависит от свойств ядер и внешнего магнитного поля, воздействующего на это вещество. Количество поглощаемой энергии пропорционально числу ядер, содержащихся в образце, например, пропорционально числу протонов, входящих в состав молекул воды. Таким образом, по интенсивности поглощения энергии протонами определяют влажность материала.

ЯМР-влажномер представляет собой измерительный преобразователь — резонансный контур с размещенным в нем контролируемым веществом, расположенным в поле постоянного магнита, характеризующемся определенной напряженностью. Этот преобразователь находится во внутренней полости катушки, входящей в параллельный резонансный контур, который питается током

высокой частоты от задающего высокочастотного генератора. Его радиосигнал усиливается и детектируется. При генерировании энергии частоты, соответствующей резонансной частоте ядер водорода, наступает поглощение энергии, резко изменяющее эквивалентные параметры резонансного измерительного контура. При этом детектор преобразует этот сигнал в выходное напряжение, которое затем усиливается и подается на измерительное устройство, отградуированное в величинах относительной влажности. Диапазон измерений составляет  $0 \div 100\%$ , класс точности 1,0. Результаты измерений не зависят от гранулометрического и химического состава материала.

Подключение анализаторов свойств пищевых продуктов с аналоговыми выходными сигналами к микропроцессорным системам контроля и управления следует осуществлять с помощью АЦП (т. е. модулей ввода аналоговых сигналов серий АДАМ-4000 и АДАМ-5000), а именно посредством АДАМ-4012, АДАМ-4017, АДАМ-4080Д, АДАМ-4080, АДАМ-5017, АДАМ-5017Н, АДАМ-5080.

#### **4.7.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ПРОДУКТА**

Пищевая ценность продукта питания определяется содержанием в нем главных компонентов (белков, углеводов и жиров), а также витаминов, микроэлементов и других соединений.

Для измерения состава этих компонентов целесообразно использовать следующие инструментальные методы: оптические, потенциометрические, высокочастотные и сверхвысокочастотные, газоаналитические и радиоактивные. Из оптических методов широко применяются спектральный, фотометрический и люминесцентный, из потенциометрических — ионометрия и редоксметрия, из газоаналитических методов — хроматография и масс-спектрометрия. Ограниченное применение имеет радиоактивный метод.

Оптические методы основаны на взаимодействии света с веществом. При поглощении света атомы и молекулы поглощающих веществ переходят в возбужденные состояния. Приобретенная атомами и молекулами энергия в одних случаях расходуется на повышение их внутренней энергии, в других — в результате люминесценции или в ходе фотохимических реакций.

Спектральные методы позволяют проводить анализ как окрашенных, так и бесцветных веществ по избирательному поглощению монохроматического света в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра и характеризуется высокой точностью (относительная погрешность измерения составляет  $0,5 \div 1,0\%$ ). Они позволяют осуществить количественное опреде-

ление содержания элементов и органических веществ (в том числе белков, углеводов и жиров) с использованием широкого диапазона длин волн от 185 до 1100 нм; количественный анализ многокомпонентных систем; определение состава светопоглощающих комплексных соединений; изучение химических равновесий и определение фотометрических характеристик светопоглощающих соединений.

Спектральный анализ позволяет определить тонкие и однозначные характеристики веществ, отличается высокой избирательностью, универсальностью и производительностью. Анализ пищевых продуктов производится по спектрам поглощения в ультрафиолетовом (УФ), видимом и инфракрасном (ИК) участках спектра (абсорбционный анализ), по спектрам люминесценции, комбинированного рассеяния (КР) и по результатам атомного эмиссионного анализа.

В УФ области спектра определяется содержание ряда групп атомов и исследуются превращения отдельных веществ, входящих в состав пищевых продуктов.

Метод ИК-спектроскопии является важнейшим физическим методом идентификации, изучения строения молекул и количественного анализа сложных пищевых сред.

Метод КР позволяет получать спектры не только прозрачных, но и дисперсных и капиллярно-пористых тел.

Перспективными являются метод спектроскопии по нарушенному полному внутреннему отражению (НПВО) и метод неупругого рассеяния нейтронов (СНРН).

Метод СНРН позволяет получать спектры высокого разрешения в области  $1,0\text{--}1000\text{ см}^{-1}$  и не ограничен правилами отбора образца.

Атомный эмиссионный спектральный метод предназначен для проведения качественного и количественного анализа. Этот метод применяется в основном для анализа содержания неорганических элементов в пищевых продуктах (рыбе, мясе, вине, пиве и др.).

Спектральный анализ проводится с использованием сложной измерительной аппаратуры. Она содержит источник света, фотометрические преобразователи и устройства, а также устройства электронной и вычислительной техники обработки и отображения информации.

Главными задачами спектральной аппаратуры являются регистрация спектров поглощения и люминесценции пищевых продуктов, идентификация и их расшифровка, запись значений контролируемых компонентов, характеризующих пищевую ценность продукта.

Информацию о спектральных характеристиках пищевых продуктов получают также по спектрам поглощения нерассеивающих сред и спектрам поглощения и отражения рассеивающих свет продуктов.

Интенсивность полос поглощения различна в разных областях спектра. Для ИК-спектрофотометров характерна область  $\lambda = 2,0 \div 40$  мкм, ( $5000 \div 200$  см<sup>-1</sup>). Спектрофотометры УФ и видимой области спектра работают в области  $0,2 \div 1,1$  мкм, а спектрофотометры КР — в диапазоне  $0,4 \div 0,85$  мкм.

Люминесценция, в основном, используется для анализа качества пищевых продуктов животного и растительного происхождения, при этом определяется степень порчи. Спектры флуоресценции регистрируют при длинах волн  $\sim 0,1 \div 0,8$  мкм. Анализаторы атомного эмиссионного анализа (спектроскопы) работают в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,395-0,7$  мкм.

#### **4.8. СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭНЕРГОНАГРУЗОК ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Эти системы обеспечивают учет потребляемой электроэнергии и внедрение энергосберегающих технологий при производстве пищевых продуктов.

**Амперметр «Омь-4»** предназначен для измерения силы переменного тока. Диапазоны измерения: 0...5А; 0...0,25А; 0...0,1А; 0...0,05А. Количество каналов: 1. Выходной сигнал: 0...5 мА или 4...20 мА.

**Вольтметр «Омь-3»** предназначен для измерения напряжения переменного тока. Диапазоны измерения: 0...125 В; 0...250 В; 0...400 В; 0...500 В. Количество каналов: 3 или 1. Выходной сигнал: 0...5 мА или 4...20 мА.

**Ваттметр «Омь-6»** предназначен для измерения активной и реактивной мощности. Диапазон измерения: 60...100...120 В и 0...5 А, 0...2,5 А или 0...100...120 В и 0...1 А, 0...0,5 А. Выходной сигнал: 0...20 мА, 4...20 мА, 0...2,5...5 мА или -5...0...+5 мА, 4...12...20 мА.

**Ваттметр «Омь-7»** предназначен для измерения активной мощности. Диапазоны измерения: 60...100...120 В и 0...5 А, 0...2,5 А или 0...100...120 В и 0...1 А, 0...0,5А. Выходной сигнал: 0...20 мА, 4...20 мА, 0...2,5...5 мА или -5...0...+5 мА, 4...12...20 мА.

**Ваттметр «Омь-8»** предназначен для измерения реактивной мощности. Диапазоны измерения: 60...100...120 В и 0...5 А, 0...2,5 А или 0...100...120 В и 0...1 А, 0...0,5 А. Выходной сигнал: 0...20 мА,



4...20 мА, 0...2,5...5 мА; или -5...0...+5 мА, 4...12...20 мА. Изготовитель: ООО «Мир», г. Омск.

**Устройство для контроля силы тока трехфазной нагрузки ПТЗ-100** предназначено для контроля нагрузки на двигатель, может работать как с постоянным, так и с переменным током. Значение выходного сигнала пропорционально среднему значению тока (по трем фазам), а также средним значениям токов в каждом из силовых проводов.

Принцип действия устройства основан на применении бесконтактных «трансформаторов тока» с активным датчиком на эффекте Холла. Технические характеристики: диапазон тока в каждой фазе: 0...100 А; коэффициент преобразования на выходах 100 мВ/А; коэффициент преобразования на суммирующем выходе 100 мВ/А; диапазон выходного сигнала 0...10 В. Изготовитель: ООО «Консил», г. Москва.

#### **4.8.1. СИСТЕМЫ УЧЕТА МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И КАЧЕСТВА РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Работа этих систем основана на измерении силы, крутящих моментов, скорости и частоты.

**Датчик скорости ИДС-1** предназначен для измерения скорости движения ленты конвейера при совместной работе с тензоизмерителем конвейерного типа «Микросим-06КС» и измерения частоты вращения в других измерительных системах. Принцип действия: измерительное колесо прижимается к движущейся ленте и преобразует поступательное движение ленты во вращательное движение вала. На валу установлен диск с равномерно нанесенными на нем отверстиями. При вращении диска отверстия проходят через зазор оптопары, состоящей из инфракрасного светодиода и фотодиода. При этом диод вырабатывает сигнал, нормализуемый электрической схемой. Технические характеристики: выходной сигнал импульсный (18 импульсов на 1 оборот колеса); рабочий диапазон частоты  $1 \div 200$  Гц.

При работе с тензоизмерителем «Микросим-06КС» датчик имеет выходной сигнал: интерфейс RS-232C, не более 30 м; поддержка RS-485; сигнал по току в диапазоне  $0 \div 5$  мА. Изготовитель: НПП «Метра ЛТД», г. Обнинск.

**Датчик силоизмерительный НЕТО 38** предназначен для измерения осевых усилий станины и расстояния в весодозирующих и весоизмерительных устройствах. Технические характеристики: диапазон измерений:  $\pm 20, \pm 100, \pm 200, \pm 500$  Н; напряжение пи-

тания  $6 \pm 0,3$  В. Выходной сигнал ( $1,5 \pm 0,15$ ) мВ/В. Изготовитель: НИИФИ, г. Пенза.

**Преобразователь частоты вращения ВТ 1855** предназначен для измерения частоты подвижных объектов. Технические характеристики: диапазон измерений  $60 \div 4000$  об/мин; амплитуда импульса выходного сигнала  $0,06 \div 10$  В. Изготовитель: НИИФИ, г. Пенза.

**Первичный преобразователь крутящих моментов ВТ 192** предназначен для измерения крутящего момента. Технические характеристики: диапазоны измерения  $60$  нМ и  $250$  нМ; напряжение питания  $6 \div 0,6$  В и  $9 \div 1,8$  В. Номинальный выходной сигнал  $1,5$  мВ/В. Изготовитель: НИИФИ, г. Пенза.

**Автомат контроля пламени РКП** представляет собой устройство контроля наличия пламени. Принцип действия: при отсутствии пламени в горелке оптический датчик вырабатывает сигнал, поступающий на автомат контроля пламени, который блокирует поступление топочных газов или включает сигнализацию (производитель — Россия).

Для подключения систем контроля состояния технологического оборудования с аналоговыми и дискретными выходными сигналами к микропроцессорным системам контроля и управления целесообразно использовать АЦП и ЦАП (т. е. модули ввода-вывода серий АДАМ), а именно модули АДАМ-4012, АДАМ-4017, АДАМ-4021, АДАМ-4050, АДАМ-4052, АДАМ-4053, АДАМ-5017, АДАМ-5017Н, АДАМ-5024, АДАМ-5050, АДАМ-5052, АДАМ-5056.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Методы и средства измерений температуры.
2. Методы и средства измерений давления.
3. Методы и средства измерений расхода и количества вещества.
4. Методы и средства измерений уровня.
5. Методы и средства измерений состава вещества.
6. Методы и средства измерений плотности.
7. Методы и средства измерений влажности.
8. Методы и средства измерений вязкости.
9. Методы и средства контроля технического состояния оборудования.
10. Изложите принципы действия различных видов весов.
11. Каковы принципы работы расходомеров?
12. На чем основана работа буйковых уровнемеров?
13. Виды уровнемеров. Принципы измерений с использованием уровнемеров различных типов.
14. Какие методы спектрального анализа Вы знаете?
15. Методы и средства измерений пищевой ценности продукта.

## Глава 5. **ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП**

### **5.1. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) определяет направление в развитии отечественного приборостроения, обеспечивающее повышение технического уровня приборов и увеличение темпов роста их производства. Главной предпосылкой создания ГСП явилось широкое внедрение систем автоматизации современных технологических производственных процессов, для управления которыми потребовалось создание разнообразных приборов и средств автоматизации.

ГСП представляет собой совокупность унифицированных нормализованных рядов блоков, приборов и устройств для формирования, обработки и использования информации, удовлетворяющих единым техническим требованиям и имеющим единые параметры входных и выходных сигналов и нормализованные габариты и размеры присоединений, а также экономически целесообразные точность, надежность и долговечность. Изделия ГСП изготавливаются на основе базовых конструкций с унифицированными структурами, конструктивными параметрами и сигналами, обеспечивающими максимально возможный уровень унификации и общую технологическую базу для производства. Унификация, используемая в ГСП, в большинстве своем гармонизирована с прогрессивными аналогичными системами передовых стран мира.

По принадлежности к ГСП приборы и устройства подразделяются на три группы:

1. *Системные*, отвечающие всем без исключения требованиям ГСП.

2. *Локального применения*, по назначению, техническим и эксплуатационным характеристикам и конструктивным особенностям отвечающие требованиям ГСП, но не предназначенные для совместной работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления с другими изделиями ГСП и не имеющие с ними сопряжения по информационной связи и конструктивному оформлению.

3. *Вспомогательные*, предназначенные специально для исследования объектов автоматизации или испытаний и проверки изделий, входящих в ГСП.

Приборы, не входящие в ГСП, должны соответствовать ее требованиям к техническим и эксплуатационным характеристикам и конструктивным особенностям.

По функциональному признаку приборы и устройства, входящие в ГСП, подразделяются следующим образом:

1. Приборы и устройства для получения информации о состоянии объекта — датчики контрольной информации с унифицированными входными сигналами или измерительные преобразователи, т. е. средства измерений, не снабженные каким-либо устройством для непосредственного представления информации наблюдателю.

2. Приборы и устройства для приема и выдачи информации в каналы связи — устройства дистанционной и телемеханической передачи сигналов.

3. Приборы и устройства для преобразования, хранения и обработки информации, в свою очередь подразделяемые на подгруппы: измерительные приборы или приборы контроля и отображения, вычислительные, функциональные и логические блоки, регулирующие устройства.

4. Приборы и устройства для использования информации в целях воздействия на объект — различные регуляторы (контроллеры), оптимизаторы, программные продукты, управляющие и другие устройства, предназначенные для автоматического регулирования и управления производственными процессами.

Получение контрольной информации о протекании технологических процессов возможно, если эта информация будет однозначно связана с какой-то физической величиной (параметром). Эта физическая величина, выбранная для передачи необходимых сведений, называется *сигналом*. В измерительной технике и автоматике в качестве сигналов применяют, в основном, энергетические величины, так как они позволяют осуществлять передачу на расстояние, преобразование, сравнение и получение новых сигналов. Сигналы могут быть непрерывными и прерывными (дискретными). Продолжительность дискретных сигналов ограничена некоторыми заданными значениями и может быть постоянной или переменной.

По виду энергии, используемой для формирования сигналов, ГСП подразделяется на несколько так называемых ветвей: электрическую аналоговую; электрическую дискретную; пневматическую; гидравлическую; ветвь приборов и устройств, работающих без источников вспомогательной энергии.

Внедрение ГСП не предусматривает повсеместного полного перехода на выпуск приборов и средств автоматизации, имеющих на выходе только унифицированные сигналы. Широко применя-

ются приборы, в которых для передачи контрольной информации используются так называемые естественные сигналы, представляющие собой изменение различных параметров (перемещение, электрический ток и напряжение, давление воды, воздуха и т. п.) в зависимости от изменения физической величины. Естественные сигналы передаются в том виде, в котором они получены с помощью чувствительного элемента измерительного прибора или устройства, без дополнительных преобразований.

Перевод сигналов из аналоговой формы в дискретную, и наоборот, а также изменение несущих величин осуществляется функциональными преобразователями, которые обеспечивают взаимосвязь устройств различных ветвей ГСП в единых измерительных или автоматических системах.

Для обеспечения совместной работы приборов с естественными сигналами с приборами ГСП, а также друг с другом служат специальные нормирующие преобразователи, входящие в систему ГСП и приводящие естественные сигналы к уровню и виду нормализованных стандартных сигналов ГСП.

Таким образом, группы функциональных устройств образуют систему средств автоматизации, охватывающую все звенья формирования, передачи, обработки и использования информации, из которых могут создаваться разнообразные информационные системы, системы контроля, регулирования и управления. В последние годы в развитии ГСП наметилось создание и внедрение агрегатных комплексов, объединяющих функциональные устройства формирования, обработки, передачи и использования информации в определенных сочетаниях с алгоритмами связи, соответствующими назначению этих агрегатных комплексов. Они могут использоваться также в системах независимо друг от друга.

Прогрессивная по структуре построения ГСП ориентируется на передовую технологию и современную элементную базу. В ГСП широко используется унифицированная элементно-модульная база и стандартные ряды базовых конструкций, а число разновидностей функциональных блоков, вспомогательных устройств, источников питания и т. д. сводится к минимуму. Конструктивной базой для монтажа элементов, модулей, устройств и агрегатов ГСП являются унифицированные типовые конструкции (УТК). В качестве базовой системы логических элементов электрических ветвей ГСП широко используются комплексы унифицированных логических элементов. Типовой логический (функциональный) модуль выполняется в виде кассеты, состоящей из печатной платы, на которой располагаются отдельные компоненты схемы.

В пневматической ветви ГСП широкое распространение получила система пневматических элементов УСЭППА, а также отдельные элементы системы модулей струйной техники (СМСТ).

## Характеристика ветвей ГСП

1. *Электрическая аналоговая ветвь ГСП* — это ряд приборов и средств автоматизации, в которых в качестве внешней энергии используется электрическая энергия, а энергетическим носителем информации является электрический непрерывный сигнал. Стандартизированные диапазоны изменения сигналов постоянного тока  $0 \div 5$ ,  $0 \div 20$ ,  $4 \div 20$  и  $0 \div 100$  мА. Пределы изменения сигналов постоянного тока по напряжению выбираются из ряда значений, лежащих в диапазоне  $0 \div 10$  мВ и  $0 \div 10$  В. Нагрузки, т. е. сопротивления приборов и линий связи, установлены в пределах от 250 Ом до 2,5 кОм.

Менее распространены приборы этой ветви, использующие переменный ток. Пределы изменения напряжения переменного тока  $0,25 \div 2$  В, частота 50 и 400 Гц.

Все устройства для получения контрольной информации, используемые в электрической аналоговой ветви ГСП, либо преобразуют информацию в выходной унифицированный токовый сигнал, либо имеют в комплекте дополнительное устройство, преобразующее естественный выходной сигнал датчика в унифицированный токовый сигнал.

2. *Электрическая дискретная (цифровая) ветвь ГСП* — это ряд приборов и средств автоматизации, в которых в качестве внешней энергии используется электрическая энергия, а энергетическим носителем информации является электрический дискретный сигнал (входной и выходной). Различают следующие основные виды входных и выходных сигналов электрической дискретной ветви ГСП: перепады постоянного тока и напряжения; частотные; импульсные.

Входные и выходные сигналы постоянного тока предназначены для сочетания приборов и устройств дискретной и аналоговой ветвей. Частотные входные и выходные сигналы используются при связи частотных ПИП с дискретными блоками обработки информации. Импульсными сигналами являются, как правило, сигналы с широтно-импульсной и кодо-импульсной модуляцией. Параметры указанных сигналов стандартизированы. Частотный диапазон работы изделий выбирается в пределах частот от 5 Гц до 500 кГц. Параметры импульсных сигналов лежат в диапазоне амплитуд для напряжений от 0,6 до 220 В и силы тока — от 1 до 500 мА. Возможны следующие коды для электрических сигналов:

единичный нормальный и позиционный; двоичный нормальный; единично-десятичный и двоично-десятичный. При использовании сигналов постоянного тока целесообразнее выбирать силу тока в диапазоне  $0 \div 5$  мА и  $4 \div 20$  мА.

3. *Пневматическая ветвь ГСП* — это ряд приборов и устройств (датчики, преобразователи, позиционеры, регулирующие устройства, исполнительные механизмы), в которых в качестве источника внешней энергии используется сжатый воздух, а энергетическим носителем информации является импульс давления. Рабочий диапазон изменения входных и выходных сигналов приборов и устройств этой ветви стандартизирован и устанавливается в пределах  $20 \div 100$  кПа. Номинальное давление питания для приборов и устройств пневматической системы  $0,14$  МПа  $\pm 10\%$ .

Широкое применение средств пневмоавтоматики объясняется высокой степенью надежности пневматической аппаратуры, простотой ее обслуживания, сравнительной дешевизной и взрывобезопасностью.

Широкое распространение получил элементный принцип построения приборов пневмоавтоматики, заключающийся в том, что любой новый пневматический прибор создается не в виде принципиально новой конструкции, а собирается из элементов универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) с помощью бесшлангового (печатного) способа монтажа на специальных коммутационных пластинах (платах), внутри которых проходят каналы соединений между элементами.

4. *Гидравлическая ветвь ГСП* — это ряд приборов и устройств, в которых источником внешней энергии, а также энергетическим носителем информации являются гидравлические сигналы, создаваемые минеральными маслами (веретенное, турбинное, трансформаторное и др.) или водой. Давление рабочей жидкости, являющейся энергоносителем, варьирует в пределах от 1 до 64 МПа. Правда, по сравнению с другими ветвями ГСП гидравлическая ветвь имеет незначительное распространение.

В качестве чувствительных элементов датчиков в гидравлической ветви ГСП наиболее часто используются мембраны, силфоны, манометрические пружины и дилатометрические стержни, а в качестве основного преобразовательного и усилительного элемента — струйный усилитель, преобразующий кинетическую энергию струи жидкости в потенциальную.

5. *Ветвь приборов и устройств ГСП, работающих без источников вспомогательной энергии*, — это ряд устройств, использующих для работы энергию той среды, параметры которой они измеряют и регулируют. При этом дополнительного источника

энергии (электрической, энергии сжатого воздуха и др.) не требуется.

В эту ветвь ГСП входят регуляторы температуры, давления, перепада давления, расхода и уровня. По способу приведения в действие регулирующего органа регуляторы подразделяются на регуляторы прямого и непрямого (с усилителем) действия. В регуляторах прямого действия для перестановки регулирующего органа используется энергия, развиваемая на чувствительном элементе, например в жидкостной термосистеме, биметаллической пластине и т. п. В регуляторах с усилителем для этих целей применяется специальный преобразователь — усилитель, также работающий от энергии регулируемой среды.

Создание ГСП обусловило возможности динамичного развития и расширения производства в направлении более широкого и полного обеспечения развития автоматических и автоматизированных систем во всех отраслях народного хозяйства.

Из опыта применения ГСП следует, что технические средства должны разрабатываться на основе схемной и конструктивной унификации, стандартизации структур, сигналов, интерфейсов, протоколов обмена и обеспечивать номенклатурную полноту и совместимость изделий при агрегатировании, что предполагает создание базовых программно-технических комплексов (БПТК).

Новое поколение средств автоматизации технологических процессов должно обеспечивать расширение возможностей существующих систем управления, а также использовать новые методологии построения и архитектуру локальных компьютерных сетей, интеллектуализировать средства отображения, хранения, обработки и передачи информации. Поэтому технические средства — от простейших датчиков до сложных систем со встроенными средствами искусственного интеллекта — должны стать предметом новых разработок в рамках обновленной ГСП. При этом повышается роль интерфейсов, которые должны разрабатываться в рамках ГСП и устанавливать согласованные взаимодействия на границах системы. Эти условия должны быть формализованы в виде требований, выполнение которых гарантирует правильность взаимодействия системы с внешними средствами, т. е. обеспечить информационные, конструктивные, процедурные и иные аспекты эффективного взаимодействия.

Государственная система приборов и средств автоматизации — это большая и сложная развивающаяся система. Ее развитие обусловлено многими факторами. Главными внешними факторами являются научно-технический прогресс в создании систем управления и развитие их элементной базы, к внутренним относят дальнейшее развитие агрегатных методов конструи-



рования, высокий уровень унификации, стандартизации и информационного обеспечения, а также разработку имитационных систем информации. Это возможно осуществить при системном подходе в разработке больших и сложных систем. Цель системного подхода — минимизация расходов на затраты как при создании и применении средств и систем измерений, так и при их эксплуатации.

В соответствии с ГОСТ 12997—76 «Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Общие технические требования и методы испытаний» ГСП определяется как «совокупность изделий, предназначенных для использования в промышленности в качестве технических средств автоматических и автоматизированных систем контроля, измерения, регулирования и управления технологическими процессами, информационно-измерительных систем, а также для контроля, измерения и регулирования отдельных параметров».

Построение и эксплуатация системы управления любого уровня основываются на разработке, совершенствовании и применении программно-технического комплекса (ПТК) автоматизации, к которому относятся: измерительные преобразователи (датчики) параметров; автоматические регуляторы, логические и программные устройства, управляющие ЭВМ и вычислительные комплексы, микроконтроллеры и микропроцессоры, микропроцессорные системы (МПС); исполнительные механизмы (устройства) и регулирующие органы.

Изделия ГСП предназначены для использования в промышленности в качестве технических средств при контроле, измерении и регулировании отдельных параметров технологических процессов, измерительно-информационных систем (ИИС) и АСУ различных уровней, систем автоматического управления (САУ).

Построение ГСП базируется на следующих общесистемных принципах:

- целенаправленности системы на обеспечение техническими средствами автоматических и автоматизированных систем измерений, контроля, регулирования и управления технологическими процессами для отраслей промышленности;

- целостности системы;

- совместимости изделий ГСП, обеспечивающей широкую область применения, гибкость реализации разнообразных структур систем автоматизированного контроля и управления различными технологическими процессами;

- унификации и агрегатирования как технико-экономической основе эффективности системы;

- динамичном развитии структуры системы на основе преемственности новых изделий и комплексов в составе всей системы;
- функциональном разделении технических средств на основе типизации функциональных задач и структур системы.

Изделия ГСП по функциональному признаку подразделяются на следующие группы устройств: для получения информации о состоянии объекта (технологического процесса); приема, преобразования, обработки и отображения или хранения информации; формирования команд управления объектом; использования командной информации для воздействия на объект управления.

ГСП охватывает все устройства, обеспечивающие формирование сигналов — носителей информации о значениях параметров объекта управления: первичные преобразователи (датчики); нормирование сигналов — вторичные преобразователи, «нормализаторы», функциональные преобразователи и процессоры; обеспечивающие коммутацию, аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование — коммутаторы, АЦП и ЦАП; реализацию необходимого воздействия на объект — исполнительные механизмы.

Методологическую основу ГСП составляет система стандартов, включающая в себя более 250 стандартов, устанавливающих общие технические требования к входным и выходным сигналам, правилам информационного сопряжения и конструктивному исполнению.

Принцип минимизации номенклатуры средств контроля и управления реализуется на основе разработки и выпуска агрегатных комплексов (АК) технических средств и унифицированных комплексов (УК) устройств одного функционального назначения. **Техническую основу ГСП составляют агрегатные комплексы**, каждый из которых представляет собой совокупность технических средств, упорядоченных по функциям и параметрам. Один из определяющих признаков агрегатного комплекса заключается в системной совместимости входящих в него устройств.

Принцип агрегатного построения устройств, применительно к изделиям ГСП, можно сформулировать так. Это построение совокупности устройств различного функционального назначения из ограниченного набора унифицированных блоков или модулей, составляемых из конструкций низшего порядка методом стыковки. Для обеспечения стыковки необходимо решить вопрос взаимозаменяемости блоков или модулей и их совместимости по конструктивным, энергетическим, информационным и другим характеристикам.

В ГСП широко применяется система унифицированных типовых конструктивов (УТК), которая представляет собой универсальную систему конструктивных элементов, обеспечивающих унификацию и стандартизацию конструкций широкой номенкла-

туры устройств. Они являются конструктивной базой регистрирующих, регулирующих, вычислительных, телемеханических и других устройств, предназначенных для преобразования, обработки и отображения информации и формирования командных сигналов. В номенклатуру УТК входят монтажные платы, блочные и приборные каркасы, комплектные вставные каркасы, щитовые секции, пульта и шкафы.

## 5.2. АГРЕГАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ГСП

Агрегатный комплекс — это совокупность технических средств измерительно-информационной и управляющей техники, характеризующихся метрологической, информационной, конструктивной, энергетической и эксплуатационной совместимостью и предназначенных для решения определенного проблемно-ориентированного комплекса задач автоматического контроля и управления.

Большинство АК промышленных приборов и средств автоматизации базируется на функциональном подходе. К ним относятся агрегатные комплексы средств вычислительной техники (АСВТ), телемеханической техники (АСТТ), контроля и регулирования (АСКР-ЭП), программного управления (АСПУ), локальных информационно-управляющих систем (КТС ЛИУС) и большинство комплексов средств получения информации (АСАТ, АСНК, АСИП, АПИР-С и др.).

Созданы агрегатные комплексы пневматических средств контроля и регулирования («Старт», «Центр», «Цикл», АСКР-П), средства электроизмерительной техники (АСЭТ), гидравлические средства регулирования (АСГР), агрегатные средства переработки информации (АСВТ, КТС ЛИУС, АСКР-ЭЦ) и др.

**Разработаны общие для всех изделий ГСП основные понятия совместимости. Информационная совместимость** — совокупность стандартизированных характеристик, обеспечивающих согласованность сигналов связи по видам и номенклатуре, их нормативным параметрам, уровням, пространственно-временным соотношениям, логическим соотношениям и типу логики. Для всех изделий ГСП приняты унифицированные сигналы связи и единые интерфейсы.

**Конструктивная совместимость** — совокупность характеристик, обеспечивающих согласованность конструктивных параметров и механическое сопряжение технических средств, а также выполнение эргономических норм и эстетических требований при совместном использовании.

Конструктивная совместимость достигается применением унифицированных типовых конструктивов.

Входящие в состав ГСП агрегатные комплексы делятся на комплексы широкого применения и специализированные. Классификация АК по применению приведена на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Классификация АК по применению

Основу ГСП пока составляют комплексы АСВТ и АСЭТ, так как входящие в них устройства используются практически во всех областях народного хозяйства в виде составных частей автоматизированных и автоматических систем управления различных уровней и режимов управления. Возможности вычислительной и электроизмерительной техники универсальны. В настоящее время особенно бурное развитие получил комплекс АСВТ, который охватывает совокупность устройств, предназначенных для создания и внедрения в производство программно-технических комплексов (ПТК). В состав АСВТ входят следующие основные номенклатурные группы агрегатных модулей: центрального управления и переработки информации, хранения информации, связи с объектом, связи с оперативным персоналом, внутрисистемных связей, выхода на внешние (внесистемные) линии связи и согласования.

**АСЭТ охватывает совокупность электронных электроизмерительных приборов и устройств, предназначенных для создания сложных технических средств (например, ИИС, ПТК, АСУТП) из унифицированных более простых блоков, модулей и устройств. Это означает переход к системной унификации в области электроизмерительной техники, т. е. переход от индивидуальной разработки приборов и устройств к типовым техническим решениям с использованием вычислительной техники.**

**Метрологическая совместимость** — совокупность метрологических характеристик, обеспечивающих сопоставимость результатов измерений и возможность расчета их погрешности при функционировании технических средств в составе системы.

**Энергетическая совместимость** — совокупность энергетических характеристик, обеспечивающих совместную работу устройств от общих стандартных источников питания.

**Эксплуатационная совместимость** — совокупность эксплуатационных характеристик, обеспечивающих работоспособность и надежность функционирования технических средств при совместном использовании в определенных производственных условиях, а также удобство обслуживания, настройки и ремонта.

### 5.3. КЛАССИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВ ГСП

При рассмотрении ГСП как системы необходимо отметить, что она состоит из большого ряда структур: структуры конструктивной базы, информационного обеспечения, структуры стандартов, интерфейсных структур системы и т. д.

По виду энергии, используемой для питания устройств или передачи сигнала, в ГСП выделяются самостоятельные ветви (группы): электрическая (аналоговая и дискретная), пневматическая, гидравлическая и ветвь устройств без использования вспомогательной энергии.

Обмен информацией различных устройств, входящих в систему управления, осуществляется с помощью интерфейсов и каналов связи. Понятие «интерфейс» включает в общем случае и понятие «канал связи». Интерфейсы обеспечивают передачу информации в обоих направлениях и используются для сопряжения технических средств управляющих вычислительных комплексов и других технических средств с кодированными сигналами.

В целях обеспечения информационной совместимости технических средств интерфейсы унифицируются. *Унифицированным сигналом связи* называется такой сигнал, у которого вид носителя информации, информационный параметр и диапазон его изменения не зависят от вида измеряемой величины и метода измерения и является одинаковым для различных измерительных преобразователей и диапазонов изменения их входных величин.

Классификация основных унифицированных сигналов ГСП приведена на рис 5.2.

Наряду с унифицированными сигналами, вид и параметры которых не зависят от измеряемой величины и метода ее измерения, стандартами ГСП допускается использование так называемых естественных сигналов.

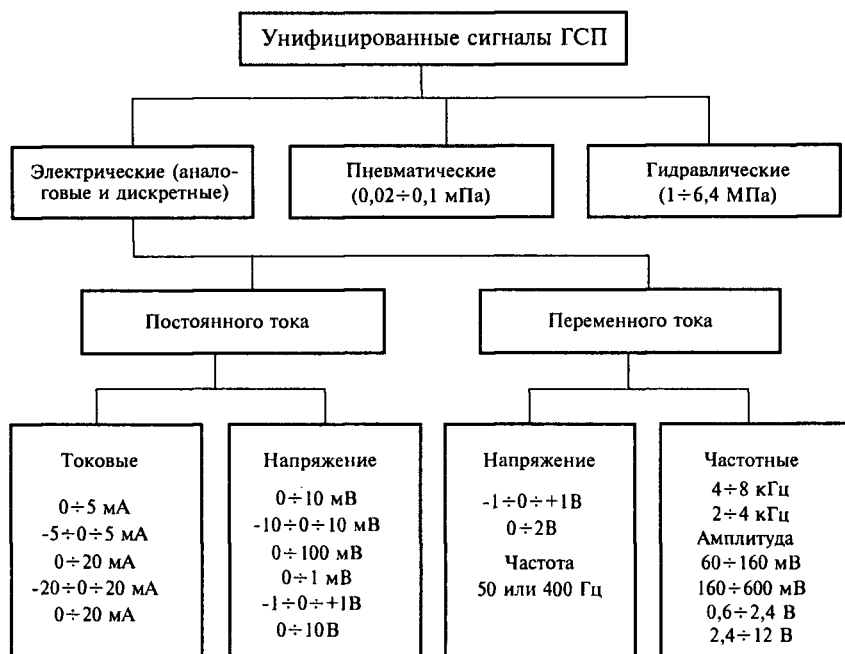


Рис. 5.2. Классификация основных унифицированных информационных сигналов ГСП

Естественным сигналом называется сигнал первичного измерительного преобразователя, вид и диапазон изменения которого определяется физическими свойствами преобразователя и диапазоном изменения измеряемой величины (например, термосопротивления, тензодатчики и др.).

Использование унифицированных сигналов связи и интерфейсов является необходимым условием обеспечивающим информационную совместимость различных технических средств в системах управления. Полная информационная совместимость технических средств достигается путем применения межсистемных преобразователей сигналов связи и интерфейсов.

#### 5.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации устанавливает Закон «Об обеспечении единства измерений», который регулирует отношения государственных органов управления с юридическими и физическими лицами по

вопросам изготовления, выпуска, эксплуатации, ремонта, продажи и импорта средств измерений.

Закон обеспечивает защиту интересов граждан, правопорядка и экономики от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в стране осуществляет Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России) посредством государственных научных метрологических центров и территориальных органов метрологической службы.

Метрологическая служба — совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

**Единство измерений** — состояние измерений, при которых их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

**Единообразие средств измерений** — состояние средств измерений, характеризующееся тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам.

Метрологическая служба осуществляет метрологический контроль и надзор — деятельность, обеспечивающую проверку соблюдения установленных метрологических правил и норм.

Эта деятельность включает в себя:

- утверждение типа средств измерений;
- поверку средств измерений и эталонов;
- калибровку средств измерений;
- лицензирование деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
- надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, за количеством фасованных товаров и др.

Она осуществляется на основании и в соответствии с нормативными и методическими документами. Государственный метрологический контроль и надзор распространяется:

- на здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом;
- государственные учетные операции;
- обеспечение обороны государства;
- геодезические и гидрометеорологические работы; банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;

— производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд;

— испытание и контроль качества продукции в целях определения соответствия государственным стандартам;

— регистрация международных и национальных государственных органов управления, судов, прокуратуры.

Все средства измерений, применяемые в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, подлежат утверждению типа и обязательной поверке в соответствии с поверочными схемами.

**Поверочная схема** — утвержденный в установленном порядке документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размера единицы измерений от эталона или исходного средства рабочим средствам измерений.

**Поверка средств измерений** — совокупность операций, выполняемых органом государственной службы (другими уполномоченными, а также органами, организациями) в целях определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

При положительных результатах поверки средства измерения выдается свидетельство о поверке.

Остальные средства измерений, применяемые в промышленности, быту и т. д., могут быть подвергнуты калибровке.

**Калибровка средства измерения** — совокупность операций, выполняемых в целях определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащему государственному метрологическому контролю и надзору.

Утверждение типа средств измерений производится на основании положительных результатов, при этом выдается сертификат об утверждении типа измерений. Испытания средств измерений для целей утверждения типа проводятся государственными метрологическими центрами Госстандарта и другими специализированными организациями, аккредитованными в качестве государственных центров испытаний средств измерений.

Государственный метрологический контроль и надзор осуществляют должностные лица Госстандарта России — главные государственные инспекторы и государственные инспекторы по обеспечению единства измерений Российской Федерации.

Государственные инспекторы имеют право беспрепятственно, при предъявлении служебного удостоверения, посещать проверяемые объекты независимо от их подчиненности и форм собственности и выполнять деятельность по государственному метрологическому контролю и надзору.



При выявлении нарушений метрологических правил и норм государственного инспектор имеет право запретить применение и выпуск средств измерений, а также изымать их из эксплуатации.

Юридические и физические лица обязаны оказывать содействие государственному инспектору в выполнении его обязанностей.

Законом установлено, что нарушение положений данного законодательства влечет за собой уголовную, административную или гражданско-правовую ответственность, что обуславливает важность для государства деятельности по обеспечению единства измерений.

## 5.5. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

*Стандартизация* — процесс установления и применения стандартов.

*Стандарт* (англ. *Standart* — норма, образец, эталон) в широком смысле слова — образец, эталон, модель, мерило, принимаемые за исходные для сопоставления с ними других подобных объектов. Стандарт как нормативно-технический документ может охватывать как продукцию, так и объекты стандартизации организационного и методического характера.

Согласно рекомендациям Международной организации по стандартизации (ИСО), стандартизация определяется следующим образом: «...установление и применение правил в целях упорядочения деятельности в определенной области на пользу всех заинтересованных сторон, и, в частности, для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности. Стандартизация основывается на объединенных достижениях науки, техники и практического опыта и определяет основу не только настоящего, но и будущего развития и должна осуществляться неразрывно с прогрессом».

Стандартизация играет активную роль в управлении хозяйственным механизмом и в деятельности государственных и других органов управления, предприятий и организаций по установлению и применению обязательных правил и требований, направленных на ускорение технического прогресса, повышение производительности труда и улучшение качества продукции.

Стандартизация обеспечивает надзор и контроль за внедрением и соблюдением нормативно-технической документации, следит за состоянием и применением средств измерений.

Стандартизация — одна из составных частей общегосударственной политики во всех странах мира, осуществляемой в отрас-

лях народного хозяйства, являясь одним из эффективных средств его организации и управления, научно-технического прогресса и повышения качества продукции.

Стандарт может быть представлен в виде документа, содержащего ряд условий, подлежащих обязательному выполнению; единицы физической величины или физической константы; в виде какого-либо предмета для сравнения (эталон).

Работы по стандартизации в России возложены на Государственный комитет РФ по стандартизации, метрологии и сертификации при Президенте РФ — Госстандарт России, созданный 26 ноября 1991 г., который является правопреемником Госстандарта СССР.

Госстандартом РФ разработаны и приняты основные положения построения и развития стандартизации в России, ее концепции (1992 г.).

1. Система стандартизации должна иметь цели, адекватные проводимым экономическим реформам, направленным на развитие рыночной экономики.

Она должна защищать интересы народа и государства в отношении безопасности продукции, услуг и процессов, охраны окружающей среды; обеспечивать повышение конкурентоспособности на мировом рынке; содействовать экономии всех видов ресурсов, улучшению экономических показателей и т. д.

2. В основе национальной системы стандартизации должны лежать законодательные акты, как это принято в США, Англии, Франции, Японии. Эти акты должны быть гармонизированы с международными и региональными правилами и нормами.

3. Система стандартизации России гармонизирована с международной системой, региональными и прогрессивными национальными системами стандартизации других стран.

4. Одной из главных задач стандартизации является введение, наряду с обязательными требованиями, стандартов, рекомендательных ориентиров в отношении технического уровня продукции.

5. Важнейшими задачами стандартизации являются также развитие работ по сертификации продукции и услуг и обеспечение единой технической политики в области метрологии.

С 1 января 1993 г. вступил в действие комплект стандартов Государственной системы стандартов России — ГССР, состоящей из 5 стандартов (основополагающих): ГОСТ 1.0 ÷ ГОСТ 1.5. Эти стандарты определяют структуру, принципы, формы и методы работы по стандартизации в России, гармонизированной с международными положениями по стандартизации.

## **Объекты стандартизации и виды стандартов**

Объектами стандартизации являются многократно повторяющиеся в общественном производстве продукты, процессы и услуги. Ряд объектов стандартизации устанавливают правительственные органы РФ.

Производимая и реализуемая в стране продукция должна соответствовать требованиям утвержденных стандартов, технических условий и стандартов предприятий. Запрещается выпуск продукции и утверждение на нее цен при отсутствии научно-технической документации (НТД).

Показатели отечественных стандартов не должны уступать показателям зарубежных, не должны быть ниже их.

Стандарты являются обязательными в пределах установленной сферы действия и области распространения.

Национальные стандарты всех видов и уровней утверждаются в порядке, установленном Правительством России.

Стандарты подразделяются на следующие виды:

1. *Основополагающие* — устанавливают порядок (правила) выполнения организационно-технических процессов по разработке, производству и применению продукции.

2. *Стандарты на продукцию (услуги)*, в которых устанавливают общие технические требования к основным базовым параметрам этой продукции (машин, приборов, оборудования и т. п.), а также на услуги.

3. *Стандарты на методы испытаний, измерений*, порядок проведения анализа, обеспечивающие единство необходимых операций в любом производстве, особенно при определении качества продукции.

4. *Стандарты на процессы* — технологические, охрану окружающей среды, защиту от вредных воздействий (шум, вибрации и т. п.).

Стандарты, применяемые при сертификации, должны отвечать требованиям руководства ИСО/МЭК.7 «Требования к стандартам, применяемым при сертификации изделия».

## **Государственный надзор за стандартами и средствами измерений**

Государственный надзор осуществляется территориальными органами Госстандарта России. Надзор осуществляется на всех стадиях жизненного цикла продукции — от ее разработки (проектирования) до эксплуатации (применения) в промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте, в торговле, в НИИ и т. д., и т. п.

Главной задачей надзора является строгое и своевременное внедрение и соблюдение всех требований стандартов на всех стадиях разработки и применения продукции. Кроме того, надзор должен не только выявлять нарушения, но и способствовать выпуску продукции надлежащего качества и оказывать помощь в этом.

Особая роль принадлежит Государственному метрологическому надзору Госстандарта РФ, осуществляемому в целях обеспечения единства измерений как одного из важнейших условий повышения качества продукции, роста производительности труда, ускорения научно-технического прогресса.

К эксплуатации допускаются лишь те средства измерений, которые отвечают требованиям ГОСТ 8.002 «Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения».

Пригодным к применению в течение межповерочного интервала признаются те средства измерений, поверка которых, выполненная в соответствии с требованиями научно-технической документации, подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному средству измерений.

**Поверка средств измерений** — это определение погрешности средства измерения и установление его пригодности к применению.

Государственная поверка средств измерений — это поверка, проводимая органами государственной метрологической службы.

Ведомственная поверка проводится органами ведомственных служб.

Методики поверки и оформления результатов определены ГОСТ 8.042 «Нормативно-технические документы на методики поверки средств измерений. Требования к построению, содержанию и изложению».

## 5.6. СЕРТИФИКАЦИЯ

*Сертификат* (лат.) — «сделано верно».

*Сертификация* — это единая система контроля соответствия нормативной документации различных продуктов, работ и услуг.

*Сертификация* — это процесс, результатом которого является гарантия того, что продукция (товар, изделие), работа, услуга соответствуют стандарту или уровню, устанавливаемому соответствующим нормативным документом.

Сертификация является основой управления качеством продукции практически любой отрасли деятельности человека. Она включает работу по стандартизации, метрологии и управлению качеством продукции.

Нормативная база сертификации основана на законах РФ; стандартах РФ; санитарных нормах и правилах; нормах безопасности, а также документах, которые в соответствии с законодательством РФ устанавливают обязательные требования к продукции, работам и услугам.

Рекомендации к нормативным документам сертификации излагаются в специальном руководстве «ИСО/МЭК.7» (ИСО — Международная организация по стандартизации; МЭК — Международная электротехническая комиссия).

Эти документы должны содержать два класса требований: к самой продукции; к процедурам определения соответствия этим требованиям.

Законодательная база сертификации в РФ образована целым пакетом законов; правительственными и ведомственными постановлениями в области конкретных видов продукции. К ним можно отнести законы:

1. «О защите прав потребителей» (1992 г.).
2. «О товарных знаках, знаках обслуживания и наименования мест происхождения товаров» (1992 г.).
3. «О стандартизации» (1993 г.).
4. «О сертификации продукции, работ, услуг» (1993 г.).
5. «Об обеспечении единства измерений» (1993 г.) и ряд других.

Для сертификации пищевых продуктов важнейшим документом является «Система сертификации ГОСТ Р. Система сертификации пищевых продуктов и продовольственного сырья» (1993 г.).

Важное значение в координации работ по сертификации имеют государственные документы о межведомственных взаимодействиях Госстандарта; Комитета по торговле; органов, руководящих разработкой и производством товаров, работ и услуг.

Структура Российской системы сертификации: Госстандарт России; органы по сертификации однородной продукции и испытательные лаборатории (центры).

Основные функции Госстандарта РФ в области сертификации.

1. Госстандарт РФ определяет стандарты и виды продукции для обязательной сертификации. Стандарт — обязательный документ, устанавливающий обязательные требования к качеству товаров (изделий), работ и услуг.

Стандартизация — деятельность по установлению норм, правил и характеристик продукции (товаров, изделий), работ и услуг.

Нормативные документы по стандартизации — стандарты: государственные, международные и региональные; правила; нормы; рекомендации; классификаторы; стандарты отраслей и предприятий и др.

2. Устанавливает структуру и основные принципы Российской системы сертификации.

3. Аккредитует органы сертификации, ведет инспекционный контроль за их деятельностью.

4. Устанавливает цены и тарифы на сертификацию.

5. Обеспечивает информацией и др.

Для осуществления этих функций в Госстандарте имеется более 150 НПО, НИИ, КБ, 15 заводов, 100 центров стандартизации и метрологии, издательство, институт повышения квалификации, 2 техникума. В этих структурах трудятся более 30 тыс. человек.

Органы сертификации, включая лаборатории и центры, в качестве которых могут быть аккредитованы предприятия и организации любой формы собственности при соблюдении необходимых условий. Для этого требуется:

1. Наличие материальной базы.

2. Компетентность и высокая квалификация персонала.

3. Наличие статуса юридического лица и независимости и некоторые другие.

Функционируют эти органы под строгим организационным и методологическим контролем со стороны Госстандарта РФ.

## **Система сертификации пищевых продуктов и продовольственного сырья**

Обязательная сертификация продукции может проводиться в двух формах.

1. По правилам сертификации продукции с использованием заявления — декларации изготовителя.

2. По документам системы ГОСТ Р.

В результате проведения сертификации соответствующими органами составляется и выдается заявителю документ — сертификат соответствия, подтверждающий соответствие продукции, работ, услуг установленным требованиям нормативных документов.

Нормативные документы, согласно которым проводится сертификация, должны однозначно и полно обеспечивать их точное и единообразное толкование.

## **Правила проведения сертификации**

Сертификация включает следующие этапы:

1. Подача заявителем (предприятием) заявки на сертификацию.

2. Принятие органами сертификации решения по заявке.

3. Отбор, идентификация образцов и их испытания.

4. Оценка производства.

5. Анализ полученных результатов и принятие решения о возможности выдачи сертификата соответствия (т. е. сертификата).

6. Выдача сертификата и лицензии на применение знака соответствия.

7. Осуществление инспекционного контроля за сертифицированной продукцией.

8. Корректирующие мероприятия при нарушении соответствия продукции установленным требованиям и неправильном применении знака соответствия.

9. Информация о результатах сертификации.

### **Оформление документации сертификации (основные положения)**

Результаты испытаний — протоколы, заключения и другие документы, используемые при сертификации, хранятся органом, проводившим эти испытания и выдавшим сертификат.

После анализа этих документов орган осуществляет оценку соответствия продукции установленным требованиям, оформляет сертификат и регистрирует его. Сертификат действителен только при наличии его регистрационного номера.

Срок действия сертификата указывается в нем, но не более 3-х лет.

Продукция, на которую выдан сертификат, маркируется знаком соответствия, который ставится на изделие и (или) тару, упаковку, сопроводительную техническую документацию. Маркирование осуществляет изготовитель (продавец). Право на маркирование предоставляется лицензией, выдаваемой органом по сертификации.

Сертификация, определяемая как деятельность третьей стороны (между производителем и потребителем), направленная на подтверждение соответствия продукции, работ, услуг установленным требованиям нормативных документов, может быть успешно реализована лишь в тесной взаимной увязке с деятельностью и требованиями стандартизации и метрологии.

### **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ**

1. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).
2. Агрегатные комплексы ГСП.
3. Классификация устройств ГСП.
4. Обеспечение единства измерений.
5. Стандартизация.
6. Сертификация.

## **Раздел II. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА И ЕЕ РОЛЬ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

В XXI веке, веке поголовной компьютеризации проблема промышленной автоматизации предприятий пищевой промышленности на базе компьютерных технологий является актуальной.

При наличии огромного спектра предложений по датчикам, промышленным сетям, контроллерам, исполнительным механизмам, средствам отображения информации и прочим элементам реализация современных многоуровневых АСУТП для управления производством пищевой продукции на базе информационных технологий и микропроцессорной техники вполне реальна. В настоящее время, подбирая пути для решения этой проблемы, в очень жестких условиях ограниченного финансирования приходится постоянно думать об оптимизации. Компоненты АСУТП должны быть адекватны решаемой задаче, служить долго и надежно, обслуживаться легко и просто, выглядеть привлекательно и стоить дешево. Эти задачи можно объединить в следующие группы:

- создание и внедрение локальных, автономных систем управления;
- создание и внедрение многоуровневых АСУТП;
- модернизация и реконструкция существующих систем управления.

Важнейшей задачей является создание и внедрение многоуровневых АСУТП, характерными особенностями которых являются:

- достаточный набор средств микропроцессорной техники;
- масштабируемость;
- прозрачный обмен данными между различными средствами как по «горизонтали», так и между уровнями системы по «вертикали»;
- возможность построения систем управления различной архитектуры и производительности, от самых простых до сложных распределительных многоуровневых;
- возможность поэтапного наращивания системы с сохранением прежних наработок, высокая адаптируемость к работе как



по стандартным, так и уникальным протоколам, позволяющим осуществить частичную или поэтапную модернизацию и реконструкцию.

Данные свойства системы достигаются:

- благодаря открытости аппаратно-программных средств;
- использованию стандартных ОС общего назначения MS-DOS, Windows NT и PS OS-9, Vx Works, Windows NT RTX и др.;
- применению стандартных сетевых интерфейсов и протоколов RS-232, RS-422, RS-485, Ethernet (TCP/IP), Profibus, CAN, LON и др.;
- использованию стандартных технологий обмена данными между уровнями распределенной сети DDE и OPC с применением идеологии клиент — сервер;
- наличие единого подхода к программированию микропроцессорных средств;
- время наработки на отказ (MTBF) каждого из блоков более 100 000 ч;
- сертификаты соответствия целому ряду международных стандартов по стойкости к вибрации, ударам, электромагнитной совместимости и т. д.;
- гарантийный срок один год и десять лет послегарантийной поддержки.

### **Состав вычислительной системы**

Состав вычислительной системы называют ее *конфигурацией*. Она состоит из совокупности аппаратных и программных средств вычислительной техники. Критериями выбора аппаратного или программного решения являются производительность и эффективность. Обычно принято считать, что аппаратные решения в среднем оказываются дороже, зато реализация программных решений требует более высокой квалификации обслуживающего персонала.

К аппаратному обеспечению вычислительных систем относятся устройства и приборы, образующие аппаратную конфигурацию. Современные компьютеры и вычислительные комплексы (например, ПТК) имеют блочно-модульную конструкцию — аппаратную конфигурацию, необходимую для исполнения конкретных видов работ, можно собирать из готовых узлов и блоков.

По расположению устройств относительно центрального процессорного устройства (ЦПУ) различают внутренние и внешние устройства ЦПУ. Внешними, как правило, является большинство устройств ввода-вывода данных (периферийные устройства) и устройства, предназначенные для длительного хранения данных.

Согласование между отдельными узлами и блоками ЦПУ выполняют с помощью переходных аппаратно-логических устройств, называемых аппаратными интерфейсами. Стандарты на аппаратные интерфейсы в вычислительной технике называют протоколами. Таким образом, *протокол — это совокупность технических решений, которые должны быть обеспечены разработчиками устройств для успешного согласования их работы с другими устройствами.*

Многочисленные интерфейсы, присутствующие в архитектуре любой вычислительной системы, можно условно разделить на две большие группы: последовательные и параллельные. Через последовательный интерфейс данные передаются последовательно, бит за битом, а через параллельный — одновременно группами битов. Количество битов информации, участвующих в одной посылке, определяется разрядностью интерфейса, например, восьмиразрядные параллельные интерфейсы передают один байт (8 бит) информации за один цикл.

Параллельные интерфейсы обычно имеют более сложное устройство, чем последовательные, но обеспечивают более высокую производительность. Их применяют там, где важна скорость передачи данных: для подключения печатающих устройств, устройств ввода графической информации, устройств записи данных на внешний носитель и т. п. Производительность параллельных интерфейсов измеряют байтами в секунду (байт/с; Кбайт/с; Мбайт/с).

Устройство последовательных интерфейсов проще: как правило, для них не надо синхронизировать работу передающего и принимающего устройств (их называют асинхронными интерфейсами), но пропускная способность их меньше и коэффициент полезного действия ниже, так как из-за отсутствия синхронизации посылок полезные данные предваряют и завершают посылками служебных данных, т. е. на один байт полезных данных могут приходиться 1—3 служебных бита (состав и структуру посылки определяет конкретный протокол).

Поскольку обмен данными через последовательные устройства производится медленнее, их производительность измеряют битами в секунду (бит/с; Кбит/с; Мбит/с), иногда в знаках/с или символах/с (с/с).

Последовательные интерфейсы применяют для подключения «медленных» устройств (простейших устройств печати низкого качества, устройств ввода и вывода знаковой и сигнальной информации, контрольных датчиков, малопроизводительных устройств связи и т. п.), а также в тех случаях, когда нет существенных ограничений по продолжительности обмена данными (большинство цифровых фотокамер).

## Программное обеспечение

*Программы* — это упорядоченные последовательности команд. Конечная цель любой компьютерной программы — управление аппаратными средствами. Программное и аппаратное обеспечение в компьютере действуют в неразрывной связи и в непрерывном взаимодействии (так как между ними существует диалектическая связь).

Состав программного обеспечения вычислительной системы называют *программной конфигурацией*. Между программами, как и между физическими узлами и блоками, существует взаимосвязь — многие программы работают, опираясь на другие программы более низкого уровня, таким образом можно говорить о межпрограммном интерфейсе. Возможность существования такого интерфейса тоже основана на существовании технических условий и протоколов взаимодействия, а на практике он обеспечивается распределением программного обеспечения на несколько взаимодействующих между собой уровней. Уровни программного обеспечения имеют пирамидальную конструкцию. Каждый следующий уровень опирается на программное обеспечение предшествующих уровней. Такое членение удобно для всех этапов работы с вычислительной системой, начиная с установки программ и заканчивая практической эксплуатацией и техническим обслуживанием. Отметим, что каждый вышележащий уровень повышает функциональность всей системы. Так, например, вычислительная система с программным обеспечением базового уровня не способна выполнять большинство функций, но позволяет установить системное программное обеспечение.

Межпрограммный интерфейс состоит из ряда взаимодействующих между собой уровней.

**Базовый уровень** — самый низкий уровень программного обеспечения, представляет собой базовое программное обеспечение. Оно отвечает за взаимодействие с базовыми аппаратными средствами. Они непосредственно входят в состав базового оборудования и хранятся в программируемых запоминающих устройствах (ПЗУ). Программы и данные записываются («прошиваются») в микросхемах ПЗУ. В случаях, когда изменение базовых программных средств во время эксплуатации является технически целесообразным, вместо микросхем ПЗУ применяют перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства (ППЗУ). В этом случае изменение содержания ПЗУ можно выполнить как непосредственно в составе вычислительной системы (такая технология называется *флэш-технологией*), так и вне ее, на специальных устройствах, называемых *программаторами*.

**Системный уровень** — переходной. Программы, работающие на этом уровне, обеспечивают взаимодействие прочих программ компьютерной системы с программами базового уровня и непосредственно с аппаратным обеспечением, т. е. выполняют «посреднические» функции.

От программного обеспечения этого уровня, в основном, зависят эксплуатационные показатели всей вычислительной системы. Например, при подключении к системе нового оборудования на системном уровне должна быть установлена программа, обеспечивающая взаимосвязь с этим оборудованием для других программ. Конкретные программы, отвечающие за взаимодействие с конкретными устройствами, называются *драйверами устройств*, они входят в состав программного обеспечения системного уровня. Другой класс программ системного уровня отвечает за взаимодействие с пользователем. Эти программные средства называются *средствами обеспечения пользовательского интерфейса*. От них напрямую зависит удобство работы с АРМ.

**Совокупность программного обеспечения системного уровня формирует ядро операционной системы компьютера** — это неременное условие для возможности практической работы человека с вычислительной системой.

**Служебный уровень.** Программное обеспечение служебного уровня взаимодействует как с программами базового уровня, так и с программами системного уровня. Основное назначение служебных программ (называемых *утилитами*) состоит в автоматизации работ по проверке и настройке компьютерной системы. В основном они используются для расширения или улучшения функций системных программ. Они (программы обслуживания) изначально включены в состав операционной системы, но большинство служебных программ являются для операционной системы внешними и служат как для расширения ее функций, так и для персональной настройки их взаимодействия с аппаратным и программным обеспечением.

**Прикладной уровень.** Программное обеспечение прикладного уровня представляет собой комплекс прикладных программ, с помощью которых на данном рабочем месте (АРМ) выполняются конкретные задания. Спектр этих заданий очень широк — от производственных до творческих и развлекательно-обучающих. Функциональный диапазон возможных приложений средств вычислительной техники обусловлен наличием прикладных программ для разных видов деятельности.

**Так как между прикладным и системным программным обеспечением существует непосредственная взаимосвязь (первое опирает-**

ся на второе), то можно утверждать, что универсальность вычислительной системы, доступность прикладного программного обеспечения и широта функциональных возможностей компьютера зависят от типа используемой операционной системы, от содержащих ее ядро системных средств и от того, как операционная система обеспечивает взаимодействие триединого комплекса «человек — программа — оборудование».

## **Глава 6. АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ**

Микропроцессорная техника (МТ) — поколение средств управления, которое включает в себя микропроцессорные интегральные схемы, микропроцессоры (МП), микропроцессорные системы (МПС), микроЭВМ, контроллеры, программируемые микропроцессорные контроллеры (ПМК), а также ПТК, ЭВМ и ПЭВМ.

Микропроцессорная техника состоит из аппаратных устройств и программных продуктов (средств).

Технические аппаратные средства предназначены для первичной обработки технологической информации, собранной посредством датчиков, отображения информации для обслуживающего персонала, обработки, формирования и выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства.

Первичная обработка информации выполняет операции усреднения, масштабирования, сравнения с заданными значениями, а также, при необходимости, реализацию некоторых математических операций: сложения, вычитания, деления, умножения, извлечения корня, интегрирования и дифференцирования и др.

Формирование управляющих воздействий выполняется с помощью автоматических регуляторов, программируемых контроллеров, реализующих стандартные законы регулирования: позиционный, пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) и другие. При этом, наряду с одноконтурными, можно сформировать каскадные, программные, программно-логические и многосвязанные системы регулирования с выходом на систему исполнительных устройств.

Наряду с автоматическими регуляторами в последнее время используются устройства логического и программного управления на основе аппаратных средств с жесткой логикой функционирования и микропроцессорных контроллеров.

Отображение информации для операторов (технологов) может быть реализовано в виде аналоговой и цифровой индикации, регистрации, индикации по вызову на шкалах индикаторных табло, или на дисплеях и экранах мониторов, а также включением сигнализации отклонения параметров процессов от заданных значений.

Согласно назначению, в состав технических аппаратных средств входят: устройства статического преобразования информации (измерительные блоки, блоки вычислительных операций и др.); устройства динамического преобразования информации (автоматические регуляторы, контроллеры, блоки динамического преобразования, дифференцирования и др.); устройства оперативного управления (задатчики, блоки управления и др.); логические устройства обработки дискретной информации с «жесткой логикой функционирования»; программно-технические комплексы (ПТК) и контроллеры. Это, в основном, реализуется агрегатным комплексом АСВТ.

К группе устройств ГСП (комплекс АСВТ) относятся также средства представления информации: показывающие и самопишущие (сигнализирующие) средства, мониторы, табло, мнемонические схемы и др.

Нашли применение одноканальные и многоканальные устройства контроля, сигнализации, регулирования и обработки информации. Средства автоматизации этой группы выпускают в виде агрегатированных комплексов ГСП, построенных по блочно-модульному принципу с широким применением унифицированных модулей, блоков и устройств. В зависимости от вида используемой энергии применяются электрические, гидравлические, пневматические и комбинированные комплексы ГСП.

*Микропроцессорные интегральные схемы* — совокупность микропроцессорных и других интегральных микросхем, различающихся по конструктивно-технологическому исполнению и предназначенных для применения при изготовлении микропроцессоров, МПС, микроЭВМ, контроллеров и программируемых контроллеров и других средств микропроцессорной техники.

**Микропроцессор (МП)** — программно-управляемое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации и управления этой обработкой, выполненное в виде одной (или нескольких) интегральных электронных элементов — БИС и СБИС.

**Программируемость** — возможность изменять алгоритм обработки данных посредством программирования, т. е. за счет использования микропроцессорных БИС. Программируемость позволяет применять микропроцессорные БИС (МПБИС) одного типа для решения различных задач управления.

Микропроцессор по своим логическим функциям и структуре подобен процессору обычных компьютеров и оперирует короткими словами 2..., 16..., 32..., 64..., 128... разрядов. Основная функция МП — преобразовывать информацию. Однако сам по себе МП еще не способен осуществить переработку информации, т. е. решить конкретную задачу, его необходимо соединить с запоминающим устройством (ЗУ) и устройством ввода-вывода (УВВ), запрограммировать и обеспечить обмен информацией МП с этими устройствами.

**Микропроцессорная система (МПС)** — это совокупность взаимосвязанных устройств, состоящая из одного или нескольких МП, ЗУ, УВВ и ряда других устройств, обеспечивающих выполнение определенных функций.

**Микропроцессорная ЭВМ (микроЭВМ)** — это МПС, имеющая связь с внешними устройствами, панель питания, источник питания, объединенные единой конструкцией.

**Микроконтроллер (МК)** — микропроцессорное устройство, которое выполняет функции логического анализа и управления по заданным алгоритмам без взаимодействия с оператором.

**Программируемый логический контроллер (ПЛК)** — микропроцессорное устройство, которое выполняет функции логического анализа и управления по соответствующим алгоритмам согласно требованиям технологического процесса и взаимодействует с оператором.

**Программно-технический комплекс (ПТК).** Структура ПТК включает следующие компоненты: контроллеры — УСО; средства для формирования ЛВС и межсетевых взаимодействий; АРМ-станция оператора; АРМ службы АСУТП — станция инжиниринга; сервер БД, предназначенный для ведения БД РВ и БД проекта; сервер приложений, выполняющий сложные расчетные задачи; архивный сервер — станция архивирования; коммуникационный сервер, обеспечивающий связь с контроллерами, УСО, датчиками различных фирм-производителей, с другими системами с помощью модемов; системы бесперебойного питания; сервисные средства для эксплуатации, поверки, контроля работы, наладки и обслуживания и др.

В ПТК предусмотрено использование ЛВС, выделенных физических и телефонных линий, коммутируемой телефонной линии и радиоканала.

В качестве базового протокола сетевого и межсетевого взаимодействия используется протокол TCP/IP и UDP/IP. Предусмотрена возможность 100% «горячего» резервирования контроллеров и сетей.

**Персональная ЭВМ (ПЭВМ)** — это универсальная микропроцессорная система, предназначенная для решения емких техни-

ческих, экономических, научных, социальных задач делопроизводства, реализации конструкторских и технологических разработок и других задач.

Развитие МТ позволило разрабатывать цифровые системы контроля и управления с использованием программируемой логики, реализация которой основана как на аппаратных, так и на программных средствах.

Средства МТ обладают малыми размерами, низкой стоимостью, высокой надежностью и универсальностью в функциональном отношении, что позволяет встраивать их в технологическое оборудование и переходить к распределенным децентрализованным системам контроля и управления. Они обеспечивают преимущества централизованного управления и имеют высокую надежность, характерную для классических децентрализованных систем регулирования и управления.

Применение МТ позволяет осуществить непосредственное цифровое управление (НЦУ); практически реализовать любые алгоритмы (программы) регулирования; осуществить функциональное преобразование сигналов, их первичную статистическую обработку; осуществить тестовые методы диагностики; сопрягать средства производства с мониторами и другой периферией с помощью стандартного интерфейса и другие функциональные возможности.

## 6.1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МПС

Пользователь систем контроля и управления воспринимает МП как целое, имеющее потребительские свойства продукции, заложенные в его архитектуре. Архитектура определяет состав, назначение, связи между отдельными элементами и порядок их взаимодействия, т. е. это система. Понятие «архитектура» включает весь комплекс аппаратных и программных средств устройства, с помощью которых выполняются задания пользователей.

К основным подсистемам МПС следует отнести арифметико-логическое устройство (АЛУ), УВВ, ЗУ и управляющее устройство (УУ). УВВ состоит из устройства ввода (Увв) и устройства вывода (Увыв). Совокупность АЛУ и УУ в обычных ЭВМ называют *центральным процессором* (ЦП), а в микропроцессорной технике — *микропроцессором* (рис. 6.1). Сплошными линиями на рис. 6.1 обозначены направления передачи информационных сигналов, штриховыми — линии передачи управляющих сигналов.

Функционирование ЭВМ определяется списком команд (программой), размещенных в памяти компьютера постоянно или временно. Согласно этой программе, поступающая информация (данные) перерабатываются в ЦП. Устройство управления деко-



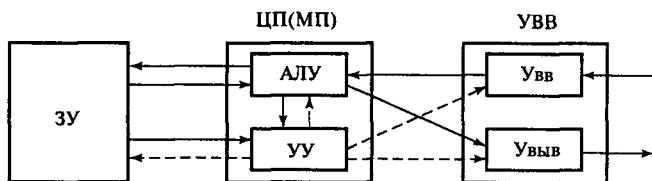


Рис. 6.1. Схема основных подсистем МПС

дирует записанные в программе команды и генерирует сигналы, необходимые для функционирования всей системы. АЛУ выполняет предписанные УУ арифметические и логические операции над информацией, поступающей из ЗУ и УВВ.

ЗУ — устройство памяти, обеспечивает хранение программ данных, закодированных в двоичном формате. ЗУ, входящее в состав МП, является электронным устройством, состоящим из элементов (ячеек) памяти. Каждой ячейке присваивается номер, который называется *адресом*. Устройства ввода-вывода реализуют связь с внешними (периферийными) устройствами.

Информация в МП вводится и хранится по принципу «высокий уровень — низкий уровень» потенциала, что соответствует 1 или 0 в двоичной системе счисления. Эта форма представления информации (программы) называется *машинным кодом*. Один разряд двоичного числа называется *битом* — это минимальное количество информации. Запись десятичных цифр и алфавитных символов машинным кодом называется *кодированием*.

Базовой логической единицей информации в МП является *слово* — это совокупность двоичных цифр, обрабатываемых одновременно. Число двоичных цифр, составляющих слово, определяется длиной слова. Длина слова характеризует количество кодовых комбинаций и число адресов, к которым может обращаться УУ. Слово длиной 8 бит называется *байтом*. Общее число ячеек в ЗУ определяет емкость памяти.

## Организация связи в МПС

В МПС организация связи элементов внутри устройств и между устройствами осуществляется двумя способами: с помощью произвольных связей — по принципу «каждый с каждым» и магистральным способом — с минимальным количеством связей между блоками. В МПС выделяют нижеследующие магистрали: шина данных (ШД), шина адресная (ША) и шина управления (ШУ).

*Шина данных* — система линий передачи данных внутри МП и вне его.

*Шина адресная* — система линий передачи адресов.

*Шина управления* — система передачи сигналов управления.

Конструктивно шины — это проводники или кабели, выполненные печатным способом.

ША обеспечивает возможность УУ выбирать любое слово в ЗУ или в УВВ. Выбор осуществляется соответствующей комбинацией единиц и нулей (машинным кодом) на ША. Она является однонаправленной, так как информация по ней поступает в одном направлении, т. е. в ЗУ или в УВВ.

ШД обеспечивает передачу информации из устройства ввода в память или АЛУ и в обратном направлении, т. е. является двунаправленной. Направление передачи информации определяется сигналами, пульсирующими по ШУ. По сигналу «чтение» осуществляется прием информации ЦП из устройства памяти или ввода, а по сигналу «запись» информация передается в обратном направлении. Пересылка информации внутри ЦП осуществляется по информационным шинам, по печатным проводникам, число которых должно быть не меньше числа разрядов в машинном слове. Регистры соединяются с шинами через управляемые вентили. Подключение регистров к шинам или их отключение осуществляется вентилями по сигналам управления. Синхронизация сигналов основана на совпадении сигнала управления с периодическим сигналом на шине, который также вырабатывается УУ.

## **Центральный процессор (ЦП)**

Общим условием функционирования процессоров является выполнение функций обработки, хранения, обмена и управления этими процессами над тремя видами информации: данными, командами и адресами. Первые две функции — основные, а последняя — обеспечивающая.

Обработку информации можно представить рядом функций: логической, арифметической и специальной (усиление, преобразование кодов, шифрация — дешифрация и т. д.).

Функцию хранения можно представить в виде совокупности функций оперативного и сверхоперативного хранения исходной, промежуточной и конечной информации, а также функцией долговременного хранения с возможностью обновления информации.

Функция обмена осуществляет обмен информацией как внутри процессора, так и с внешними устройствами.

Все операции, реализуемые в МПС, инициируются ЦП, который представляет собой набор различных регистров, т. е. ячеек памяти емкостью в одно слово. В памяти могут находиться ко-

манды, подлежащие выполнению МП, и исходные данные (операнды), подлежащие обработке. Распределение команд от данных осуществляется ЦП: команды направляются в регистр команд, а данные — в регистр данных. Регистр команд функционально входит в состав УУ, а регистр данных — в АЛУ. Устройство управления непрерывно работает в циклическом режиме. Циклическая последовательность действий МП включает:

- фазу выборки (извлечения) из памяти первого слова команды (кода операции) и запись этого слова (текущей команды) в регистр команд. Декодирование содержимого регистра команд формирует алгоритм поведения процесса при выполнении команды;

- фазу исполнения, в которой производится определение формата и типа команды, формирование адресов и вызовов операндов, выполнение операции и запись результата.

В современных МП выполнение этих фаз совмещено во времени.

Назначение регистра команд — сохранить текущую команду, согласно которой процессор функционирует в данный момент. Декодирование команд осуществляется дешифратором команд. Адрес следующей команды формируется программным счетчиком с помощью инкрементного устройства, входящего в состав УУ. Программист может задавать порядок выполнения команд путем их соответствующего размещения в программе и в памяти.

АЛУ — это сложная двухвходовая комбинационная схема, которая с помощью сигналов от УУ настраивается на выполнение определенной операции. АЛУ может одновременно осуществить операции над двумя операндами. Один из операндов извлекается командой из памяти, другой находится в аккумуляторе. Аккумулятор — специальный регистр МП, который при выполнении арифметических и логических операций служит источником одного из операндов и местом запоминания результатов выполнения операции.

АЛУ выполняет простейшие операции: сложение, вычитание, логические операции И и ИЛИ, сдвиг. Сдвиг двоичного числа на одну позицию влево приводит к его удвоению, сдвиг на одну позицию вправо делит его пополам. Операция сдвига используется при выполнении умножения и деления.

### **Запоминающее устройство**

Различают основную (внутреннюю) и внешнюю память. ЗУ основной памяти подключаются непосредственно к ША и ШД, а ЗУ внешней памяти подключены к ЦП, но только через УВВ.

По способу обращения к памяти различают ЗУ с произвольным обращением и последовательным обращением. Время считывания из ячейки ЗУ с произвольным обращением не зависит от ее адреса, а адрес ячеек можно определить в любом порядке. При произвольном доступе (по порядку адресов) можно считывать информацию в любой последовательности.

ЗУ в произвольном обращении подразделяются на оперативные (ОЗУ) и постоянные (ПЗУ). В ПЗУ хранятся программы, которые остаются неизменными. ПЗУ является неразрушаемой памятью, так как при отключении питания не разрушается (диски, кассеты). МП только считывает команды из ПЗУ и организует их выполнение. Программа управления технологическим процессом после отладки заносится в ПЗУ и не допускает случайного или умышленного изменения информации.

### **Устройство ввода-вывода**

ЦП при обмене информацией с внешними устройствами не имеет непосредственного контакта с ША и ШД микропроцессора, который подключается к ШД на очень малое время (до 1 мкс). При этом надежная передача информации осуществляется путем ее временного запоминания (фиксации, «защелкивания»), при использовании буферных регистров. *Буфер* — это устройство, обеспечивающее соединение двух несхожих систем в целях согласования их характеристик и совместной работы.

МПС имеет множество внешних устройств, и для согласования их работы вводят устройство — контроллер ввода-вывода, который определяет необходимый источник при вводе информации и приемник для ее вывода. Буферный регистр с контроллером образует соответственно порт ввода и порт вывода.

*Порты* — это входные и выходные устройства связи для соединения ЦП с внешними устройствами. В качестве портов ввода-вывода используют специально программируемые БИС.

### **6.2. ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Работа МПС организуется согласно заданной программе, которая состоит из последовательности инструкций, выполняющихся шаг за шагом. Этот шаг последовательности называется *командой*. Для каждого МП прилагается описание, в котором указаны все команды и даны пояснения их функций.

Программы управления технологическими процессами можно записать в машинных кодах с использованием двоичной системы (последовательности нулей и единиц). Программирование выпол-

няется в два этапа: сначала программа пишется на символьном (входном) языке, а затем переводится вручную или с помощью ЭВМ в машинный код. Входной язык состоит из определенного набора команд. *Мнемокод* — простейший из входных языков. Операторы мнемокода — это условные сокращения названий операций на естественном языке, что значительно облегчает запоминание и употребление команд программы. Мнемокоды ускоряют программирование и являются базой для создания алгоритмических языков более высокого уровня. Их можно применить для кодирования не только команд, но и адресов. Условные обозначения (*метки*) применяются при написании программы, а также отдельных ее частей. В качестве метки удобно использовать символьное обозначение (адрес) части программы, например «СТАРТ», «ЗАДЕРЖКА» и т. д. Метка ставится перед кодом операции, а после нее — двоеточие. При трансляции программы каждой метке присваивается текущее значение счетчика команд, этим фиксируется определенное место в программе, что упрощает переход в нужную точку программы, а также многократное повторение ее отдельных частей.

Широкое применение для технологических объектов управления имеет язык программирования *ассемблер*. Его основу составляет мнемоника машинных команд МП, а также специальные команды для управления трансляцией исходной программы на машинный язык. Эти команды называются *директивами ассемблера*, или псевдокомандами. Директивы ассемблера содержат информацию о начале и конце программы и другие сведения, необходимые для формирования данных и размещения их в памяти. Для записи директив применяют и мнемонические сокращения. В метке директивы обязательно должно находиться символьное наименование без заключительного двоеточия. Наиболее распространенными директивами ассемблера являются «ПРИСВОИТЬ» (приравнять) и «МАССИВ» (таблица). Первая директива задает начальные числовые значения всем условным наименованиям, а вторая определяет последовательность упорядоченных чисел.

Перевод программы с ассемблера на машинный язык можно выполнять вручную с помощью специальных кодирующих устройств или программно при помощи ЭВМ и специальной программы — транслятора. Для записи программы следует придерживаться формата, необходимого при машинной трансляции, для получения распечатки или листинга. В последнее время большое применение имеют языки Visual Basic (VB) и Visual Basic for Applications (VBA), Си, Си++, а также языки технологического программирования IEC 1131-3 (SFC, FBD, LD, IL, ST).

## Системы команд МП

Формируя систему управления, программист обязан сделать предварительное распределение памяти (основную программу разместить в ПЗУ) и последовательно записать все команды управления.

По формату, образуемому команды, их можно подразделить на две категории: безадресные (без ссылок на данные) и с обращением к памяти (со ссылкой на данные). Безадресные команды содержат лишь код операции и состоят из одного из машинных слов: «ОСТАНОВ», «ВОЗВРАТ» и т. д. Команды с обращением к памяти должны содержать адрес данных в памяти либо сам операнд.

По назначению команды МП подразделяют на следующие основные типы: перемещение данных; преобразование данных; управление программой; ввод-вывод и специальные.

Команды перемещения данных реализуют обмен данными между различными регистрами ЦП или между аккумулятором и устройствами.

Команды преобразования данных используются для выполнения арифметических и логических операций и проверки условий переходов, указанных в командах управления. Команда управления изменяет содержание программного счетчика, определяющего адрес следующей команды. Команды управления подразделяют на условные и безусловные. Условные команды обеспечивают программирование процедуры состояния, которая должна предшествовать выполнению следующей программы. Наличие условных команд позволяет разрабатывать программы управления технологическими процессами, которые учитывают виды и качество сырья и материалов, загрузку оборудования, параметры энергоносителей, требования технологического регламента.

Команды ввода-вывода осуществляют обмен информацией с внешними устройствами МПС. Эти команды определяют эффективность применения МП в системах контроля и управления технологическими процессами.

Специальные команды определяют возможность прерывания программы, запрет прерываний и другие.

При использовании МП в системах управления следует согласовывать время, необходимое для выполнения команд управления, с режимом работы технологического оборудования.

Время выполнения каждой программы определяется тактовой частотой МП и числом переходов его из одного состояния в другое, что должно быть достаточным для выполнения реализуемой

программы. Число переходов для каждой команды указывается в спецификациях МП. Машинный такт равен продолжительности в один период тактовой частоты (например, при тактовой частоте в 1 МГц период равен 1 мкс). Переход МП из одного состояния в другое определяется микрокомандой (например, считывание, запись информации, выполнение арифметической или логической команды и т. п.). Упорядоченный набор микрокоманд, необходимых для выполнения одной команды, требует  $4 \div 20$  машинных тактов.

### **6.3. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ УСТАНОВКА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

Микропроцессорные установки централизованного контроля и управления используют для реализации задач дистанционного контроля, регулирования и управления технологическими объектами, территориально удаленными от пульта управления. Они осуществляют функции измерений технологических параметров, их непрерывной или выборочной регистрации, звуковой или световой сигнализации при отклонении параметров от заданных значений, позиционного регулирования и логического управления.

Типовая микропроцессорная установка выполняет следующие функции: принимает дискретные нормированные сигналы от концевых выключателей, кнопок управления, команды с дисплейного пульта управления и вводит эту информацию в ОЗУ, доступное процессору; выдает оператору на дисплейный пульт отчетную текущую и плановую информацию, а также включает сигнализацию об опасных и аварийных ситуациях; по командам оператора согласно программе управления и сигналам датчиков формирует управляющие воздействия на исполнительный механизм. Оператор может осуществлять управление технологическими процессами посредством дисплейного пульта и связи с другими установками на расстояниях до 3 км.

Основой такой установки является микропроцессорный блок обработки информации, производящий предварительную обработку сигналов датчиков, заданий регуляторам согласно программам, вводимым оператором, прямое цифровое и логическое управление.

Микропроцессорная установка имеет систему диагностики, средства индикации, аварийной сигнализации и выход на алфавитно-цифровое печатающее устройство. Их используют для построения локальных систем управления с числом каналов 8, 16, 32 и в распределенных АСУТП.

## 6.4. МИКРОЭВМ

Структура микроЭВМ определяется, в основном, типом микропроцессорного контроллера и выбранным интерфейсом. Взаимодействие функциональных устройств микроЭВМ определяется системным интерфейсом, который состоит из ША, ШД, ШУ.

Каждое функциональное устройство, подключенное к системному интерфейсу, представляется процессором ЭВМ как совокупность адресных регистров, которые подразделяются на регистры данных. В регистры управления записываются управляющие слова, характеризующие алгоритм работы функционального устройства при дешифрации их устройством управления. Регистры данных используются в качестве буферных регистров. Синхронизация работы функциональных устройств и микроЭВМ осуществляется процессором.

Модульный принцип построения средств вычислительной техники позволяет создавать семейства ЭВМ, различающихся функциональным назначением, техническими характеристиками и конструктивным исполнением. Информационно-управляющие комплексы на основе микроЭВМ по конструктивному монтажу могут иметь встраиваемое, приборное, тумбовое и стоечное исполнение.

Для управления технологическими процессами перспективными являются однокристалльные ЭВМ со встроенными АЦП и ЦАП. Они обычно исполнены на одной БИС и могут быть использованы в управлении локальными технологическими процессами. Однокристалльные и одноплатные встраиваемые микроЭВМ предназначены для монтажа в технологическое оборудование и не имеют передней панели и блока питания.

## 6.5. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Программируемый микропроцессорный контроллер (ПМК) — это специализированная управляющая микроЭВМ, предназначенная для функционирования в локальных и распределенных системах управления согласно фиксированным наборам программ, размещенных в ПЗУ.

Главные достоинства ПМК, в сравнении с управляющей микроЭВМ общего назначения, — это ориентация программного обеспечения на поставленную задачу или набор задач, возможность программирования при изготовлении, наличие коммутирующих устройств для поочередного опроса входов и выходов, небольшой объем памяти и наличие помехозащиты. Изменение структуры и



настройка ПМК проводится на пульте управления клавишами или перемычками как в аналоговых устройствах автоматики.

Подсистемы, составляющие ПМК, обеспечивают их автономную эксплуатацию.

По назначению ПМК подразделяются на контроллеры логического, регулирующего и координирующего типа.

Логические ПМК предназначены для выполнения функций релейных и логических схем, а также в качестве командных аппаратов.

Регулирующие ПМК заменяют аналоговые, импульсные и цифровые регуляторы.

Координирующие ПМК обеспечивают выполнение функций задатчиков или координирующей микроЭВМ в распределенном управлении.

ПМК ориентированы на применение в системах управления нижнего уровня, т. е. осуществляют сбор и обработку информации, характеризующей состояние технологического оборудования (установок, агрегатов и т. п.). Они могут функционировать в автономном режиме (в составе локальной системы управления), а также в составе децентрализованной системы управления совместно с ПЭВМ. ПМК обеспечивают программную реализацию алгоритма управления, необходимого для конкретного технологического процесса, а при необходимости изменения алгоритма позволяют осуществить корректировку его программы работы.

ПМК универсальны, имеют модульную конструкцию, их разрабатывают для широкого круга потребителей с различной информационной мощностью: ПМК малой мощности имеют 64, 128, 256 входов-выходов; средней мощности — до 512; большой мощности — 1024, 2048 и т. д. до 8892 входов-выходов. Сигналы аналоговых и дискретных входов-выходов в ПМК унифицированы по току и напряжению. Дискретные входы и выходы имеют гальваническую развязку от логической части ПМК, в основном с помощью оптронов. ПМК комплектуются специальными переносными программирующими устройствами, при помощи которых на основе простых языков программирования можно вводить в ПМК программы функционирования конкретной системы управления, а в случае необходимости проводить их корректировку. ПМК снабжены средствами и программой самоконтроля, что позволяет быстро определить наличие и вид неисправностей и устранить их.

Типовая структура ПМК для реализации алгоритмов логического типа приведена на рис. 6.2, где широкие линии изображают информационные связи, тонкие — связи управления. Описание алгоритма управления содержится в блоке памяти программы (БПП), состояние битовых входов и выходов от объекта управления и

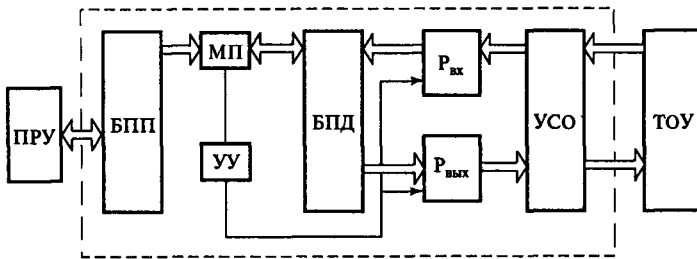


Рис. 6.2. Типовая структурная схема микропроцессорного программирующего контроллера

внутренних элементов — в блоке памяти данных (БПД). Сигналы от технологического объекта управления (ТОУ) посредством устройства связи с объектом (УСО) поступают на входной регистр  $P_{вх}$ . Значения управляющих сигналов хранятся в выходном регистре  $P_{вых}$  и воздействуют через УСО на объект управления. Функционирование контроллера осуществляется в последовательном сканировании записанной в БПП программы и вычислении логических (булевых) функций. Сканирование программы реализуется специальным микропроцессором (МП), который последовательно вычисляет булевые функции, используя данные программы, записанные в БПП, а также данные о состоянии входов в БПД. Вычисленные значения управляющих воздействий МП заносят в память данных БПД.

При окончании сканирования устройство управления осуществляет обмен информацией между  $P_{вх}$  и  $P_{вых}$  и памятью данных БПД, затем сканирование возобновляется снова от первого до последнего слова памяти. После обмена информацией между  $P_{вх}$ ,  $P_{вых}$  и БПД через выходы УСО управляющие сигналы подаются на ТОУ и соответственно принимаются входные сигналы от ТОУ. Однократный проход логического процессора по всей программе составляет цикл сканирования, а время, в течение которого завершается этот цикл, является временем сканирования. Оно характеризует быстродействие ПМК. Современные ПМК имеют время сканирования 5—20 мс.

Характерной особенностью ПМК, отличающей их от ПТК общего назначения, является использование в них двух видов запоминающих устройств: одно для хранения программы (перепрограммируемые постоянные запоминающие устройства ППЗУ), а другое ОЗУ — для хранения рабочей информации. При этом память программы работает только на считывание.

Программирование ПМК в основном осуществляется от ПЭВМ или с помощью специального программирующего устройства (ПРУ), которое в рабочем режиме не используется.

Главной особенностью ПМК является используемые в них язык и способ программирования.

Для большинства ПМК применяют язык программирования, основанный на релейно-контактной символической — языке программирования в виде булевых (логических) уравнений, «обиходный язык» и другие.

## **6.6. ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР (ПЛК)**

Этот контроллер предназначен для обработки двухпозиционных сигналов с системой команд, рассчитанных на решение логических задач. ПЛК (*ломиконты*) используются для автоматизации пуска и остановки технологического оборудования, распознавания аварийных ситуаций, защиты, позиционного регулирования и решения других логических задач. Они относятся к классу свободно программируемых ПМК и предназначены для использования в системах локального управления отдельными технологическими процессами и оборудованием при решении задач логико-программного управления. ПЛК состоит из программируемого командоаппарата, блока расширения, программатора, устройства стирания программ и коробки подключения.

Характерной особенностью контроллера ПЛК является наличие двух процессоров: центрального и битового, что обеспечивает достаточно высокое быстродействие (время опроса 1 Кбайт инструкций составляет менее 10 мс). Программируемый командоаппарат обеспечивает подключение до 128 входов-выходов объекта управления, а также блока расширения, содержащего до 20 модулей ввода-вывода, что позволяет увеличить число входов-выходов до 280.

Входным языком программирования ПЛК является, в основном, язык технологического программирования IES 1131-3 (SFC, FBD, LD, IL, SL), который представляет собой набор логических операций, реализуемых последовательным считыванием команд из памяти. Запись программы осуществляется с помощью клавиатуры программатора. Стирание информации, хранящейся в ППЗУ пользователя, проводится при помощи устройства стирания программ.

## **6.7. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Правильность выбора и соответствие рабочей характеристики ИУ требованиям системы регулирования является существенным, так как ИУ является конечным устройством воздействия САР на технологический процесс.

На основе блочно-модульного принципа построения ГСП разработана унифицированная система исполнительных устройств (СИУ ГСП), объединяющая все виды общепромышленных исполнительных устройств больших, средних и малых расходов, состоящих из различных исполнительных механизмов и регулирующих элементов. Эта система предусматривает повышение технического уровня и надежности ИУ, их работу с различными средами в диапазоне температуры от  $-180$  до  $+600^{\circ}\text{C}$  и давлений до 80 МПа.

Исполнительные устройства осуществляют воздействие на поток вещества или энергии, поступающий на объект управления согласно командной информации регулирующего устройства.

ИУ состоят из регулирующего органа (РО), исполнительного механизма (ИМ) и вспомогательных элементов для ручного управления, обратной связи, усиления и сигнализации положения РО.

Регулирующие органы непосредственно воздействуют на процесс изменения количества подаваемого вещества или энергии в ОУ.

По конструктивному исполнению для газообразных и жидких сред ИУ подразделяются на односедельные, двухседельные, шланговые, диафрагмовые и заслоночные.

Односедельные РО представляют собой клапан, в котором изменение пропускной способности определяется поступательным перемещением затвора относительно прохода седла. Они применяются при больших перепадах давления, расходах и диаметрах условного прохода РО, т. е. условный проход РО — это номинальный диаметр прохода присоединительных патрубков.

Шланговые и мембранные РО — это бессальниковые регулирующие органы, которые используются для изменения расхода агрессивных и загрязненных жидкостей.

Заслоночные РО применяются для управления потоками газовых сред. РО заслонка — это круглая, квадратная или прямоугольная пластина, закрепленная на оси и размещенная в корпусе.

В качестве РО используются поворотные двух-трехходовые краны.

По пропускной способности РО подразделяются на следующие группы: больших расходов от 40 до 25 000 м<sup>3</sup>/ч при условном проходе от 50 до 1000 мм; средних расходов от 2 до 500 м<sup>3</sup>/ч при условном проходе от 10 до 300 мм; малых расходов от 0,1 до 4 м<sup>3</sup>/ч и соответственно условном проходе от 6 до 25 мм; и очень малых расходов — менее 0,1 м<sup>3</sup>/ч и соответственно условном проходе менее 10 мм.

Правильные выбор расходной характеристики РО и расчет его размеров — основные условия высококачественного функционирования САР.

**Исполнительные механизмы** предназначены для управления РО согласно командной информации, получаемой от управляющего устройства. По виду потребляемой энергии для перемещения РО они подразделяются на электрические, пневматические и гидравлические.

Электрические исполнительные механизмы (ЭИМ) подразделяются на электромагнитные и электродвигательные.

Электромагнитные ИМ представляют собой прямоходовой электромагнит (соленоид) с втягивающимся якорем. Наибольшее применение имеют электромагнитные приводы серии ЭВ, предназначенные для управления различными клапанами, вентилями, задвижками по принципу действия «включено-выключено». Различают электромагнитные приводы с одной катушкой (серии ЭВ-1 и ЭВ-2) и приводы с двумя катушками (серия ЭВ-3).

При подаче напряжения на катушку привода ЭВ-1 или ЭВ-2 его якорь втягивается, открывая вентиль, а при снятии напряжения — отпускается, закрывая вентиль.

Привод ЭВ-3 имеет две катушки: катушку тягового электромагнита и катушку защелки. При подаче на него напряжения постоянного тока тяговый якорь втягивается, открывая РО, и удерживается защелкой в открытом положении. При полном открытии РО катушка тягового электромагнита обесточивается конечным выключателем. Сигнал на закрытие РО поступает в катушку защелки, которая освобождает РО, и он закрывается под действием пружины возврата.

Конструкция исполнительного устройства в основном определяется усилием для открытия клапана и величиной перемещения.

Электродвигательные ИМ основаны на использовании электродвигателей переменного тока, а именно асинхронных трехфазных двигателей, специальных асинхронных двухфазных двигателей с полым ротором и низкооборотных двигателей. Они являются двигателями постоянной скорости, и перемещение РО осуществляется повторно-кратковременными включениями двигателя.

По характеру перемещения РО электрические исполнительные механизмы подразделяются на следующие виды: многооборотные электрические механизмы (МЭМ) с вращающимся выходным валом; однооборотные электрические механизмы (МЭО, МЭОК, МЭОБ), выходной вал которых поворачивается на угол в пределах  $360^\circ$ ; прямоходные электрические механизмы (МЭП) с поступательным движением рабочего органа.

Главными характеристиками ЭИМ являются номинальный крутящий момент (усилие) на выходе, а также значение и время полного хода РО.

Электрический исполнительный механизм состоит из электродвигателя, базового редуктора, контрольно-пусковой аппаратуры и приставки, формирующей перемещение выходного вала. В состав приставки входят датчики положения выходного вала, которые используются и для осуществления обратной связи.

При дистанционном или автоматическом управлении РО необходимо осуществлять своевременную остановку электропривода при достижении РО одного из крайних положений. Для этого МЭМ всех типов снабжены конечными выключателями, которые обеспечивают надежность и безаварийность работы арматуры. Широкое применение получили многооборотные механизмы типа МЭМ-40, 100, 250 Нм; прямоходные механизмы типа МЭП-2500, 25 000, 63 000 Нм; взрывозащищенные механизмы МЭП-2500, 6300 Нм.

Однооборотные ИМ применяются для перемещения РО в системах дистанционного и автоматического управления. Находят применение однооборотные механизмы типа МЭО-90 — 16, 40 Нм, напряжением 220 В; МЭО-91 — 40, 100, 250 Нм, напряжением 220 В; МЭО-87 — 40, 100, 250 Нм, напряжением 220/380 В; МЭО-К-84 — 4000, 10000 Нм, напряжением 220/380 В; МЭО-92К — 250, 320, 630, 800, 1000, 1600, 2500 Нм, напряжением 220/380 В; МЭО-93 — 16, 40 Нм, напряжением 220 В; МЭО-94 — 6.3, 16, 40 Нм, напряжением 220 В; механизмы МЭО фланцевые — 6.3, 16, 32, 40, 100, 250, 320, 630, 1000, 1600, 2500 Нм, напряжением 220 В и 220/380 В. В комплектации к ним поставляется механизм сигнализации положения МСП, МСП-А; дистанционный указатель положения ДУП-М и блок указателей В-12.

В исполнительных механизмах типа МЭО применяют бесконтактные системы управления и однофазные асинхронные конденсаторные двигатели типа ДАУ, отличающиеся малой инерционностью и высокой надежностью.

В исполнительных механизмах МЭОК и МЭОБ смонтированы трехфазные асинхронные электродвигатели типа АОП с короткозамкнутым ротором, исполнительный механизм МЭОК рассчитан на контактное управление от пускателя, а МЭОБ — на бесконтактное управление от тиристорного пускателя.

Пневматические исполнительные устройства (ПИМ) находят широкое применение в пожаро- и взрывоопасных производствах и характеризуются быстродействием и точностью позиционирования. Применяются мембранные и поршневые ПИМ.

Наибольшее распространение имеют мембранные ПИМ. В них мембрана воспринимает давление сжатого воздуха и преобразует его в перемещение выходного устройства. Они надежны, просты по конструктивному исполнению, ремонтпригодны, дешевы, развивают усилие до 40 кН и обеспечивают перемещение выходного устройства на расстояния от 4 до 100 мм.

ПИМ подразделяются на пружинные и беспружинные. В основном применяют пружинные ПИМ, в которых перестановочное усилие формируется в одном направлении за счет давления сжатого воздуха, а в противоположном — силой упругости пружины. Мембранно-пружинное исполнительное устройство создает перемещение штока пропорционально управляемому давлению, т. е. является безинерционным звеном.

В зависимости от усилия мембранно-пружинные механизмы подразделяются на механизмы, развивающие нормальные перестановочные усилия (МИМ), и механизмы, развивающие повышенные усилия (МИМП).

В зависимости от направления движения выходного органа (штока) МИМ и МИМП подразделяются на механизмы прямого и обратного действия. В механизме прямого действия при увеличении давления шток выталкивается из ПИМ, а в механизме обратного действия втягивается в ПИМ. Механизмы прямого действия применяют для РО нормально открытого типа, механизмы обратного действия — для управления РО нормально закрытого типа.

Поршневые ПИМ используют в тех случаях, когда на перемещение РО затрачиваются значительные перестановочные усилия.

ПИМ комплектуются ручными дублерами для возможности ручного управления затвором РО, и позиционерами (усилителями мощности) — для повышения быстродействия и точности установки выходного звена ИМ.

ИМ обозначаются в следующем виде: тип, вид действия, диаметр заделки мембраны, ход штока, наличие дополнительного устройства.

Пример обозначения: МИМ-ППХ-320-25-10, т. е. мембранный исполнительный механизм прямого действия, прямоходный, диаметр заделки мембраны 320 мм, ход штока 25 мм, дополнительное устройство отсутствует.

Для управления быстродействующими процессами и при наличии больших перестановочных усилий эффективнее использовать гидравлические ИМ.

Качество работы ИУ в САР в значительной степени зависит от способа соединения ИМ с РО, обеспечивается их взаимным расположением, требуемыми характеристиками перемещения РО и другими условиями.

Соединение выходного устройства ИМ с входным устройством РО может быть непосредственным, жестким с помощью рычагов и тросовым. Необходимое сочленение ИМ с РО определяют, в основном, опытным путем, руководствуясь монтажно-эксплуатационными инструкциями.

## **6.8. СТРУКТУРА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ**

При автоматизации технологических процессов на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности целесообразно применять структуры трех видов технических средств (или ПТК) для решения нижеследующих задач:

- формирования информации о значениях технологических параметров и состоянии технологического оборудования и передаче ее по каналам связи;
- представления информации оператору (технологу), обработки и хранения информации, формирования сигналов управления и передачи их по каналам связи на исполнительные устройства;
- формирования воздействия на ТОО согласно сигналам, поступающим от средств выработки команд управления.

Измерительные преобразователи (датчики) устанавливают на технологическом оборудовании (на аппаратах, агрегатах или в потоке), которые непрерывно формируют информацию о технологических параметрах и состоянии оборудования. Далее, посредством устройства связи с объектом (УСО) информация поступает на средства ее отображения и обработки. К преобразователям можно отнести сигнализаторы (индикаторы) параметров, которые передают в систему управления предельные (дискретные) значения заданных параметров.

Согласно номенклатуре измеряемых параметров, измерительные преобразователи (ИП) подразделяют следующим образом: ИП общетехнических параметров (температуры, давления, уровня, расхода, массы, объема) и ИП параметров состава и свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Для проведения теххимического и микробиологического контроля сырья, полуфабрикатов и готовой продукции целесообразно применять экспресс-анализаторы в полуавтоматическом и автоматическом режимах функционирования в зависимости от технологии производства.

К оператору (технологу) информация поступает от измерительных устройств (датчиков), локальных ПЛК и логико-программных ПМК и других измерительных средств. Для преобразования, обработки информации и формирования команд управления используются регуляторы, сетевые ПЛК и ПМК, устройства



функционального и позиционного типа SCADA-системы, встроенные в щиты и пульта управления.

В микропроцессорных средствах управления отечественного и зарубежного производства и других совместимых с IBM PC XT/AT (ПЛК, ПМК, ПТК, ПЭВМ, SCADA-системы и других) решаются вопросы преобразования, обработки и хранения информации, представления ее оператору (технологу), а также формирования команд управления наиболее значимых параметров и критериев управления. Использование ПТК и ПЭВМ обеспечивает выдачу текстовой и графической информации на видеотерминалы (мониторы), а при необходимости позволяет регистрировать ее на цифровых печатающих устройствах (ЦПУ).

Исполнительные устройства воздействия на ТОО состоят из клапанов, заслонок, электродвигателей и других устройств общепромышленного и отраслевого назначения. Используемые исполнительные устройства могут быть дискретного (отсечные или переключающие) и регулирующего типа.

В представленной структуре средств контроля и управления следует использовать межотраслевые средства ГСП и специальные средства отраслевого назначения, характерные для отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности, которые должны удовлетворять специфическим требованиям этих отраслей.

- Конструкции измерительных преобразователей (датчиков) и исполнительных устройств, контактирующих с пищевыми средами, должны промываться циркуляционным способом и легко разбираться для периодической очистки и мойки соответствующими растворами. В них должны отсутствовать застойные зоны.

- Материалы деталей конструкций датчиков и исполнительных устройств, контактирующих с пищевыми средами, должны иметь разрешение на их использование органами здравоохранения и являться инертными и термостойкими.

- При применении методов и средств измерений с источниками излучений (высокочастотных, ультразвуковых, сверхвысокочастотных, радиоактивных и других) должна быть исключена возможность вредного воздействия этих излучений на качество пищевых продуктов и обслуживающий персонал.

- Измерительные преобразователи и исполнительные устройства, используемые на технологическом оборудовании, должны быть рассчитаны на эксплуатацию при относительной влажности не менее 90% и температуре 35° С.

- Аналоговые сигналы датчиков, входные и выходные сигналы средств представления и обработки информации, а также сигналы формирования команд управления должны быть унифици-

рованы. Необходимо использовать аналоговые сигналы постоянного тока ( $0 \div 5$ ,  $0 \div 20$ ,  $4 \div 20$  мА), напряжения постоянного тока ( $0 \div 10$  мВ,  $-10 \dots 0 \dots +10$  В), частоты ( $0 \div 1000$ ,  $0 \div 2000$  Гц), дискретные входные сигналы напряжением 24 В постоянного тока, 220 В переменного тока и выходные сигналы 24 В/ 2А, 24 В/1 А, 24 В/ 0,5 А, 24 В/0,2А постоянного тока. Для пневматической измерительной аппаратуры следует использовать аналоговые сигналы связи  $0,02 \div 0,1$  МПа, для пневматических исполнительных регулирующих устройств  $0,02 \div 0,1$  МПа, а для дискретного действия сигналы с верхним пределом до 0,7 МПа. Гидравлические сигналы характеризуются давлением рабочей жидкости  $0,2 \div 0,8$  МПа.

## 6.9. ИНТЕРФЕЙСЫ

*Интерфейс* — это программа связи с конкретным источником данных и сервером.

*Компьютерный интерфейс* — средство общения, стык, согласующее (сопрягающее) устройство, это аппаратное или программное обеспечение, необходимое для связи одного устройства (компьютерной системы) с другим или для связи пользователя с компьютером, а также совокупность средств и правил, обеспечивающих логическое или физическое взаимодействие устройств и/или программ вычислительной системы.

В общем случае обмен информацией может быть двунаправленным. Если необходимо, интерфейс может обмениваться информацией с некоторыми аналитическими датчиками, контроллерами, SCADA-пакетом, лабораторными системами, реляционными БД, другими архивами и т. д.

Получив информацию из источника, интерфейс передает ее серверу. Данные снабжаются меткой времени с точностью до миллисекунды. Числовая информация передается лишь в том случае, если текущее значение отличается от предыдущего более чем на заданную величину — порог события.

Обычно эта величина соответствует точности измерений. Как правило, интерфейс устанавливается отдельно от сервера и самостоятельно поддерживает с ним связь. На одном компьютере может быть несколько интерфейсов.

Сервер может быть недоступен из-за плохой связи или в случае его временного отключения, например для обновления ПО на сервере. Если сервер не отвечает, то интерфейс может сохранять информацию локально, а после восстановления связи данные будут переданы на сервер. Эта возможность называется

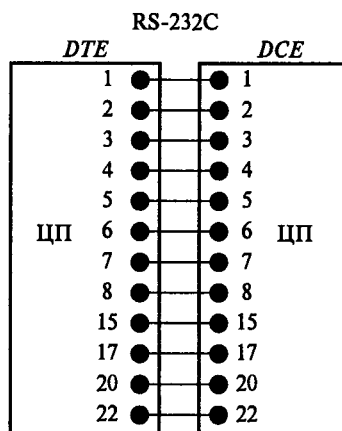
store-and-forward (*сохранить и передать*). Объем буфера хранения настраивается и информация в нем может храниться в течение нескольких дней.

Фирмой OSI разработано свыше 200 различных интерфейсов, список которых есть на WEB странице фирмы ([www.osisoft.com](http://www.osisoft.com)). Можно разработать и собственный интерфейс с помощью вспомогательного программного пакета.

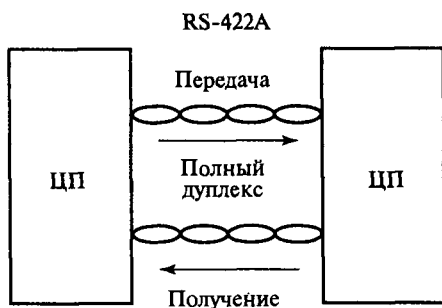
Наиболее распространенным последовательным интерфейсом является интерфейс RS-232C, соответствующий стандарту EIA RS-232C. Интерфейс RS-232C предназначен для соединения двух устройств. Передатчик одного устройства соединяется с приемником другого, и наоборот, что обеспечивает полнодуплексный режим работы с данными. Для управления подключенным устройством можно использовать дополнительные линии порта RS-232C или специальные символы, добавляемые к передаваемым данным.

### Технические характеристики

Стандарт	EIA RS-232, ССПТ У.24
Скорость передачи (по стандарту)	19 200 бит/с
Протяженность линии связи (по стандарту)	15 м
Вид сигнала	потенциальный с общим проводом
Число передатчиков	1
Число приемников	1
Организация связи	полный дуплекс, «точка-точка»



Стандарт EIA RS-422A разработан для обмена данными между центральным компьютером и периферийным оборудованием. Интерфейс использует симметричную линию связи и обеспечивает работу на расстояниях до 1200 м и максимально возможную скорость передачи до 10 Мбит/с. Интерфейс обеспечивает хорошее подавление помех общего вида за счет использования витой пары в качестве линии связи. Каждый передатчик может быть нагружен на несколько (до 10) приемников, что обеспечивает возможность одновременного обмена с несколькими устройствами.

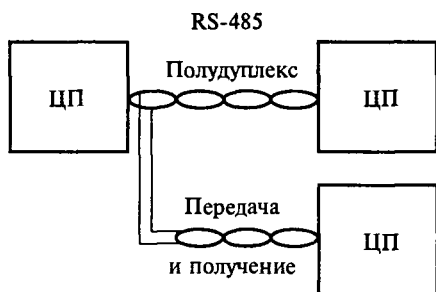


### Технические характеристики

Стандарт	EIA RS-422-A, ССПТ У.11
Скорость передачи (максимум)	10 Мбит/с
Протяженность линии связи (максимум)	1200 м
Вид сигнала	дифференциальный, витая пара
Число передатчиков	1
Число приемников	10
Организация связи	полный дуплекс, «точка-точка»

RS-485 — наиболее распространенный интерфейс в промышленности стандартов последовательной передачи данных, использующий симметричную двухпроводную линию связи для двунаправленного обмена данными. Он позволяет строить сети с числом абонентов до 32 протяженностью 1200 м. Применение ретрансляторов позволяет увеличить дальность связи свыше 1200 м, организовать новый сегмент.

Система связи на основе интерфейса RS-485 работает в полудуплексном режиме, прием и передача данных осуществляются по одной витой паре проводов.



### Технические характеристики

Стандарт	EIA RS-485
Скорость передачи (максимум)	10 Мбит/с
Протяженность линии связи (максимум)	1200 м
Вид сигнала	дифференциальный, витая пара
Число передатчиков	32
Число приемников	32
Организация связи	полудуплекс, сегмент сети до 32 абонентов

CAN представляет собой последовательный интерфейс, специально разработанный для соединения между собой датчиков, исполнительных устройств и интеллектуальных контроллеров, управляющих каким-либо объектом. Преимущества интерфейса CAN: обеспечение режима обмена в реальном масштабе времени, возможности инициативной передачи сообщений, высокая помехоустойчивость и протокол с коррекцией ошибок; все это обеспечивает его широкое использование в промышленной автоматизации.

# Шина CAN

## Технические характеристики

Стандарт	ISO 11898
Скорость передачи (максимум)	1 Мбит/с
Протяженность линии связи (максимум)	1000 м
Вид сигнала	дифференциальный, витая пара
Число передатчиков	64
Число приемников	64
Организация связи	полудуплекс, сеть до 64 абонентов

## 6.10. БИБЛИОТЕКА ПРОГРАММ ДЛЯ РАБОТЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ ИНТЕРФЕЙСАМИ

PC-ComLIB — мощная и компактная библиотека программ для IBM PC/AT совместимых компьютеров. Реализуемые функции позволяют легко управлять последовательными портами K.3-232 компьютера в среде операционной системы DOS. Используя языки программирования высокого уровня, можно сократить время разработки и улучшить качество программного продукта.

В комплект поставки PC-ComLIB входит программа Data Score, предназначенная для просмотра данных и эмуляции терминала и имеющая удобный графический интерфейс. Она позволяет осуществить мониторинг передаваемых между устройствами данных без внесения каких-либо помех. Можно просматривать данные на экране в реальном масштабе времени в шестнадцатеричном или ASCII-формате или записывать их на диск. Блок-схема программы представлена на рис. 6.3.

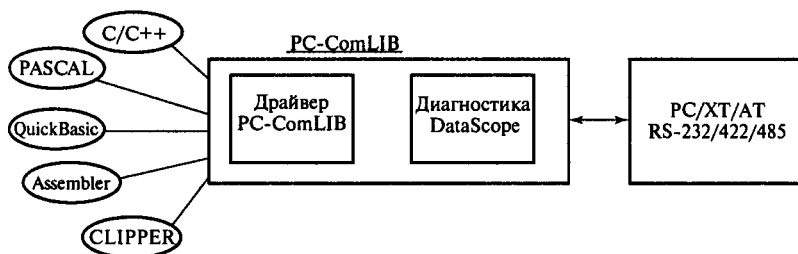


Рис. 6.3. Блок-схема программы Data Score

## Технические характеристики

Это небольшой резидентный (TSR) драйвер для DOS; программная инициализация FIFO — буфера микросхемы UART 16C550; поддержка стандартных последовательных портов Com1-Com4; поддержка языков программирования Turbo

C, Microsoft C, Turbo Pascal, Ассемблер, Quick Basic, Chipper; расположение буферов приема и передачи в основной памяти; скорости передачи в диапазоне от 50 до 57 600 бит/с; индивидуальный назначенный размер буфера для каждого порта от 64 до 32 000 байт; возможность использования сигналов CTS/RTS для управления потоком данных; возможность генерации прерывания по приему символа завершения посылки или соответствующего сигнала; в комплект поставки включена программа Data Score для просмотра данных и эмуляции терминала, а также программа самодиагностики для облегчения отладки.

### **6.11. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЯЗИ (ИНТЕРФЕЙСА). ПЛАТЫ, ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ PC-ComLIB**

Однопортовые платы: PCL-740 — интерфейс RS-232/422/485, токовая петля.

Двухпортовые: PCL-741 — 2 интерфейса RS-232 с токовой петлей 20 мА и гальванической развязкой; PCL-743В/7438 — 2 интерфейса RS-422/485 и 2 интерфейса RS-422/485 с гальванической развязкой.

4/8 — портовые платы: PCL-746+ — 4 интерфейса RS-232/422/485; PCL-849 — 4 интерфейса RS-232; PCL-846/847 — 4 интерфейса RS-422/485; PCL-858 — 8 интерфейсов RS-232/422. Интеллектуальные платы: PCL844+ — 8 интерфейсов RS-232/422; PCL-747+ от 8 до 32 интерфейсов RS-232/422.

### **ADAM-4500 — IBM PC совместимый контроллер связи**

Устройство ADAM-4500 является функционально автономным контроллером связи, предназначенным для реализации распределенных систем сбора информации и управления. Контроллер ADAM-4500 содержит встроенную операционную систему ROM-DOS, совместимую с MS-DOS, за исключением поддержки стандартного сервиса системы BIOS. Применение данного контроллера предоставляет пользователю возможность создания программного обеспечения на языках высокого уровня с использованием персональных IBM PC-совместимых ЭВМ.

Контроллер ADAM-4500 имеет в своем составе два коммуникационных порта (Com1 и Com2), которые обеспечивают возможность организации взаимодействия практически с любыми устройствами с последовательным доступом. Порт Com1 может быть настроен на функционирование в режиме интерфейсов RS-232 или RS-485 путем установки соответствующего переключателя. Порт Com2 работает в режиме RS-485. Данная конфигурация портов контроллера позволяет реализовать различные приложения с интенсивным обменом информацией по двум последовательным каналам связи.

Часы реального времени, входящие в состав контроллера, обеспечивают возможность получения точных меток времени при фиксации каких-либо событий в контролируемой прикладной области. Сторожевой таймер предназначен для осуществления повторного запуска системы в случае непредвиденной остановки исполнения программы.

*Основные характеристики:* мощный и компактный контроллер связи; встроенная ROM-DOS для исполнения программ; ОЗУ и ПЗУ для пользовательских программ; поддержка многоточечной сети по RS-485; скорость передачи данных до 115200 бит/с; режим работы RS-232 или RS-485 (устанавливается переключателем); автоматическое определение потока данных в режиме RS-485; встроенные часы реального времени и сторожевой таймер; возможность крепления на DIN-рейку или на панель; питание нестабилизированным постоянным напряжением от 10 до 30 В; программа загрузки ПО и кабель в комплекте.

### *Технические данные*

Тип процессора: S01SS-40. Объем флэш-ПЗУ: 256 кбайт (170 кбайт ПЗУ доступны для хранения прикладных программ). Операционная система: загружаемая ROM-DOS во флэш-ПЗУ. Таймер BIOS: есть. Объем ОЗУ: 256 кбайт (234 кбайта памяти доступны для прикладных программ). Часы реального времени: встроенные. Сторожевой таймер: имеется. Порт COM1: RS-232/RS-485. Порт COM2: RS-485. Используемые линии порта RS-232 для загрузки программного обеспечения: TxD, RxD, GND. Требования по питанию: нестабилизированное постоянное напряжение от 10 до 30 В. Потребляемая мощность 2,0 Вт. Диапазон рабочих температур: от -10 до 70°C. Конструктивное исполнение: корпус из пластика ABS с невыпадающими элементами крепления. Извлекаемые клеммные колодки с винтовой фиксацией: сечение жил проводников от 0,5 до 2,5 мм<sup>2</sup>. Габариты: 120x60 мм.

**Параметры интерфейса RS-232.** Сигналы: TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, RID, GND. Режим обмена: асинхронный полнодуплексный, «точка-точка». Скорость обмена: до 115 200 бит/с. Максимальная протяженность линии связи: до 15,2 м (по стандарту).

**Параметры интерфейса RS-485.** Сигналы: DATA<sup>+</sup>, DATA<sup>-</sup>, GND. Режим работы: асинхронный полудуплексный, многоточечный. Скорость обмена данными до 115 200 бит/с. Максимальная протяженность линии связи до 1200 м.

**Программирование контроллера.** Контроллер ADAM-4500 имеет непрограммируемое ПЗУ, 170 кбайт которого свободны для хранения прикладных программ. Для исполнения кода прикладных программ доступно 234 кбайта оперативной памяти. Программное обеспечение может создаваться при помощи любых 16-разрядных

систем разработки приложений, подобных Си, Си++, Паскаль с использованием большинства стандартных функций MS-DOS, за исключением обращений к BIOS. Перед загрузкой программы в ПЗУ ADAM-4500 (с помощью прилагаемой программы-загрузчика) необходимо предварительно выполнить ее преобразование в коды процессора Am80188 с помощью специальной сервисной программы, входящей в комплект поставки контроллера. Конфигурация системы управления приведена на рис. 6.4.

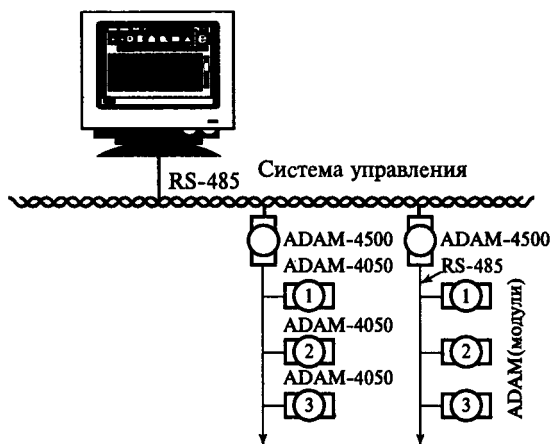


Рис. 6.4. Структурная схема промышленной сети на базе контроллера ADAM-4500

Модуль ADAM-4530 является экономичным преобразователем электрических параметров интерфейса RS-232C в параметры интерфейса RS-485, который предназначен для организации взаимодействия между устройством (устройствами), имеющим порт последовательной передачи данных на базе стандарта RS-485 и работающим в режиме двунаправленного обмена данными, и радиомодемом или модемом для выделенных линий.

Радиомодемы или модемы для выделенных линий применяются в системах сбора данных и управления в случаях, если контролируемый объект расположен на большом расстоянии от центрального компьютера системы либо находится в труднодоступном месте.

*Модем (modem)* — устройство для преобразования цифрового информационного сигнала в аналоговый (модуляция) для передачи по аналоговым линиям связи и обратного преобразования принятого аналогового сигнала снова в цифровой (демодуляция). Согласно определению, модемы всегда связывают два цифровых терминала, например компьютеры.



Модем является периферийным устройством компьютера, который позволяет, например, передавать файл (данные) на другой, удаленный, компьютер по телефонным каналам. Имеют место радиомодемы, которые вместо телефонного канала используют радиоканал.

При работе модем входит в соединение с другим модемом по схеме «точка-точка», поэтому никакой третий модем не может «вклиниться в передачу». При передаче информационного сигнала от одного терминала к другому его необходимо «посадить верхом» на несущую — промодулировать несущую частоту, а в конце пути «ссадить» информацию с несущей — демодулировать.

Исполнение модема: внутренний модем вставляется в компьютер как плата расширения; настольный модем имеет отдельный корпус и размещается рядом с компьютером, соединяясь кабелем с портом компьютера; модем в виде карты миниатюрен и подсоединяется к портативному компьютеру через специальный разъем; портативный модем схож с настольным модемом, но имеет уменьшенные размеры и автономное питание; стоечные модемы вставляются в специальную стойку.

По характеру передачи модемы могут быть синхронными и асинхронными. Имеется в виду передача данных между модемом и терминалом (компьютером). Передача данных между модемами также может быть как синхронная, так и асинхронная.

Асинхронный модем поддерживает только асинхронную передачу. Синхронный модем поддерживает как синхронную, так и асинхронную передачи, т. е. здесь свойство синхронности реализовано как дополнительная возможность.

Обычный проводной модем является двухпроводным, т. е. подсоединяется к одной телефонной линии, которая имеет два провода. Четырехпроводный модем подсоединяется к двум (двухпроводным) линиям. Одна используется только для приема, другая — только для передачи. Эти проводные модемы обеспечивают дополнительно к обмену данными еще обмен ими с факс-аппаратами. Практически все современные модемы для конечных пользователей являются факс-модемами. Такой модем (вместе с программой и компьютером) может заменить факс и даже превзойти его, так как имеется возможность программировать посылку нескольких факсов в заданное время.

SVD-модемы позволяют одновременно с передачей данных вести разговор с помощью телефонной трубки, подключенной к модему, причем в дуплексном режиме.

**Сотовые модемы** — это проводные модемы для использования в мобильной радиотелефонии (сотовая телефонная связь). Эти

модемы используют специальные протоколы и часто имеют портовое исполнение.

Изделие ADAM-4530 представляет собой средство организации связи между радиомодемом/модемом для выделенных линий и УСО, объединенными в сеть на базе стандарта RS-485.

Модуль ADAM-4530 имеет в своем составе микропроцессор, может использоваться для реализации интерфейса между сетью устройств на базе RS-485 и радиомодемом/модемом для выделенных линий. Время переключения приемопередатчика радиомодемом или модемом для выделенных линий довольно велико, при этом требуется наличие отдельного сигнала интерфейса RS-232C. В модуле ADAM-4530 реализована возможность программной установки временных задержек между моментом активизации сигнала включения передатчика радиомодема (RTS) и началом передачи данных модулем в адрес радиомодема.

Основные характеристики: встроенный микропроцессор; скорость обмена до 115 200 бит/с; подавление помех и выбросов напряжения в линии связи; возможность работы при разных скоростях обмена для каждого интерфейса; автоматический контроль линии связи RS-485; наличие сторожевого таймера; индикаторы питания и передачи данных для облегчения поиска неисправностей; наличие места для установки согласующих резисторов; программная настройка на работу в режимах с адресацией или без адресации; возможность монтажа на панель и DIN-рейку.

## 6.12. ДИСПЕТЧЕРСКАЯ ПОДСИСТЕМА

Данные обычно поступают в диспетчерскую подсистему — ПК с установленным на нем специальным ПО. Программное обеспечение диспетчерской подсистемы разработано в среде Delphi и ориентировано на работу под управлением операционных систем Windows 95 или NT. Вся полученная информация обрабатывается и сохраняется в БД.

Диспетчерская подсистема предназначена для накопления и обработки информации, поступающей с объектов. Она представляет собой пакет программ верхнего уровня, устанавливаемый на компьютер в диспетчерской и настраиваемый под установленные узлы сбора данных. Система позволяет в короткие сроки выявлять неисправности и координировать действия обслуживающего персонала на случай аварийных ситуаций. Пакет программ «Диспетчер» имеет открытый интерфейс, что позволяет пользователю при минимальных навыках работы с ПК наиболее полно использовать возможности настройки.

## Основные функции программы

- отображение общего плана — схемы с индикацией объектов диспетчерского контроля;
- отображение схемы и параметров отдельного объекта диспетчерского контроля;
- поддержка базы данных объекта;
- подготовка и отображение настраиваемого пользователем табличного и графического представлений состояния объектов контроля; создание и распечатка отчетов;
- поддержка контроля и сигнализации неисправностей и недопустимых режимов работы объектов контроля;
- использование протокола взаимодействия с подсистемой сбора информации, позволяющего расширять диспетчерскую систему до 1000 узлов учета и обеспечивать передачу объектам команд и конфигурационной информационной информации;
- манипулирование размерами объектов на карте, т. е. масштабирование отдельных участков и управление отображением слоев;
- создание новых и редактирование уже существующих объектов: расположение, конфигурация, настройка отображения;
- просмотр данных от конкретного или нескольких узлов сбора за любой интервал времени суток с выбираемой дискретностью (от одной минуты до одного часа);
- возможность просмотра архивных данных в виде пьезометрических (в зависимости от расстояния) графиков узлов сбора по основным магистралям за определенный интервал времени;
- удаленное управление режимом работы объекта: передача уставок, изменение периода архивации, организация канала прямого доступа; прямой доступ позволяет для одного или нескольких объектов в режиме реального времени получать показания датчиков, что важно, например, при испытаниях;
- поддержка возможности управляющего воздействия оператора через объект на контролируруемую среду;
- специальный режим контроля состояния связи.

Программные средства обеспечивают отображение «географии» размещения производственных объектов с указанием мест расположения пунктов сбора данных и цветовой индикацией состояния каждого объекта. С каждым объектом связана функциональная схема, на которой отображается текущее состояние параметров точек контроля и управления. Поддерживается создание и редактирование структуры пунктов сбора, функциональных схем пунктов, реализуется возможность задавать различные приоритеты опроса каждого пункта. Пользователем настраиваются формы

представления баз данных и архивов, генерации отчетов и построения графиков.

Развитая диагностическая система, в том числе состояния связи, поддержка аварийной и охранной сигнализации, возможность установления прямых каналов связи с объектами позволяют контролировать состояние всей системы, что способствует оперативной локализации неисправностей.

ПО диспетчерской подсистемы может быть запущено на нескольких рабочих станциях в сети с поддержкой общей базы данных.

Таблица 6.1

Технические характеристики рабочих станций

№	Наименование параметра	PC-Pentium
1.	Тип микропроцессора	Pentium II
2.	Тактовая частота, МГц	350
3.	Емкость ОЗУ, Мбит, не более	256
4.	Вторичный КЭШ, Кбайт	512-1024
5.	Тип и размеры видеомонитора, дюйм	SVGA 17—21
6.	Количество видеомониторов	1 или 2
7.	Объем внешней памяти на жестких дисках, Гбайт	Не более 10
8.	Объем памяти на гибких дисках, Мбайт	1,44
9.	Наличие CD-ROM	да
10.	Наличие функциональной клавиатуры	да
11.	Наличие часов РВ	да
12.	Интерфейс связи	Ethernet, Arcnet, RS-232, ИРПС
13.	Конструктивное исполнение: конструктив и габаритные размеры, мм	Шкаф напольный с одним монитором (1240x600x1175); с двумя мониторами (1800x600x1175)
14.	Степень защиты от пыли и брызг	IP 51
15.	Рабочий диапазон температур	от 5 до 35° С

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Назначение микропроцессорной техники в системах управления технологическими процессами.
2. Функциональная организация микропроцессорной системы управления.
3. Классификация аппаратных средств микропроцессорной системы управления.
4. Микропроцессорная установка централизованного контроля и управления.
5. МикроЭВМ.
6. Программируемые микропроцессорные контроллеры (ПМК).
7. Программируемые логические контроллеры (ПЛК).

8. Языки программирования микропроцессоров.
9. Исполнительные устройства.
10. Программно-технический комплекс.
11. Структура и состав микропроцессорных средств управления ТП.
12. Формирование информации и ее достоверность.
13. Устройство связи с объектом.
14. Программное обеспечение работы микропроцессорных средств управления.
15. Интерфейсы последовательной передачи данных.
16. Библиотека программ для работы с последовательными интерфейсами.
17. Техническое обеспечение связи микропроцессорных средств управления.
18. Диспетчерская подсистема.
19. Что такое конфигурация вычислительной системы?
20. Цели программного обеспечения АСУТП.
21. Какие способы организации связи элементов внутри устройств и между ними Вы знаете?
22. Назначение центрального процессора.
23. С какими видами памяти в МП Вы знакомы?
24. Перечислите известные Вам языки программирования.
25. Системы команд МП.
26. Перечислите главные достоинства ПМК.
27. Каково основное назначение ПЛК?
28. Виды исполнительных механизмов и принципы их работы.
29. Какие задачи решаются при автоматизации ТП на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности?
30. Что такое интерфейс? Его назначение.
31. Что такое модемы? Их назначение. Виды.
32. Для чего предназначена диспетчерская подсистема АСУТП?
33. Основные функции диспетчерской подсистемы.

## Глава 7. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Программно-технический комплекс (ПТК) предназначен для формирования информации, ее обработки, хранения и управления объектами посредством микропроцессорных средств в комплексе с межсетевыми структурами, программным обеспечением и сервисными средствами для эксплуатации, поверки, контроля работы, наладки и обслуживания и др.

В последнее время рынок средств автоматизации существенно расширился. Сформировалось семейство изделий, реализованных на компьютерах и платах ввода/вывода, массовое распространение в пищевой промышленности получили РС-совместимые контроллеры, полевые сети нового поколения (на основе HART-протокола), интеллектуальные датчики, подключаемые к полевой сети, в сетях верхнего уровня используется Ethernet (информационная сеть).

Однако, несмотря на разнообразие предложений использования существующих средств для формирования АСУТП, имеет место ряд проблем:

- традиционные многоканальные контроллеры требуют больших затрат на приобретение сопутствующего оборудования (шкафов, кабелей, пультов местного управления) и выполнение проектных и монтажных расчетов;
- при модернизации существующих СУ нет места для размещения шкафов контроллеров в заполненных оборудованием линейных и щитовых помещениях;
- РСУ, построенные на «сетевых» микропроцессорных датчиках и индивидуальных контроллерах на каждое ИУ, оказываются дороги и недостаточно надежны для автоматизации крупных, территориально сосредоточенных объектов (типа хлебобулочных и кондитерских комбинатов, сахарных, спиртовых заводов и т. д.). Их «узким местом» становятся нерезервированная низкоскоростная полевая сеть, затраты на микропроцессорные устройства и др.

Для разрешения указанных проблем требуется компромисс между распределенностью, надежностью и стоимостью ПТК. Обеспечение качественных характеристик ПТК (надежность, функциональность, удобство в эксплуатации и т. п.) должно сопровождаться минимизацией совокупной стоимости внедрения АСУТП. При этом минимизация суммарной стоимости внедрения ПТК при постоянных качественных характеристиках обеспе-

чивает ее долговечность (ремонт и обслуживание за время жизни изделия).

Для достижения требуемого соотношения стоимость — качество ПТК должен состоять из микропроцессорных ПЛК оптимальной информационной мощности, стандартных ПК, сетевого оборудования, ОС, программного комплекса, удобного при эксплуатации, разработке и тестировании задач АСУТП.

Семейство ПЛК, входящее в состав ПТК, должно включать микропроцессорные устройства не менее чем трех типов, каждый из которых необходим для построения оптимальных конфигураций АСУТП. Рассмотрим основные требования к этим контроллерам.

Локальный контроллер (ЛК) — локальное встраиваемое недорогое устройство небольшой информационной мощности (до  $16 \div 24$  условных сигналов, у.с.), имеющее удобное для монтажа и обслуживания конструктивное исполнение и развитые сетевые средства. ЛК предназначен для использования в качестве локальной СУ или удаленного УСО. Он должен быть приспособлен для длительной работы при температурах до  $560^\circ\text{C}$  без принудительной вентиляции (рис. 7.1).

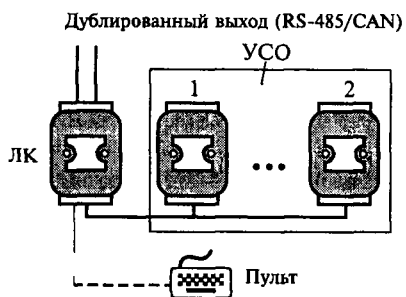


Рис. 7.1. Схема включения ЛК

Из существующих технических решений этим требованиям соответствует комбинация из процессорного модуля на базе Am S01SS или Java-процессора и модуля УСО с клеммниками под сигнальный (объективный) кабель и подсоединенных к нему по локальному цифровому каналу:

- недорогого РС- или Java-совместимого процессорного модуля, позволяющего реализовать виртуальную машину языка высокого уровня, не увеличивая стоимость малого контроллера до экономически нецелесообразного уровня; цифрового кабельного интерфейса межмодульной связи; имеющего небольшие габаритные размеры, при этом канальность каждого модуля УСО обеспечивают необходимую гибкость конструкции и канального состава контроллера;

- набора цифровых интерфейсов (RS-232/RS-485/CAN), установленных на процессорном модуле, обеспечивающих резервированную связь с внешним миром и прямое подключение пульта управления. Для связи со старшими ВУ ПТК желательно использовать современную промышленную сеть стандарта CAN open;

для связи с модулями УСО — RS-485 и поддержку протокола, реализованного в семействе ADAM-4000, что позволяет использовать большое число модулей, совместимых с этой серией.

Стоимость ЛК не должно превышать 200 + 300\$ за процессорный модуль и 100 + 150\$ за модуль УСО.

**Многофункциональный контроллер (МФК)** предназначен как для ввода/вывода сигналов непосредственно через УСО (до 270 у.е.), так и для использования в качестве контроллера группы ЛК. Вычислительные и сетевые ресурсы МФК аналогичны ресурсам контроллера группы ЛК, за исключением необходимости дублирования сети с ЛК, так как наиболее ответственные сигналы могут вводиться непосредственно через УСО контроллера; ПО МФК должно быть полностью совместимо с ПО контроллера ЛК.

Пульты управления предназначены для контроля, настройки и программирования контроллеров всех типов, входящих в ПТК. Для наиболее комфортного выполнения этих операций требуются пульты 4-х типов, каждый из которых подключается через СОМ-интерфейс к любому контроллеру ПТК. Подключение производится без выключения контроллера и настройки связи. Важнейшим свойством всех пультов «идеального ПТК» является поддержка интерфейса с оператором на предметно-ориентированном языке.

**1. Пульт карманного размера** обеспечивает возможность просмотра значений параметров, их изменения, выдачи команд управления, их текстового меню, настройки коэффициентов. Снабжен функциональной клавиатурой и небольшим индикатором (как у ПЛК «Протар», ТКМ-21). Пульт предназначен для наладчиков и инженеров контрольно-измерительной аппаратуры.

**2. Пульт персонала АСУ** обеспечивает те же возможности, что и предыдущий, и дополнительно конфигурирование ПО.

**3. Пульт блока местного управления (БМУ)** предназначен для операторов-технологов как средство местного и резервного управления, используется при выполнении ремонтно-наладочных работ и в случаях отказа верхних уровней АСУТП.

**4. Notebook** с комплектом инструментального ПО используется для выполнения любых операций с ПО контроллеров, вплоть до полной его замены.

**Программное обеспечение ПТК включает:**

- ОС вычислительных узлов;
- драйверы и тестирующие программы (в том числе выполняющиеся без остановки ППР);
- системы реального времени (СРВ) для вычислительных узлов всех типов;
- инструментальное ПО для разработки прикладных программ и их конфигураций.



## Операционные системы (ОС)

Многоуровневость структуры ПТК и различие в характеристиках ВУ вынуждает использовать несколько ОС:

- в ЛК могут быть DOS, Windows CE, Java VM (следует выбрать одну из них на стадии разработки устройства);
- в МФК — Linux, Windows CE или DOS;
- на АРМ оператора — Windows (основной вариант), Linux (для упрощения эксплуатации на объектах, где установлены контроллеры Linux);
- на серверах АСУТП — Windows NT Server, Novell Netware, Linux (по выбору покупателя).

## Драйверы и тестирующие программы

Все типы вычислительных узлов системы снабжаются набором драйверов для ОС и тестов реального времени (РВ).

Драйверы поддерживают модули УСО, пульта, подключаемые к каналу RS-232, сетевые ресурсы контроллеров.

В состав комплекса входят программы тестирования для имитации и отладки управляющих программ и информационных функций системы.

СРВ исполняет ППР, обеспечивая их взаимодействие между собой и с окружением. Частными случаями СРВ являются исполняющая система для контроллера и SCADA — для АРМ оператора.

Для эффективного развития системы, т. е. снижения совокупной поэтапно внедряемой системы должна обеспечиваться совместимость СРВ узлов всех типов «снизу вверх» на уровне пакета прикладных программ (ППП). СРВ должна обеспечивать реализацию всех функций АСУТП.

**ПТК должен содержать следующие типы СРВ:**

- SCADA — для АРМ операторов, инженеров АСУ, руководителей (используется также для создания дополнительных событийных, архивных, расчетных и других станций);
- СРВ — для РС-совместимых контроллеров.

## Инструментальное ПО

Сильная распределенность вычислительных ресурсов АСУТП предъявляет жесткие требования к инструментальному ПО комплекса, так как при переходе от традиционной структуры АСУТП, построенной на многоканальных контроллерах с большим числом встроенных или удаленных модулей УСО, к распре-

деленной АСУТП число вычислительных узлов возрастает на порядок. Инструментальное ПО комплекса должно обеспечивать простоту и эффективность процесса создания АСУТП с числом контроллеров более 100, что может быть достигнуто с помощью современных технологий системного проектирования.

### **Подсистемы с особыми требованиями**

В интегрированной АСУТП выделяется несколько подсистем с особыми требованиями по быстродействию и надежности. Распространение повышенных требований на все элементы ПТК приводит к неоправданному завышению стоимости комплекса, поэтому в состав ПТК должны быть включены подсистемы, содержащие специально-технические средства для решения подобных задач. Для технологических объектов такими задачами являются обработка сигналов по состоянию технологического оборудования и реализация функций защиты и регистрации аварийных ситуаций (РАС).

Подсистема защиты технологического оборудования и РАС должна быть реализована в виде комплексно-поставляемого микропроцессорного устройства для конкретного технологического объекта; ПО должно обеспечивать широкие возможности настройки в пределах, допускаемых нормативными документами по микропроцессорной реализации таких функций. Подсистема технических средств должна быть унифицирована с МФК. Такая реализация РАС и защиты обеспечивает:

- использование устройства как в составе АСУТП технологического объекта, так и независимо;
- высокую надежность микропроцессорной реализации защиты без увеличения стоимости АСУТП объекта;
- удобство обслуживания устройств в АСУТП, имеющих единый компонентный состав;
- внедрение на любом этапе модернизации АСУТП.

### **7.1. ПТК ДЛЯ АСУТП**

Все выпускаемые универсальные микропроцессорные ПТК подразделяются на классы, каждый из которых выполняет определенный набор функций, начиная с простейшего класса, соответствующего управлению различными объектами производства, и заканчивая классом, который охватывает задачи планирования и управления всем предприятием.

## 1. Контроллер на базе ПК

Это направление бурно развивается в последнее время в плане повышения надежности ПК, наличия их модификаций, открытой архитектуры, доступности включения в них любых блоков ввода/вывода; возможности использования широкой номенклатуры ПО (например, ОС, РВ, БД, ППП контроля и управления).

Сферы применения контроллеров на базе ПК — специализированные системы автоматизации в научных лабораториях, средствах коммуникации, для небольших замкнутых объектов в промышленности. Количество входов/выходов такого контроллера — несколько десятков, а функции позволяют осуществить достаточно сложную обработку измерительной информации с последующим расчетом управляющих воздействий. Область применения контроллеров на базе ПК определяют исходя из следующих условий:

- При наличии нескольких входов и выходов объекта необходимо осуществить большой объем вычислений за достаточно малый интервал времени, т. е. необходима большая вычислительная мощность;

- Средства автоматики обычно работают в условиях окружающей среды, не слишком отличающихся от условий работы обычных ПК.

- Нет необходимости в использовании контроллера.

- Реализуемые контроллером функции целесообразно программировать не на одном из специальных технологических языков, а на языке программирования высокого уровня типа Си++, Pascal.

- Требуется мощная поддержка работы операторов, такая же, как в обычных контроллерах: диагностика, устранение неисправности без остановки работы контроллера, модификация ПО во время работы системы автоматизации.

На рынке контроллеров на базе ПК в России успешно работают: Advantech, Analog Devices, Octagon и др. Многие российские фирмы закупают компьютерные платы и платы ввода/вывода этих фирм и собирают из них контроллеры (например, Прософт).

## 2. Локальный ПЛК

В настоящее время нашли применение несколько типов ПЛК:

- встраиваемый в оборудование и являющийся его неотъемлемой частью (например, станки с ЧПУ, современные поточные линии в хлебопекарной, кондитерской и других отраслях пищевой промышленности, современные аналитические приборы и др.);

- автономный, реализующий функции контроля и управления небольшим, в основном, изолированным технологическим объектом.

Разработаны встраиваемые контроллеры без специального кожуха, которые монтируются в общий корпус оборудования, а автономные контроллеры помещаются в защитные корпуса, рас-

считанные на различные условия эксплуатации. В основном эти контроллеры имеют порты, соединяющие их в режиме «точка-точка» с другой аппаратурой, и интерфейсы, которые через сеть связывают их с другими средствами автоматизации (диспетчерскими системами, РСУ, пультами операторов и т. п.). В такой контроллер также встраивается или подключается панель ЧМИ, состоящая из дисплея и функциональной клавиатуры.

Выпускаются специальные типы контроллеров для аварийной защиты процессов и оборудования, которые отличаются высокой надежностью, быстродействием и живучестью. В них предусмотрены различные варианты полной диагностики и резервирования как отдельных компонентов, так и всего контроллера в целом. Отметим следующие распространенные варианты резервирования:

- горячий резерв всех компонентов и/или контроллера в целом (при непрохождении теста в рабочем контроллере управление безударно переходит ко второму контроллеру);
- троирование основных компонентов и/или контроллера в целом с «голосованием» результатов обработки сигналов всех контроллеров (за выходной сигнал принимается тот, который дало большинство, а контроллер, выдавший другой результат, объявляется неисправным);
- работа по принципу «пара и резерв»; параллельно работает пара контроллеров с голосованием результатов, а аналогичная пара находится в горячем резерве; при выявлении разности результатов работы первой пары управление переходит ко второй; первая пара тестируется, и, если выявляется наличие случайного сбоя, тогда управление возвращается к ней, либо выявляется неисправность, и управление остается у второй.

Контроллеры данной группы рассчитаны на десятки входов/выходов от датчиков и ИМ; их вычислительная мощность невелика; они реализуют простейшие типовые функции обработки измерительной информации, логического управления, регулирования.

Зарубежные фирмы работают в настоящее время в секторах рынка:

- Siemens — с контроллерами сер. C7-620;
- General Electric Fanuc Automation — с контроллерами сер. 90 Micro;
- Schneider Automation — с контроллерами серии Micrologic 1000.

### **3. Сетевой комплекс контроллеров**

Этот класс ПТК является наиболее широко внедряемым средством управления ТП во всех отраслях промышленности.

Минимальный состав ПТК включает ряд контроллеров, несколько дисплейных пультов операторов, промышленную сеть, соединяющую контроллеры и пульта между собой.

Контроллеры определенного сетевого комплекса обычно содержат ряд модификаций, отличающихся друг от друга мощностью, быстродействием, объемом памяти, возможностями резервирования, приспособлением к разным условиям окружающей среды, максимальным числом каналов входов/выходов.

Это облегчает использование сетевого комплекса для разнообразных технологических объектов, так как позволяет достаточно точно подобрать контроллеры требуемых характеристик под отдельные узлы автоматизируемого агрегата и разные функции контроля и управления.

Для дисплейных пультов почти всегда используются разнообразные ПК в обычном или промышленном исполнении с клавиатурами — обычный алфавитно-цифровой и специальный функциональный с одним или несколькими мониторами, имеющими большой экран.

Промышленная сеть может иметь различную структуру: шину, кольцо, звезду; она часто подразделяется на сегменты, связанные между собой *маршрутизаторами*. Информация, передаваемая по сети, достаточно специфична — это ряд как периодических, так и случайных во времени коротких сообщений. К их передаче предъявляются определенные требования: сообщения не могут быть потеряны (должна быть гарантия их доставки адресату); для сообщений высшего приоритета (например, относительно данных) должен быть гарантирован интервал времени их передачи.

В меньшей степени этим требованиям соответствует метод случайного доступа к сети, при котором в случае возникновения случайной ситуации и, как ее следствия, одновременно резкого увеличения числа экстренных сообщений, которые должны пройти через сеть, может возникнуть затор в сети. Это приведет к потере отдельных сообщений, а не только к задержке их доставки адресату.

Сетевые комплексы контроллеров имеют верхние ограничения как по сложности выполняемых ими функций (измерение, контроль, учет, регулирование, блокировка), так и по объему самого автоматизируемого объекта в пределах тысяч измеряемых и контролируемых величин (отдельный технологический агрегат). Большинство зарубежных фирм поставляет сетевые комплексы контроллеров (порядка сотен входов/выходов): DL205, DL305 фирмы Koyo Electronics; TSX Micro фирмы Schneider Automation; SLS-500 фирмы Rockwell Automation; COM1 фирмы Omron.

#### **4. PCY малого масштаба**

Этот класс микропроцессорных средств превосходит большинство сетевых комплексов контроллеров по мощности и сложности выполняемых функций, но имеет ряд ограничений по объему автоматизируемого производства. Основные отличия этих средств от сетевых комплексов контроллеров заключаются в несколько большем разнообразии модификаций контроллеров, блоков ввода/вывода, панелей оператора; большей мощности центральных процессоров, позволяющих им обрабатывать более 10 000 входных/выходных сигналов; выделении удаленных блоков ввода/вывода, рассчитанных для применения в различных условиях окружающей среды; более развитой и гибкой сетевой структуре. В основном они имеют несколько уровней промышленных сетей, соединяющих контроллеры между собой и с пультами операторов (например, нижний уровень, используемый для связи контроллеров пультом отдельного компактно расположенного технологического узла, и высший уровень, реализующий связи средств управления отдельных узлов друг с другом и с пультом оператора).

Сетевая структура традиционно развивается в направлении создания полевых сетей, соединяющих отдельные контроллеры с удаленными от них блоками ввода/вывода и интеллектуальными приборами (датчиками и ИУ). Такие достаточно простые и дешевые сети позволяют передавать информацию между контроллерами и полевыми приборами в цифровом виде по одной витой паре, что значительно сокращает длину кабельных сетей и уменьшает влияние помех.

Маломасштабные PCY охватывают отдельные цеха и участки производства и в дополнение к обычным функциям контроля и управления часто могут реализовывать более сложные и объемные алгоритмы управления (статическую и динамическую оптимизацию объекта). Эти алгоритмы в зависимости от объема и динамики реализуются либо в самих контроллерах, либо в вычислительных мощностях пультов операторов.

Примеры маломасштабных PCY: Control Logic фирмы Rockwell Automation; Simatic S7-400 фирмы Siemens; TSX Quantum фирмы Schneider Automation.

#### **5. Полномасштабные PCY**

Это наиболее мощный класс микропроцессорных ПТК, практически не имеющий границ по выполняемым функциям и по объему автоматизируемого объекта. Одна такая система может использоваться для автоматизации производственной деятельности крупномасштабного предприятия.

Данный класс ПТК включает все особенности перечисленных микропроцессорных средств управления и дополнительно имеет ряд средств, влияющих на возможности их использования:

- наличие промышленных сетей, позволяющих подсоединять к одной шине сотни узлов (контроллеров и пультов) и распределять их на значительные расстояния;

- существование модификаций контроллеров, наиболее мощных по вычислительным возможностям, что позволяет кроме обычных функций реализовать в них сложные и объемные алгоритмы контроля, диагностики и управления;

- широкое использование информационных сетей (Ethernet) для связи пультов операторов друг с другом, с сервером БД, для взаимодействия ПТК с сетью предприятия и построения управляющих центров (планирования, диспетчеризации, оперативного управления);

- взаимодействие пультов управления в режиме клиент — сервер;

- в составе пакетов прикладных программ, реализующих функции управления отдельными агрегатами (многосвязного регулирования, оптимизации и т. д.), диспетчерского управления участками производства, учета и планирования производства в целом.

Примеры фирм: АББ — Symphony; Honeywell — TPC и Plant Scape; Valmet — Damatic XDi; Yocogava — Centrum CS, Foxboro — 1/A Series, Fischer — Rosemount — Delta-V и др.

Следует учесть, что эта классификация носит приближенный характер. Четких границ между классами ПТК не существует, а в последнее время они еще более размываются, так как открытость и стандартность отдельных компонентов этих комплексов позволяет компоновать их из разных средств, соединять различными типовыми сетями и создавать систему управления из отдельных компонентов, выпускаемых различными фирмами и относящихся к различным классам.

## **7.2. МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПТК**

При выборе конкретного ПТК, обобщенная схема которого представлена на рис. 7.2, необходимо знать общие тенденции развития ПТК, чтобы не приобрести морально устаревший комплекс.

Если выбранный ПТК удовлетворяет всем сегодняшним требованиям по автоматизации конкретного объекта, но он недостаточно современен, то это может в дальнейшем при его эксплуа-

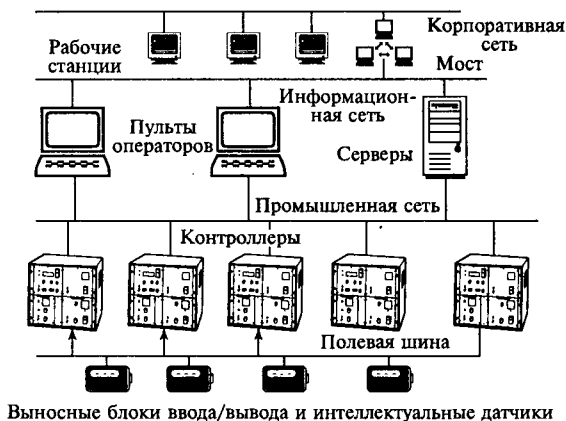


Рис. 7.2. Обобщенная схема ПТК

тации (а срок службы приобретаемого комплекса должен быть больше 10 лет) привести к нежелательным последствиям:

- затруднениям при его модернизации, расширении, связях с другими средствами, приобретаемыми в будущем;
- недостаткам возможностей при реализации в дальнейшем более совершенных алгоритмов;
- повышенным затратам на его эксплуатацию.

Поэтому необходимо при оценке ПТК (на этапе выбора для заказа) иметь четкие представления о современности предлагаемых вариантов, а значит, учитывать существующие мировые тенденции их развития.

Сегодня рынок средств промышленной автоматизации производства характеризуется:

- высокой конкуренцией сотен фирм, выпускающих однотипные средства автоматизации и распространяющих их в разных странах;
- наличием как очень крупных разработчиков средств, так и достаточно мелких системных интеграторов, зачастую предлагающих продукцию близкого качества;
- быстрым развитием микропроцессорных элементов, позволяющих производителям ПТК модернизировать технические средства каждые несколько лет;
- существованием международных организаций и объединений крупных фирм, работающих в области унификации средств автоматизации.

Все указанные черты определяют основные свойства различных выпускаемых программных и технических средств: они могут



стыковаться со многими средствами старых, уже эксплуатируемых систем, сравнительно легко взаимодействующих с разными средствами других фирм, более просты в разработке, внедрении и эксплуатации.

Дальнейшее углубление и совершенствование этих свойств прогнозируется и на ближайшие годы, чему способствуют основные направления развития программных и технических средств:

- международная типизация и стандартизация отдельных программных и технических средств, повышающая их качественный уровень и облегчающая взаимодействие средств разных фирм; типизация является основой развития и совершенствования всех видов средств, охватывая все большее число разных характеристик, имеющих важное значение для пользователей;

- открытость программных и технических средств разных фирм друг другу, унифицирующая их интерфейсы; такая тенденция позволяет заказчику не быть заложником фирм, продукция которых уже используется на предприятии; при каждой модификации СА или их расширении благодаря этому свойству заказчик может выбирать новые средства из всего спектра продукции, представленной на рынке при условии наличия у новых уже эксплуатирующихся средств открытых интерфейсов;

- модульность построения отдельных средств, позволяющая производить сборку конкретных средств и систем с индивидуальными свойствами из набора типовых модулей;

- развитие этой тенденции, наряду с открытостью и стандартизацией, позволяет системным интеграторам собирать из готовых модулей разных производителей необходимые системы управления.

Все это приводит к простой и качественной интеграции разнообразных средств и СА, что позволяет строить систему управления производством методом постепенного наращивания и стыковки отдельных частных систем.

Поэтому ПТК может быть собран следующим образом:

- сборка контроллеров под заданные конкретные свойства и параметры из стандартных плат VMEbus;

- помещение их в конструктивы Евростандарта, соответствующие заданным условиям окружающей среды;

- подбор в контроллеры мезонинных блоков ввода/вывода, соответствующих имеющимся на объекте датчикам и ИМ;

- использование промышленной сети Profibus DP;

- закупка пультов операторов ПК требуемой мощности и необходимого промышленного исполнения под заданные условия окружающей среды;

- связь пультов операторов между собой и с корпоративной сетью предприятия по информационной сети Ethernet;

- применение типовых ОС для пультов операторов — Windows NT, а для контроллеров — OS-9;

- использование типового прикладного ПО для пультов операторов — открытой SCADA-программы (например, FLX фирмы Intellution), для контроллеров — стандартных технологических языков (например, ISaGRAF фирмы CJ International).

Дальнейшее развитие ПТК должно привести:

- к возрастанию числа специализированных фирм, выпускающих не сами ПТК, а их стандартизированные программные и технические модули и отдельные элементы;

- увеличению числа и усилению роли системных интеграторов на рынке средств СА;

- повышению качества, снижению себестоимости и упрощению обслуживания отдельных программных и технических средств;

- упрощению всех работ по модернизации и расширению существующих систем контроля и управления в производстве;

- облегчению стыковки любых вновь закупаемых программных и технических средств автоматизации с имеющимися на предприятии.

### **7.3. ПТК «КАСКАД» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСУТП**

Рассмотрим особенности, техническую структуру, драйверы, модули, диалоговую среду, кросс-систему, сферу применения и сетевые возможности разработанного новочебоксарским ПО «Химпром» ПТК «Каскад».

*Назначение и состав:* ПТК «Каскад» предназначен для построения и функционирования АСУТП с использованием микроконтроллерной техники отечественного и зарубежного исполнения и рабочих станции, в качестве которых используются IBM-совместимые ПЭВМ как обычного, так и промышленного исполнения.

АСУТП имеет иерархическую структуру. Система включает:

- датчики и исполнительные механизмы (ИМ) объекта управления;

- микропроцессорные контроллеры (или их сети);

- автономные рабочие станции (РС) или РС, объединенные в сети LAN высокого уровня. В этом случае используют РС-совместимый компьютер.

Микроконтроллеры, с одной стороны, связаны с датчиками и ИМ объекта управления, которые в зависимости от типа ПЛК могут быть объединены в сети, с другой — по интерфейсным каналам ПЛК связаны с РС. Функционально ПЛК осуществляют сбор технологической информации от датчиков и выполняют все функ-

ции по оперативному управлению ТП как на основе внутренних алгоритмов управления, так и команд, поступающих с уровня РС.

В составе ПТК «Каскад» могут применяться следующие типы ПЛК и средства:

- Ремиконт (Р-110, -112, -120 и -122);
- Ломиконт (Л-110, -112, -120 и -122);
- Ремиконт 130 (Р-130, РК-131);
- Контраст (РК-300, КР-300, Контраст);
- Адам (Адам-4000, -5000);
- измерительные преобразователи типа ИП-Т20, -С20.

Для связи РС с ПЛК используются как стандартные, так и специализированные комплекты средств связи (КСС). К одной РС максимально можно подключить до 8 ПЛК или их технологических сетей. РС функционально делятся на управляющие и информационные.

Управляющие РС (УРС) по интерфейсным каналам связаны непосредственно с микроконтроллерами или их технологическими сетями и выполняют весь комплекс информационных и управляющих функций АСУТП. На их основе строятся АРМ операторов-технологов, выделенные инженерные станции и т. п.

Информационные РС (ИРС) могут быть не связаны с микроконтроллерами, а выполняют только информационные функции АСУТП. Как ИРС могут быть, например, построены архивные РС, АРМ технолога, инженера КИП и А и т. п. Все РС, независимо от функциональных возможностей, работают в стандартных ЛВС и могут находиться как в одном, так и в разных ее сегментах.

Программное обеспечение для создания РС строится на модульном принципе и обеспечивает практически все функции по построению и функционированию АСУТП. УРС работают только в среде MS-DOS как наиболее устойчивой и живучей ОС, тогда как ИРС могут строиться на различных операционных платформах (DOS, Win3.x, Win9.x, Win NT). В стандартный набор программных модулей РС входят:

- драйвер сбора и регистрации данных (СРД);
- диалоговая среда контроля и управления (ДСКУ);
- модуль сигнализации и регистрации событий;
- кросс-система для технологического программирования ПЛК;
- экспорт и графическая визуализация БД;
- псевдографический специализированный редактор;
- набор дополнительных вспомогательных программ и утилит.

При работе с ПЛК серии Р-130 связь с сетью «Транзит» обычно осуществляется через дополнительное устройство, называемое «Шлюз». Для устранения недостаточной надежности этого

устройства и увеличения быстродействия обмена с сетью разработано ПО, которое позволяет исключить шлюз как устройство из сети, полностью передавая его функции на УРС.

### **Особенности ПТК «Каскад»**

ПТК «Каскад» позволяет реализовать все стандартные функции АСУТП в обобщенном виде, имеет диалоговую систему, которая быстро и без специальных знаний по методам и языкам программирования настраивается на конкретный объект управления, контекстную помощь. Единственное требование — умение работать в псевдографическом или графическом редакторе, входящем в состав поставляемого пакета программ.

С помощью такого ПТК можно в кратчайшие сроки и без особых усилий создать гибкую многофункциональную АСУТП, удовлетворяющую потребностям промышленного производства.

Максимальные надежность, быстродействие и защита от несанкционированного доступа достигнуты путем избирательного дублирования контроллеров и РС, объединенных по каналам в сеть, а также за счет применения специальных методов программирования, исключающих избыточность.

Полный набор инструментальных средств обеспечивает постоянную модернизацию АСУТП без специальных перерывов в работе технических и программных средств. Программное обеспечение позволяет работать одновременно с любыми другими приложениями и пакетами программ, сохраняя свои функции по регистрации, защите, блокировке и сигнализации нарушений параметров ТП.

Комплекс надежно сохраняет «историю» развития ТП в полном объеме и позволяет периодически экспортировать информацию о предыстории развития аналоговых и дискретных параметров в формате DBF-файлов на гибкие магнитные диски для хранения или использования при разработке логических и математических моделей объектов управления. Разработаны развитые подсистемы визуализации полученных архивов DBF в виде графиков аналоговых и дискретных параметров в МРВ, исследования и выдачи на печать.

В качестве универсального интерфейса пользователя применяется стандартная клавиатура РС и мышь; имеется возможность, в случае необходимости, разработки специальной технологической клавиатуры. ПТК открыт для расширения как по типам ПЛК, так и по специфическим требованиям АСУТП; он может быть использован для создания узлов технического учета энергетики и материальных потоков.

## Комплект средств связи

Комплект средств связи предназначен для интерфейсной связи между ПЛК или их технологическими сетями и РС.

В качестве аппаратуры КСС могут применяться:

— адаптер дистанционной связи (АДС), преобразующий сигналы последовательного порта РС СОМ в стандарты интерфейсов ИРПС (токовая петля 20 мА) или RS-485, и наоборот; в качестве АДС могут использоваться, например, модули ПТИ-1, ПТИ-2 из номенклатуры контроллеров серии «Контраст»;

— модуль коммутации интерфейсов (МКИ), представляющий собой мультиплексор на 4, 8 или 16 каналов; он преобразовывает сигналы RS-232С в стандарт ИРПС; в качестве источника сигналов RS-232С используется один из последовательных портов РС;

— модуль расширения последовательных портов (МРПП), который позволяет дополнительно в РС установить до 8 независимых последовательных портов с преобразованием их сигналов RS-232С в стандарты ИРПС или RS-485; МРПП настраивается на 4 различных диапазона базовых адресов и использует один аппаратный уровень прерывания из ряда 3,4,5, 10,11 и 12; все каналы МРПП работают параллельно;

— индивидуальная настройка каждого из 8 каналов связи с указанием базового адреса последовательного порта и используемого аппаратного уровня прерывания; она позволяет в качестве КСС использовать практически любую аппаратуру, вырабатывающую интерфейсные уровни сигналов, удовлетворяющие уровням интерфейсных сигналов ПЛК. Все интерфейсные каналы должны быть гальванически развязаны от цепей питания РС и ПЛК. Список КОС может быть расширен по желанию заказчика.

## Драйвер сбора и регистрации данных

Драйвер СРД устанавливается только на РС, работающих под DOS, как управляющих, так и информационных. Драйвер является резидентной программой и не влияет на работу в среде DOS любых других корректных программ и приложений.

Драйвер обеспечивает выполнение следующих функций:

- инициализации драйвера;
- периодического опроса ПЛК и формирования оперативных массивов данных;
- ведения временной БД;

- реализации интерфейса связи ПЛК с задачами верхнего уровня ПТК и интерфейса чтения временной БД;
- поддержки сетевого протокола в рамках ЛВС (периодического опроса сетевых УРС, ведения временной БД и организации связи с задачами верхнего уровня ПТК, решаемых на РС в пределах ЛВС). Набор функций драйвера СРД оговаривается заказчиком.

### **Модуль сигнализации и регистрации событий**

Программный модуль сигнализации и регистрации событий (СРС) является резидентной задачей и служит для составления протокола о всех нарушениях технологического регламента и действиях оперативного персонала по ведению ТП.

При выходе параметров ТП за уставки необходимо информировать об этом оператора звуковой сигнализацией через встроенный динамик РС или звуковой мультимедийный набор, если он установлен (звуковая карта + колонки). Одновременно модуль СРС является универсальным шлюзом по обеспечению массивами проектного информационного обеспечения для систем управления с иерархической конфигурацией технических и программных средств. Выполнение задачи носит оперативный характер; состав функций модуля может быть расширен по требованию заказчика.

### **Диалоговая среда контроля и управления**

Диалоговая среда контроля и управления (СКУ) реализует все стандартные для АСУТП типы обработки параметров, в том числе индикацию и обработку АРМов, непрерывное и дискретное управление, программируемые и конфигурируемые функции управления.

Ориентация на определение логического параметра, использование рекурсии в отношении связей между параметрами и способами их обработки позволяют при минимальной изобретательности осуществить богатый набор нестандартных способов обработки данных, включая вычисления по формулам-алгоритмам пользователя и генерацию отчетов в свободном формате. Встроенные в СКУ алгоритмы математической аппроксимации и пересчетов выдержаны в стиле действующих стандартов и СРД, характеризуются минимальными погрешностями и не требуют большого числа расчетных итераций.

Настройка ПТК на конкретный объект проводится в диалоговом режиме с применением системы меню, контекстной помощи

с защитой от некорректных действий, предполагается свободное конфигурирование параметров процесса, привязка логических параметров к функциональным схемам, видеокадрам и выходным формам документов в необходимом варианте реализации СУ.

Входной информацией для диалоговой среды являются:

— сформированные драйвером СРД массивы оперативных данных и временная БД в кодовом представлении;

— паспорта на все виды используемых в системе управления входных и выходных сигналов процесса (регламентируют нормативно-справочную информацию, алгоритмы типовой первичной и вторичной обработки сигналов);

— статические функциональные схемы, видеокадры, формы входных и выходных документов;

— параметрическая привязка видеокадров к конкретным паспортам;

— данные ручного операторского ввода.

Статическая часть видеокадров и форм выходных документов формируется пользователем с помощью псевдографического, графического и любого текстового редактора.

Графические изображения строятся на основе стандарта УЕА5 в режиме 256-цветной палитры с максимально допустимым разрешением экрана конкретной ПЭВМ.

Ведение системы паспортов и параметрическая привязка их к видеокадрам осуществляются непосредственно в диалоговой среде контроля и управления.

Выходная информация включает в себя реализацию следующего инструментария (панели):

— щитовых приборов — тренды аналоговых параметров;

— общего вида — обзоры, тревоги, сигналы;

— мнемосхем — функциональные схемы объекта с возможностью оперативного управления;

— управления — работа с контурами регулирования и их параметрами;

— оперативных сообщений — протокол событий и действий оператора;

— гистограмм — цифровые значения аналоговых параметров;

— предыстории развития параметров — графики аналоговых и состояния дискретных сигналов с возможностью визирования и изменения масштабов;

— рапортов — формирование, выдача обработанной отчетной технологической информации;

— параметров ручного ввода — диалоговый ввод значений параметров.

Кроме того, выходная информация содержит диагностику ошибок драйвера СРД — визуализацию буфера ошибок и сообщений.

Направление потоков информации: экран РС, печатающее устройство или файл — задается по каждой панели при функционировании.

## **Кросс-система для технологического программирования ПЛК**

Кросс-система является сервисной программой и предназначена для программирования ПЛК по их интерфейсным каналам связи. Программа может работать как через интерфейс драйвера СРД, так и автономно, создавая свой собственный интерфейс с ПЛК.

Кросс-система обеспечивает следующие функции по программированию ПЛК и устройств:

- оперативное изменение технологических программ и любых параметров ПЛК;
- восстановление рабочего состояния ПЛК после длительных остановов, сбоев и ремонта;
- автономную подготовку конфигураций и технологических программ для последующей их загрузки в ПЛК;
- быстрое тиражирование однотипных конфигураций и технологических программ;
- тестирование ПЛК и интерфейсных каналов связи;
- полную эмуляцию пульта Ломиконта с дополнительными функциями по изменению программ пользователя (ПРП) в ПЛК.

Для ПЛК серии Ломиконт разработана интегрированная среда разработки (ИСР) технологических программ на базе языка МИКРОЛ с функциями загрузки и редактирования символьного текста ПРП, компиляции их исходного текста в загрузочный формат ПЛК, рекомпиляцию из загрузочного формата в символьный листинг, печати исходных текстов программ.

Программное обеспечение для эмулятора пульта Ломиконта может поставляться как отдельный продукт и полностью исключает использование устройства МПВП.

Для сети «Транзит» контроллеров серии Р-130 разработано ПО «Инженерный пульт Р-130» с функциями:

- оперативной загрузки, выгрузки программ и конфигураций;
- табличного редактирования с полным контролем ошибок конфигураций и программ;
- печати программ и конфигураций;
- изменения системных и приборных параметров;



- обслуживания оперативного изменения входов и выходов алгоблоков, параметров контуров регулирования в режиме «Работа»;
- использование оперативной выборочной регистрации сигналов.

### **Пакет ПО «Инженерный пульт Р-130»**

На базе пакета ПО «Инженерный пульт Р-130» строится кросс-система сети «Транзит» для контроллеров серии Р-130. Кросс-система представляет собой программный пакет, предназначенный для разработки и наладки технологических программ контроллеров Р-130 и для их конфигурирования и технического обслуживания при создании на его базе систем контроля и управления.

Основные особенности и функциональные возможности по инженерному обслуживанию:

- работа как без использования блока шлюза (БШ), так и с его использованием со всеми версиями встроенного ПО Р-130, имеющими различные протоколы обмена по интерфейсным каналам связи;

- создание, редактирование технологической программы на ПЭВМ для контроллера, быстрая загрузка и выгрузка программ в любой Р-130 сети «Транзит», сохранение в файле как программ, так и необходимых параметров конфигурации контроллера;

- работа на любых IBM PC-совместимых компьютерах, имеющих асинхронные порты СОМ. Разработки ОАО «Химпром» (г. Новочебоксарск), ООО «АББ Реле Чебоксары» (Москва) на базе контроллерной техники фирмы «АББ» и SCADA-системы «Каскад» разработки ОАО «Химпром» обеспечивают:

- увеличение в 3 + 4 раза скорости обмена с контроллерами Р-130 по сравнению с обменом через серийно выпускаемое оборудование БШ-1.

Увеличение скорости достигается в результате:

- работы с использованием последовательного канала на скорости 9600 Бод (через БШ-1 — всего 4800 Бод);

- при обмене с контроллерами Р-130 через БШ-1 для устойчивой работы шлюза не рекомендуется посылать сообщение через него, пока не будет получен ответ на предыдущее сообщение, во избежание его «зависания»;

- при обмене с контроллерами Р-130 через АДС можно посылать сообщение всем контроллерам одновременно в режиме полного дуплекса.

«Инженерный пульт Р-130» представляет собой программный пакет с функциями:

- чтения и записи в контроллер Р-130 технологической программы;
- табличного редактирования технологической программы;
- сеансовой архивации и просмотра технологических параметров;
- настройки алгоблоков в режиме непрерывного обмена с контроллером;
- регулирования и дополнительного сервиса.

SCADA-система «Каскад» может базироваться на эмуляторе БШ или поставляться в стандартном варианте с реализацией всех функций АСУТП. В случае заинтересованности высылается компакт-диск с демонстрационными материалами.

#### **7.4. ПРОДВИНУТЫЕ ПТК ДЛЯ АСУТП**

Отечественный рынок АСУТП обладает в настоящее время огромным количеством ПТК самого разного назначения, внедренных во многих отраслях промышленности. Ряд отечественных фирм выпускают собственные унифицированные комплексы: Квинт (НИИ Теплоприбор, г. Москва), САРГОН (НВТ-Автоматика, г. Москва), Техноконт (Техноконт, г. Москва), Автонит (Автонит, г. Санкт-Петербург), КРУГ (Круг, г. Пенза), ИСА (Инсист — Автоматика, г. Омск), СТАРТ (Старт, г. Заречный), СТАЛКЕР (Системотехника, г. Иваново), Каскад (г. Чебоксары), украинские Униконт, Квантор (г. Северодонецк), МСКУ (Импульс, г. Северодонецк) и др. На базе этих ПТК, а также путем интеграции различных КТС фирмами-интеграторами и самими промышленными предприятиями создаются и успешно внедряются АСУ различного уровня и функциональной достаточности. В настоящее время идет широкая модернизация действующих систем.

##### **7.4.1. ПТК — «КРУГ-2000»**

Комплекс «Круг-2000» разработан и выпускается фирмами: НПФ «КРУГ» (г. Пенза), «ИНЕКО-А» (г. Москва), «TREI GMBH» (г. Штутгарт), ООО «ТРЕИ ГМБХ» (г. Пенза).

Комплекс «КРУГ-2000» — это первый на отечественном рынке средств автоматизации опытный ПТК, обеспечивающий компоновку промышленных и технических средств по формуле: сертифицированный ПТК «КРУГ-2000» = пакет программ «КРУГ-2000» + любой сертифицированный контроллер. Первые АСУТП серии «КРУГ» создавались по формуле: пакет программ серии «КРУГ»

(КРУГ-100, -200, -300, -1000) + серийно выпускаемые контроллеры российского производства (P-130, ТК-301 и др.).

Совместно с фирмой «TREI GMBH» был разработан не имеющий аналогов промышленный контроллер «TREI-05B», в котором воплотились последние достижения зарубежной элементной базы и были учтены требования, учитывающие специфику стандартов и особенности эксплуатации в странах СНГ. Контроллер выпускается в нескольких модификациях, в том числе во взрывозащищенном исполнении (искробезопасная электрическая цепь). Серийный выпуск этих контроллеров осуществляет фирма ООО «TREI ГМБХ», крупносерийное производство освоено в ПО «СТАРТ». Такая политика открытости вселяет в потребителей уверенность в долгосрочной поддержке (сопровождение, ремонт, поставка ЗИП).

Хорошие метрологические, надежность, эксплуатационные и временные характеристики контроллеров серии «TREI-05B» обеспечили то, что в настоящее время большинство ПТК серии «КРУГ-2000» выпускаются в составе: контроллеры «TREI-05B» плюс пакет программ «КРУГ-2000». Основные характеристики ПТК рассматриваются для этого варианта компоновки ПТК.

Комплекс «КРУГ-2000» предназначен для создания современных АСУТП на объектах с сосредоточенными и распределенными параметрами. На базе ПТК создаются системы, охватывающие уровни управления агрегатом или технической установкой, группами агрегатов или технологических установок, цехом, производством, объединением.

На базе ПТК «КРУГ-2000» созданы и находятся в промышленной эксплуатации около 70 АСУТП в различных отраслях промышленности, том числе энергетической, химической, пищевой и др.

Основные особенности ПТК «КРУГ-2000» следующие:

- все программные и технические компоненты сертифицированы Госстандартом РФ; ПТК метрологически аттестован и внесен в Госреестр средств измерений;

- обеспечена высокая надежность благодаря элементной базе ведущих зарубежных фирм, глубокому тестированию и жесточайшему технологическому прогону;

- соответствия стандартам России, МЭК и другим действующим нормативным документам, в частности принятым для АСУТП;

- открытость системы при наращивании и внесении изменений;

- ориентация на опасные отрасли промышленности;

- поддержка 100%-ного «горячего» резервирования станции оператора, контроллеров, сетей;
- поддержка международных стандартов сетевых протоколов;
- наличие специализированных сертифицированных версий: ПТК «КРУГ-2000/Т» (коммерческий учет теплоты и теплоресурсов);
- ремонтпригодность и эффективное сопровождение на объектах России.

### **Открытость системы**

Система предусматривает возможность ее связи с контроллерами и аппаратурой других фирм, реализовано около 30 драйверов связи с устройствами отечественных и зарубежных фирм, в том числе Endress + Hauser, Toshiba, Bailey Controls, Vega, Enraf (уровнемеры), Solatron, MTL (мультиплексы), Ремиконт Р-130, Bartec (портативные терминалы), Ломиконт, Телемеханика ТК-301, Heinrichs, РЕР (модемы) и др. В системе предусмотрена возможность связи с АСУ верхнего уровня на базе средств Novell и Windows NT Server.

### **Структура системы**

- В структуре выделяют следующие функциональные подсистемы:
- сбора и обработки информации на контроллерах (ТРЕИ-05В);
  - сбора и обработки данных от средств автоматизации других фирм;
  - представление информации оперативному персоналу;
  - архивирование сложных вычислений; передача данных в ЦДЛ и вышестоящие системы;
  - инструментальная (для сопровождения системы, настройки прикладных программ, формирования информационной базы, программирования).

В зависимости от структуры АСУТП каждая из вышеперечисленных подсистем реализуется в виде программно-технических средств или осуществляет их объединение. Например, для систем небольшой информационной мощности станция оператора может объединять в себе функции подсистем представления информации и передачи данных в систему верхнего уровня.

На базе ПТК создаются системы со следующей архитектурой (основные варианты), образующей локально-вычислительную сеть (ЛВС):

- один сегмент ЛВС; минимальный состав — контроллеры и станция оператора;

— набор сегментов ЛВС, объединенных на базе технологии коммутируемых сетей (10/100 Switch Ethernet). Каждый сегмент охватывает относительно независимую группу технологического оборудования (локальную АСУТП);

— набор сегментов ЛВС, передающих информацию в систему верхнего уровня, например, диспетчерскую, по радиальным линиям связи (проводным или беспроводным). При этом система верхнего уровня представляет собой ЛВС, одним из абонентов которой является коммутационный сервер, обеспечивающий связь с системами нижнего уровня.

### ***Основные характеристики системы***

Информационная мощность входов/выходов на одну систему	30 ÷ 30 000
Максимальный период опроса датчиков в контроллере:	
дискретный вход, мкс	100
аналоговый вход, мс	1
Максимальное время реакции на аварийные сигналы:	
при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллеров, мкс	7 ÷ 100
при передаче к пультам оператора, мс	200
Цикл смены, с:	
данные на пульте оператора при наличии до 200 динамических элементов в кадре	0,15 ÷ 1
при передаче кадров	0,2 ÷ 1,5
Максимальное время реакции на команду оператора, с	0,2
Система визуализации и хранения информации, видеокадры:	
число стандартных видеокадров, мнемосхем	не ограничено
Число динамических элементов на одном кадре	ограничено размером экрана
Сигнализация:	
число типов	5
вид	световая, звуковая (два уровня)
Число запоминаемых в памяти:	
сообщений	1000 ÷ 10 000
Длительность хранения сообщений:	
в архивной станции, лет	> 1
Время:	
вызова новой мнемосхемы, с	0,2 ÷ 1,5
обновления динамической информации на экране, с	0,25 ÷ 0,5

*Шина адресная* — система линий передачи адресов.

*Шина управления* — система передачи сигналов управления.

Конструктивно шины — это проводники или кабели, выполненные печатным способом.

ША обеспечивает возможность УУ выбирать любое слово в ЗУ или в УВВ. Выбор осуществляется соответствующей комбинацией единиц и нулей (машинным кодом) на ША. Она является однонаправленной, так как информация по ней поступает в одном направлении, т. е. в ЗУ или в УВВ.

ШД обеспечивает передачу информации из устройства ввода в память или АЛУ и в обратном направлении, т. е. является двунаправленной. Направление передачи информации определяется сигналами, пульсирующими по ШУ. По сигналу «чтение» осуществляется прием информации ЦП из устройства памяти или ввода, а по сигналу «запись» информация передается в обратном направлении. Пересылка информации внутри ЦП осуществляется по информационным шинам, по печатным проводникам, число которых должно быть не меньше числа разрядов в машинном слове. Регистры соединяются с шинами через управляемые вентили. Подключение регистров к шинам или их отключение осуществляется вентилями по сигналам управления. Синхронизация сигналов основана на совпадении сигнала управления с периодическим сигналом на шине, который также вырабатывается УУ.

## Центральный процессор (ЦП)

Общим условием функционирования процессоров является выполнение функций обработки, хранения, обмена и управления этими процессами над тремя видами информации: данными, командами и адресами. Первые две функции — основные, а последняя — обеспечивающая.

Обработку информации можно представить рядом функций: логической, арифметической и специальной (усиление, преобразование кодов, шифрация — дешифрация и т. д.).

Функцию хранения можно представить в виде совокупности функций оперативного и сверхоперативного хранения исходной, промежуточной и конечной информации, а также функцией долговременного хранения с возможностью обновления информации.

Функция обмена осуществляет обмен информацией как внутри процессора, так и с внешними устройствами.

Все операции, реализуемые в МПС, инициируются ЦП, который представляет собой набор различных регистров, т. е. ячеек памяти емкостью в одно слово. В памяти могут находиться ко-

## Техническое обеспечение

В технической структуре ПТК (рис. 7.3 и 7.4) выделяются следующие компоненты:

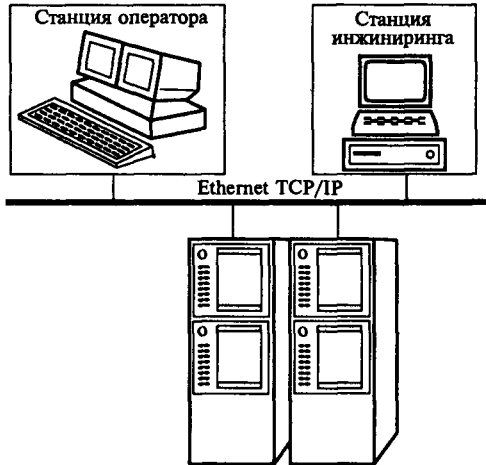


Рис. 7.3. Вариант технической структуры ПТК

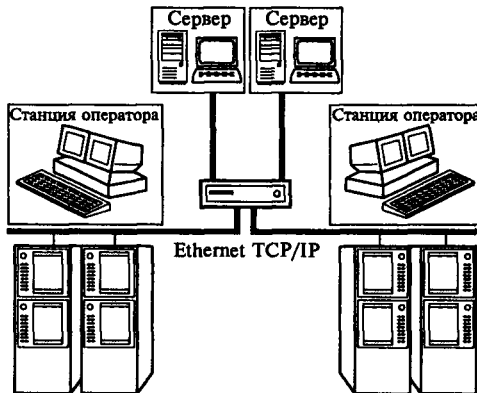


Рис. 7.4. Вариант технической структуры ПТК

- контроллеры — УСО;
- средства организации ЛВС и межсетевые взаимодействия;
- АРМ — станция оператора;
- АРМ службы АСУТП — станция инжиниринга (СИ);
- сервер БД, предназначенный для ведения БД РВ и БД проекта;

- сервер приложений, выполняющий сложные расчетные задачи;
- архивный сервер — станция архивирования (СА);
- коммуникационный сервер, обеспечивающий связь с контроллерами, УСО, датчиками различных фирм-производителей; с другими системами с помощью модемов;
- система бесперебойного питания, сервисные средства для эксплуатации, поверки, контроля работы, наладки и обслуживания и другие.

Все компоненты объединяются в «прозрачную» ЛВС, при этом в конкретной системе могут быть представлены только некоторые из компонентов. В ПТК предусмотрено использование ЛВС, выделенных физической и телефонной линией, коммутируемой телефонной линией, радиоканала.

Локальная сеть АСУ базируется на сетевой (10 или 100 Мбит/с) Ethernet-технологии (витая пара или оптоволокно). В качестве базового протокола сетевого (и межсетевого) взаимодействия использован протокол TCP/IP или UDP/IP. При этом предусмотрена программная «надстройка» протокола с обеспечением его адаптации к специальным требованиям, предъявляемым СРВ при обмене данными, предусмотрена возможность 100%-ного «горячего» резервирования сетей.

## **Программное обеспечение**

### **Современное ПО**

В составе ПТК предусмотрена возможность использования следующих ОС:

- DOS, 32-разрядное расширение (защищенный режим) с встроенным диспетчером задач РВ (сетевая версия); используется в контроллере, станциях оператора, СИ, СА;
- ONX или DOS применяется в контроллере;
- Windows NT используется во всей системе, кроме контроллера.

Возможно одновременное использование в одной системе нескольких ОС. Конкретный выбор ОС осуществляется с учетом быстродействия, надежности, стоимости и других характеристик.

### **Фирменное ПО — пакет программ «КРУГ-2000»**

В этот пакет программ входят следующие программные средства из набора типового SCADA-пакета:



— СРВ контроллера, станция оператора, СИ, СА — обеспечивают выполнение всех функций системы в режиме РВ (исполняемые модулями);

— генератор БД — предназначен для конфигурации и настройки БД;

— графический редактор — обеспечивает изображения статических элементов схем: линии, круга, эллипса, прямоугольника, специальных символов и другие;

— редактор динамики — используется для отображения динамически изменяющихся элементов мнемосхем;

— генератор печатных документов — предназначен для печати отчетных документов произвольной формы;

— технологический (пользовательский) язык — обеспечивает реализацию задач пользователя в реальном масштабе времени (РМВ);

— верификатор БД — используется для проверки БД на противоречивость после генерации и правильность внесения изменений.

ПТК «КРУГ-2000» с учетом информационной мощности и стоимости комплекта имеет неограниченные возможности по управлению пищевыми производствами различных отраслей пищевой промышленности.

#### **7.4.2. ПТК «АВТОНИТ» (ФИРМА АВТОНИТ, Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)**

ПТК предназначен для работы в тяжелых условиях эксплуатации на объектах различных отраслей промышленности, выполняет функции аварийной защиты, технологической блокировки, регулирования, оптимизации, контроля и представления всех видов информации оперативному персоналу, обмена данными со смежными системами, архивации технологических параметров, событий, действий оператора.

В состав ПТК входит функционально полный комплект изделий для построения АРМ оператора и САУ отдельными агрегатами или группами оборудования. ПТК имеет как базовый, так и расширенный вариант (указан в скобках) по количеству входных и выходных сигналов от термодатчиков — 50 (130), унифицированных токовых и вольтовых сигналов — 96 (192) одинарных и троированных, команд управления — 192 (384) и регулирования — 24 (48). Цикл опроса и обработки входных данных, а также выдачи команд управления не превышает  $0,2 \div 0,3$  с. Средняя наработка на отказ функций контроля 80 000 ч. Условия работы САУ от  $-40$  до  $+70^\circ\text{C}$  окружающего воздуха. САУ размещается в пылебрызгозащищенном корпусе, АРМ имеет одно-, двух- и

трехместные пульта, оснащенные рабочими станциями, средствами связи и планшетными мнемосхемами. С помощью ПТК можно разрабатывать привязочную документацию, ПО, операторский интерфейс.

Преимуществами системы являются: расположение САУ в непосредственной близости от автоматизируемого оборудования; единая программно-техническая база для построения агрегатной автоматики, облегчающая подготовку персонала и обслуживание объекта; встроенные клеммники и гальваническое разделение блоков, повышающее помехоустойчивость и надежность системы.

С помощью ПТК «АВТОНИТ» можно реализовать управление, с учетом информационной мощности, многих пищевых производств, в том числе хлебопекарных, кондитерских, макаронных, сахарных, спиртовых и других.

Предприятие «ИНСИСТАВТОМАТИКА» (г. Омск) разработало комплекс ИСА, в составе которого поставляются рабочие станции оператора, обеспечивающие отображение информации, предупредительную и аварийную сигнализацию, дистанционное управление, регистрацию и архивирование, расчет ТЭЦ, доступ к трендам, истории событий.

В комплект входят станции управления, предназначенные для сбора и измерения сигналов, блокировок и защиты, программно-го управления, регулирования и диагностики. Комплекс внедрен на ряде предприятий энергетической и химической отраслей, его можно использовать для управления складами хранения и приготовления сырья и жидких полуфабрикатов пищевых производств.

#### **7.4.3. ПТК НПО «ТЕХНОКОНТ» (Г. МОСКВА)**

Комплекс предназначен для создания современных АСУТП с информационной мощностью от 200 каналов ввода/вывода и для модернизации действующих систем управления, построенных на базе программно-аппаратных средств типа Л-110, ЭВМ и др.

Компонентами комплекса являются контроллеры МВК, программная система МВК-110, промышленные конструктивы МФК-DOS с напольным шкафом, имеющим пылебрызгозащиту IP-54.

Комплекс имеет классическую двухуровневую сетевую архитектуру со средствами Ethernet/Archnet, включает инженерные и операторские станции, может обеспечить 100%-ное резервирование средств нижнего контроллерного уровня. В ПТК «Техно-конт» приемлем показатель цена/производительность: стоимость одного канала ПТК, включающего МФК (80% от максимальной конфигурации) и шкаф, составляет всего 40 долл. США. Может

быть реализован на пищевых производствах для управления отделениями производства полуфабрикатов хлебопекарных, кондитерских, сахарных и других производств.

#### **7.4.4. ПТК «ДИРИЖЕР»**

В основе этого ПТК: VME-архитектура; ОС РВ OS-9; технологическое программирование контроллеров ISaGRAF; мезонинные технологии; стандартные коррозионно-стойкие конструктивы; промышленные сети Profibus, Modbus, Ethernet.

Набор этих средств и встроенная самодиагностика позволяют организовать многопроцессорный принцип построения СУ с возможностью создания отказоустойчивой многозадачной системы на основе дублирования, «горячего резервирования» или мажорирования.

#### **Достоинства ПТК «Дирижер»**

1. *VMЕ-архитектура* — это стандартная, аппаратно- и программно-независимая архитектура сопряжения различных устройств (процессорных модулей, ЦАП, АЦП, модулей ввода/вывода, сетевых и графических контроллеров и т. п.), принятая в качестве стандарта IEC (МЭК), ANSI, IEEE. Стандарт VME объединяет в себе электрическую спецификацию шины VME и формата Eurocard, который представляет различные изделия, базирующиеся на стандартах: стойки, субблоки, печатные платы и разъемы. На шине VME строятся управляющие системы на базе процессоров Pentium/MMX/PRO/II, Power PC, Alpha MC68K и др. Могут быть использованы как ОС общего назначения: Windows 3.xx/NT, так и ОС РВ: OS9, Vx Work, Lynx OS, QNX и др.

2. *Profibus и Modbus*. По данным, полученным маркетинговыми компаниями, Profibus покрывает свыше 40% рынка открытых промышленных сетей в Германии и в Европе. При этом Profibus рассматривается на получение статуса международного стандарта IEC (МЭК). Главное преимущество протокола Modbus — простота и независимость от типа интерфейса, он наиболее распространен в мире, его (протокол) для работы со своими изделиями используют десятки фирм.

3. OS-9 является многозадачной и многопользовательской, модульной и переносимой ОС для встраиваемых приложений РВ, может поддерживать различные семейства 32-разрядных процессоров.

В состав OS-9 входит самое совершенное ядро из имеющихся на рынке. Все функциональные компоненты OS-9, включая ядро,

иерархические файловые менеджеры, систему ввода/вывода и средства разработки, реализованы в виде независимых модулей. Комбинируя их, разработчик может создать системы с различной конфигурацией: от миниатюрных автономных ПЗУ — ориентированных ядер до полномасштабных многопользовательских систем разработки. При этом разработка программ ведется в полнофункциональных конфигурациях.

4. Система Isa GRAF относится к классу систем CASE-типа, она предназначена для разработки прикладного ПО ПЛК. Система Isa GRAF включает: разработку (Isa GRAF Work Bench) и исполнение (Isa GRAF Target).

Система разработки предназначена для решения прикладных задач, исполняемых под управлением ядра Isa GRAF, она устанавливается на компьютере IBM PC (или совместимом с ним) под управлением MS Windows.

Система исполнения загружается или прожигается в ПЗУ. Она включает ядро Isa GRAF и набор модулей связи. В качестве целевой системы могут быть контроллеры (или компьютеры), построенные на основе микропроцессоров Intel и Motorola и функционирующие под управлением ОС.

Основные достоинства системы Isa GRAF: графический интерфейс системы разработки; пять стандартных языков программирования IEC 1131-3 (SFC, FBD, LD, IL, ST); простота в освоении и удобство при исполнении; обеспечение качественных разработок пользовательских приложений; встроенные средства программирования промышленных сетей; удобные и эффективные отладочные средства. Методология структурного программирования, заложенная в Isa GRAF, позволяет пользователю описать в удобной форме автоматизируемый процесс. Тестирование любого программного продукта составляет существенную часть разработки, а наличие хороших отладочных средств является необходимым условием для создания ПО.

5. ПТК «Дирижер» комплектуется SCADA-системами in Touch и Trace Mode.

6. Система качества ОАО «Электромеханика», в том числе ПТК «Дирижер», сертифицирована на соответствие требованиям Международного стандарта ИСО 9001—94.

ПТК «Дирижер», можно реализовать в отраслях пищевой промышленности для управления многими пищевыми производствами.

#### **7.4.5. ПТК «САРГОН»**

Это — система автоматизации энергетического оборудования отечественного производства для создания полнофункциональных

АСУТП энергетических и других объектов, основанная на современных схемотехнических решениях и технологиях системного программирования. Этот ПТК обеспечивает качественно новый уровень разработки, сопровождения и эксплуатации АСУТП различной мощности, но он особенно эффективен для крупных и средних систем.

Основным средством оптимизации соотношения цена/качество является использование семейства отечественных контроллеров, по уровню схемотехнических решений не уступающих современным и импортным устройствам.

В ПТК «САРГОН» используется набор дружественных интерфейсов как для эксплуатационного персонала, так и для всех участников разработки и проектирования АСУТП. При этом дружественным считается тот интерфейс, который выбрал бы специалист данной предметной области для формального описания постановки решаемой задачи. Решение на системном уровне наиболее сложных проблем взаимодействия элементов АСУТП осуществляется соответствующим компонентом комплекса. АСУТП, спроектированные с помощью ПТК «САРГОН», являются полнофункциональными и могут быть легко модифицированы в процессе эксплуатации.

В силу своей универсальности ПТК «САРГОН» может применяться для автоматизации ТП в любых других отраслях промышленности, так как имеет встроенную, свободно расширяемую библиотеку типовых алгоритмов.

### **Состав и структура ПТК «САРГОН»**

Комплекс построен на базе трех компонентов:

- 1) программного комплекса «САРГОН», разработанного и производимого ЗАО «АВТ-Автоматика» (г. Москва);
- 2) IBM-совместимых ПК, стандартного сетевого оборудования и ОС;
- 3) микропроцессорных контроллеров семейства МФК, разработанных и производимых ЗАО «Текон» (г. Москва).

### **Технические средства**

В качестве базовых технических средств автоматизации нижнего уровня в ПТК «САРГОН» использованы современные, эффективные по соотношению цена/качество микропроцессорные контроллеры семейства МФК. Выполненные на современной элементной базе, эти контроллеры обладают большой вычислительной мощностью, имеют высокую надежность, обеспечивают

прием полной номенклатуры внешних сигналов, по соотношению эффективность/стоимость в несколько раз превосходят конкурентов. Семейство включает серийно выпускаемые контроллеры следующих типов:

- универсальный многоканальный контроллер МРС;
- универсальный среднеканальный контроллер ТКМ-52 (ТКМ-51);
- локальный регулятор ТКМ-21;
- контроллер сети Vitbus, встраиваемый в ПК или в ТКМ.

### **Программное обеспечение**

ПТК «САРГОН» включает: ОС, устанавливаемые на контроллерах, компьютерах и серверах; наборы тестов и драйверов, предоставляемых изготовителями технических средств; фирменное ПО, включенное в состав ПТК «САРГОН».

Современная высокоэффективная система РВ, устанавливаемая на все вычислительные узлы АСУТП, включает: АРМ оперативного контура — 32-разрядная SCADA ТкА5w под Windows NT, АРМ руководства и неоперативного персонала — SCADA ТкА5d под Windows NT 95/98 или 16-разрядная SCADA ТкА5d под DOS; РС-совместимые контроллеры — ТкА5с; расчетные станции и шлюзы — ТкА5t под Windows или DOS; контроллеры на однокристальной ЭВМ, совместимой с i 8031 — mТКА5 (микро ТкА).

Программные модули, обеспечивающие полную реализацию информационных, управляющих и сервисных функций (в соответствии с РД 34.35.127—93 «Общие требования ПТК для АСУТП тепловых электростанций»), единообразную для всех модификаций ТкА, выполняются ПТК «САРГОН» в автоматическом и автоматизированном режимах. При реализации функций особое внимание уделяется дружественному интерфейсу, надежности и эффективности.

### **Информационные функции**

- сбор и первичная обработка информации; представление информации оператору;
- технологическая сигнализация (индивидуальная и групповая);
- регистрация событий и аварийных ситуаций;
- анализ действия защит;
- диагностика состояния технологического оборудования;
- контроль состояния ПТК;
- расчет ТЭП;

- обработка, архивирование и представление ретроспективной и нормативно-справочной информации;
- контроль действий оператора, несанкционированного вмешательства;
- документирование.

### **Управляющие функции**

- дистанционное управление ИУ;
- автоматическое регулирование;
- технологические защиты и блокировки, включая АВР;
- функционально-групповое (программно-логическое) управление, автоматизированный пуск и останов технологического оборудования в режиме управления или совета.

В ПТК особое внимание уделено эффективной и максимально надежной реализации управляющих функций, для чего в основу функционирования всех систем положена специально разработанная подсистема «СПИК» (система передачи и исполнения команд) являющаяся, по существу, собственным внутренним протоколом ТКА. Она обеспечивает независимость программной реализации алгоритмов от их размещения по вычислительным узлам АСУТП, а также возможность параллельной выдачи и исполнения команд компонентами этой системы. Эта подсистема гарантирует доставку команды исполнителю; ведет автоматический учет приоритетов команд и запретов на их исполнение; регистрирует процессы прохождения, исполнения и отмены команд.

ПТК «САРГОН» вводит для каждой модели АСУТП уровень управляемости, называемый «Режим управления», изменение значения которого отслеживается программной системой.

*Сервисные функции:* слежение за работой системы РВ; самодиагностика ПТК в РВ; тестирование работоспособности и правильности функционирования вычислительных устройств и каналов ввода/вывода. Сервисные функции реализуются набором тестовых технических и программных средств ПТК, установленных на инженерной станции.

ЗАО «НВТ-Автоматика» (г. Москва) ведет интенсивную разработку комплекса «САРГОН-3», соответствующего идеальному ПТК. Разработка выполняется на базе существующего ПТК «САРГОН» путем расширения модульного ряда контроллеров и совершенствования фирменного ПО.

Главными дополнениями ПТК «САРГОН» при переходе к «САРГОН-3» являются:

- ЛК и пульт управления им;

- комплекс защит и РАС для реализации функций технологических защит (РАС реализован и в ПТК «САРГОН»);
- новое поколение средств контроля и управления электрооборудованием;
- пульты.

Отдельные компоненты идеального ПТК уже реализованы в ПТК «САРГОН» следующим образом:

- контроллеры нескольких семейств (например, Octagon micro PC) удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к ЛК;
- контроллеры МФК и ТКМ-52 (ЗАО «ТЕКОН», г. Москва) удовлетворяют практически всем требованиям к крейтовому и моноблочному МФК; по желанию заказчика в АСУТП могут использоваться и PC-совместимые контроллеры других фирм, имеющие достаточные вычислительные и сетевые ресурсы;
- из 4-х указанных выше типов пультов все, кроме простейшего, уже существуют;
- СВР для АРМ операторов и PC-совместимых контроллеров с большими ресурсами включены в ПТК «САРГОН».

ПТК «САРГОН» содержит набор программных средств разработки и тестирования, соответствующий спецификации идеального ПТК:

- систему технологического программирования на языке высокого уровня, поддерживающую компонентную технологию и обеспечивающую независимость прикладной программы от размещения сигналов и исполнительных модулей по вычислительным узлам;
  - графический конфигуратор мнемосхем;
  - систему автоматического конфигурирования для генерации всех вычислительных узлов АСУТП;
  - систему комплексной отладки и моделирования для полномасштабной проверки АСУТП на полигоне;
  - систему информационного тестирования, контролирующую правильность обработки и передачи информации в АСУТП.
- ЛК является базовым элементом ПТК «САРГОН-3»

Из доступных на российском рынке предложений в наибольшей степени спецификации ЛК соответствует семейство модулей i-7000 (фирмы ICPSON). Из недостатков данной серии отметим небольшой объем ОЗУ (192 кбайт для прикладной задачи), слабый интерфейс «верх» (от 115 до 200 бод по RS-485) и отсутствие модулей УСО, рассчитанных на работу при напряжении ~220 В.

Указанные недостатки преодолеваются путем создания менее требовательной к памяти версии СВР; разработки отечественных модулей УСО на сигналы 220 В, совместимых с ADAM-4000 по протоколу обмена.



Комплекс РАС и защит, добавляемый в состав ПТК «САРГОН-3», обеспечивает защиту и регистрацию аварийных ситуаций на основном технологическом объекте: технологическом оборудовании, технологических процессах, энерго- и теплооборудовании.

Комплекс ПТК включает в себя шкаф микропроцессорной автоматики, построенный на базе резервированного контроллера МФК (ЗАО «Текон») и специализированное ПО ЗАО «НВТ-Автоматика», выполняющее все функции в соответствии с отраслевыми руководящими документами.

Комплекс обеспечивает решение широкого круга информационных и управляющих задач, включая РАС и защиту технологического объекта (оборудования процесса).

Резервирование в «САРГОН-3» предусмотрено на трех уровнях иерархии ПТК: на уровне модулей УСО, контроллеров, АРМ, ЛВС, серверов БД и т. п. Поддерживаются развитые схемы резервирования, обеспечивающие требуемый уровень надежности. СРВ обеспечивает работу с резервированным устройством и как с единым целым (в процессе эксплуатации), и с каждым из его компонентов независимо (при выполнении наладочных и ремонтных работ).

**Распределительный ПТК «Теконик»** предназначен для реализации функции управления и сбора информации в промышленных условиях и построен на основе полевой сети CAN Open.

Комплект состоит из адаптера сети (micro CAN) для PC/104 и ISA интерфейсов, модулей ввода/вывода (МВВ) с соответствующим ПО. Адаптер устанавливается на шину контроллера или рабочей станции и выполняет в сети функцию мастера, а МВВ — функции распределенного УСО. МВВ выполнены в пластмассовом корпусе размером не более 110x90x70 мм и устанавливаются на DIN-рейку. Для подключения внешних цепей используются клеммные соединители. Типичный МВВ имеет возможность подключения восьми сигналов дискретного или аналогового вводов/выводов, включая унифицированные сигналы от термодатчиков. Все каналы ввода/вывода имеют групповую или индивидуальную гальваническую развязку. Питание модулей — нестабилизированный постоянный ток напряжением 16 ÷ 28 В.

### *Технические характеристики*

ПТК «Теконик» имеет интерфейс сети bitbus; число аналоговых входов — 2; встроенная линеаризация и компенсация; АЦП — 16-разрядный; управляющий выход — 1; ЦАП — 16-разрядный; число дискретных входов — 4, выходов — 4; индикация — 2—4-х разрядных цифровых индикатора, девятисекторный барграф,

светодиодные индикаторы режимов работы; число настраиваемых коэффициентов — 24. Рабочий диапазон температур  $5 \div 50^\circ \text{C}$ . Исполнение: щитовой прибор, защита по лицевой панели IP65.

**Информационно-измерительный и управляющий комплекс Descont для АСКУЭ.** Комплекс позволяет создавать следующие системы: диспетчерского контроля и управления, телеметрии и телемеханики, локальной автоматики и регулирования; архивирования технологической информации и регистрации событий; технического и коммерческого учета энергоресурсов; комбинированные.

Схемотехнические и программные решения обеспечивают четкий запуск программ и гарантированное сохранение данных при сбоях в сети питания. Постоянно действующий контроль встроенной в каждый модуль диагностики позволяет контролировать (как локально, так и удаленно) большинство критичных параметров.

### ***Удобное сопровождение***

Функции встроенной в каждый модуль автономной диагностики и сервиса обеспечивают непрерывный анализ исправности модулей ввода/вывода при эксплуатации комплекса, автономную индикацию состояния каналов ввода/вывода, встроенное в модули, диагностическое ПО обеспечивает удаленное считывание параметров диагностики. Комплекс гарантирует как удаленную загрузку пользовательского ПО, так и его удаленную модернизацию.

### ***Широкие коммуникационные возможности***

Поддерживаемые комплексом разнообразные интерфейсы обеспечивают легкое сопровождение с широким спектром периферийных интеллектуальных приборов: модемов, вычислителей, теплосчетчиков, регистраторов, кондиционеров и т. п. Каждый контроллер комплекса может поддерживать до шести каналов обмена информацией по телефонным сетям общего пользования, радиоканалу, выделенным линиям связи, аппаратуре уплотнения данных.

Микропроцессорные модули комплекса имеют автоматизированное тестирование, время наработки на отказ не менее 100 000 ч, гарантированный срок три года.

### **Аппаратные и программные компоненты комплекса**

Комплекс содержит модули ввода/вывода, программируемый управляющий контроллер, сменные интерфейсные платы (интерфейсы), малогабаритный пульт оператора (мини-пульт), стацио-

нарный пульт оператора, ПО управляющего контроллера и верхнего уровня.

**ПТК «Униконт» (НПО «Квантор»)** для создания систем промышленной автоматики включает:

- ПЛК, в том числе всепогодные необслуживаемые;
- УСО, в том числе выносные многоканальные измерительные преобразователи, ШУ бесконтактные и релейные, пускатели бесконтактные 220/380 В от 5 до 25 А;
- рабочие станции;
- оборудование для АРМ оператора-технолога, в том числе пульты, информационное табло, клавиатуры функциональные;
- сетевые средства, в том числе мультимплексоры RS-232, ИРПС, сетевые адаптеры и ретрансляторы;
- пакеты прикладных программ.

#### **7.4.6. ПТК «СИРИУС»**

Система «СИРИУС» построена на модульном принципе на уровне контроллеров и ПО, что позволяет создавать на базе комплекса любые архитектуры, используя только необходимые составляющие при построении СА. С помощью ПТК «СИРИУС» можно создавать и небольшие автономные СА, и мощные разветвленные системы телемеханики (ТМ).

Комплекс «СИРИУС» включает:

- контроллер «Миконт-М», не требующий настроек (устанавливая его, необходимо только вставить модули связи и ввода/вывода) контроллер имеет четкий алгоритм работы и позволяет фиксировать сигналы телесигнализации (ТС) и телеизмерения (ТИ) с привязкой ко времени с точностью до 100 мс;
- контроллер «Сателлит» — интеллектуальный ПЛК, предназначенный для решения задач автоматики, ТМ и локального управления объектами; он сменит контроллеры серии «Миконт-М». Программирование контроллера осуществляется с помощью пакета программ для ШУ РС; время привязки событий к абсолютному спутниковому времени 1 мс;
- контроллер пункта управления «Виконт», собирающий и обрабатывающий информацию от контроллеров нижнего уровня и перерабатывающий ее в ПЭВМ;
- универсальное ПО «Сириус-QNX» для ПЭВМ-SCADA-пакет, предназначенное для создания систем управления технологическими объектами. Пакет работает под управлением многозадачной ОС РВ QNX и позволяет осуществлять режим жесткого реального времени.

При разработке комплекса одной из основных задач было создание открытой системы, имеющий механизм стыковки с другими системами ТМ, устройствами автоматизации, интеллектуальными датчиками, а также специальными пакетами драйверов стыковки с различными устройствами.

Контроллер «Сателлит» собирает данные не только от своих блоков ввода/вывода, но и с оборудования на технологических объектах. Он, объединяя различные устройства и ТМ, создает целостную СА объекта.

Система «СИРИУС» стыкуется с оборудованием других производителей, в частности AEG, ABB, Super Flow, Motorola, Gee Alsthom, ТМ 120, MMG, SAAB. Кроме того, в ПТК «СИРИУС» встроен протокол Modbus, который используется во многих устройствах ТМ, являясь стандартным протоколом связи.

Пакет «Сириус-QNX» работает под управлением ОС РВ QNX и позволяет строить системы, рассчитанные на режим жесткого РВ. Он оптимизирован на работу с большими объемами параметров без ощутимых затрат ресурсов ПЭВМ (до 32000 параметров на узел), легко масштабируется для разных по величине технологических объектов. В ЛВС пакет «Сириус-QNX» дает возможность строить РСУ с оптимальным использованием ресурсов каждой ПЭВМ. Графический, многооконный, интуитивно понятный интерфейс упрощает эксплуатацию пакета и сокращает время на его освоение.

Пакет «Сириус-QNX» имеет средства «горячего» резервирования каналов связи, серверов БД и технологических задач; в локальных и удаленных сетях им поддерживается несколько рабочих станций (ПЭВМ):

- SCADA-сервер — ПЭВМ сети, на которой осуществляется поддержка и хранение оперативной БД технологического объекта; обычно SCADA-сервер связан с контроллерами и выполняет сбор данных; информация на мнемосхемах и оперативные сообщения обновляются в том же темпе, на котором происходит изменение данных;

- SCADA-рабочая станция — ПЭВМ сети, не имеющая оперативной БД; она может быть связана с контроллерами; информация на мнемосхемах и оперативные сообщения обновляются в темпе изменения данных; доступ к функциям системы определяется при конфигурации системы и рабочей станции.

- SCADA-станция просмотра предназначена для отображения оперативной и архивной информации, которая обновляется автоматически через заданный интервал времени (1 + 30 с) или по запросу;

— SCADA-удаленная станция — ПЭВМ, соединенная с ЛВС через модемную линию связи и служащая для просмотра оперативной и архивной информации, обновление которой проводится автоматически при изменениях данных; доступ к функциям системы (управления и изменения атрибутов параметров) определяется при конфигурации системы и рабочей станции.

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Программно-технический комплекс (ПТК), его назначение.
2. Локальный контроллер, его назначение.
3. Многофункциональный контроллер (МФК), его назначение.
4. Программное обеспечение ПТК.
5. РСУ малого масштаба.
6. Полномасштабные РСУ.
7. Мировые тенденции развития ПТК.
8. ПТК «Каскад», назначение и состав, функциональные возможности.
9. ПТК «КРУГ-2000», назначение и состав, функциональные возможности.
10. ПТК «АВТОНИТ», функциональные возможности.
11. ПТК «Дирижер», состав, функциональные возможности.
12. ПТК «САРГОН», состав, функциональные возможности.
13. ПТК «САРГОН-3», функциональные возможности, преимущество в сравнении с ПТК «САРГОН».
14. ПТК «УНИКОНТ», состав, функциональные возможности.
15. ПТК «СИРИУС», состав, функциональные возможности.
16. Что включает программное обеспечение ПТК?
17. Что такое драйверы, тестирующие программы? Их назначение.
18. Каковы сферы применения контроллеров на базе ПК?
19. Сетевой комплекс контроллеров ПТК.
20. Какова структура промышленной компьютерной сети?
21. Перечислите основные направления углубления и совершенствования свойств выпускаемых программных и технических средств.
22. Как может быть собран ПТК конкретного производства?
23. К чему должно привести дальнейшее развитие ПТК?
24. Что входит в стандартный набор программных модулей РС?
25. Кросс-система для технологического программирования ПЛК?
26. Перечислите продвинутые ПТК для АСУТП.

## Глава 8. КОНТРОЛЛЕРЫ

Российские системные интеграторы располагают огромным спектром предложений по датчикам, промышленным сетям, контроллерам, ИУ, средствам отображения и прочим элементам, необходимым при разработках современных АСУТП. При выборе компонентов для решения своей задачи в очень жестких условиях ограниченного финансирования разработчики вынуждены постоянно думать об оптимизации. Компоненты систем должны быть адекватны решаемой задаче, служить долго и надежно, обслуживаться легко и просто, выглядеть привлекательно и стоить дешево.

Одним из ключевых элементов является контроллер, от свойств которого во многом зависит вся структура системы автоматизации.

Контроллер представляет собой функционально законченное изделие с внутренней программой, настройка которой на конкретный объект управления производится с лицевой панели прибора или по сети с персональной ЭВМ. На современном российском рынке промышленной автоматизации должны быть разрешены задачи, которые можно объединить в следующие группы:

- создание локальных, автономных систем автоматизации;
- создание РСУ;
- модернизация и реконструкция существующих систем автоматизации.

Современные автономные и распределенные системы управления формируются по объективному принципу — каждый уровень АСУТП должен соответствовать некоторому уровню технологического объекта управления (ТОУ), а каждому элементу АСУТП — один или несколько элементов ТОУ соответствующего уровня. Это соответствие значительно повышает надежность системы и уменьшает интенсивность сетевых обменов, так как ввод/вывод информации и ее обработка максимально локализуются.

Начнем с анализа структуры объекта управления и информационных характеристик его элементов. Основная информационная характеристика объекта — число сигналов — главный фактор. Его однозначно используют при выдаче задания на разработку АСУТП, при этом учитывают многообразие типов сигналов.

Контроллеры для АСУТП можно условно подразделить на следующие классы:

1. *Контроллеры на базе ПК* — направление, бурно развивающееся в настоящее время, которое обеспечивает повышение надежности ПК. Они характеризуются наличием модификаций, открытой архитектуры, доступности включения в свой состав любых блоков ввода/вывода; имеют возможность использования широкой номенклатуры ПО (например, ОС РВ, БД, ППП контроля и управления). Такие контроллеры нашли применение в специализированных системах автоматизации, научных лабораториях, средствах коммуникации, небольших замкнутых объектах в производствах. Количество входов/выходов таких контроллеров несколько десятков. Контроллеры осуществляют достаточно сложную обработку измерительной информации с последующим формированием управляющих воздействий. Реализуемые контроллерами функции целесообразно программировать на языках высокого уровня типа Си++, PASCAL, а также на языках стандарта IEC 1131-3 и других.

На рынке контроллеров на базе ПК в России успешно работают: Advantech, Analog Devices, Octagon и др. Некоторые российские фирмы закупают компьютерные платы и платы ввода/вывода и собирают из них контроллеры (например, Прософт).

На рис. 8.1 приведена модульная структура программируемого микроконтроллера, применяемого на локальном уровне управления в АСУТП.

Специализация такого микроконтроллера по выполняемым функциям характеризуется совокупностью программ, хранящихся в постоянном запоминающем устройстве. Центральный процессор (ЦП) выполняет универсальные логические и вычислительные операции. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), как правило, небольшого объема. Конструктивно вычислитель выполняется в виде одноплатного встраиваемого модуля. К внутренней (стандартной) магистрали вычислителя подключают модули устройства сопряжения с объектом, АЦП и ЦАП, дискретные входы-выходы, регуляторы и т. д., устройства отображения и ввода данных различного класса, блоки сопряжения с другими информационными уровнями.

Повышение уровня интеграции микропроцессоров обусловило появление однокристалльных микроЭВМ, повторяющих приведенную структуру. Вследствие этого стало возможным в пределах микроконтроллера специализировать выделяемые функции для некоторого количества вычислителей, связанных общей магистралью, но обрабатывающих и управляющих своей совокупностью сигналов. МикроЭВМ отличается от приведенных микроконтроллеров расширением функций по вводу-выводу информации от периферийных устройств, расширением объема ОЗУ, более мощ-

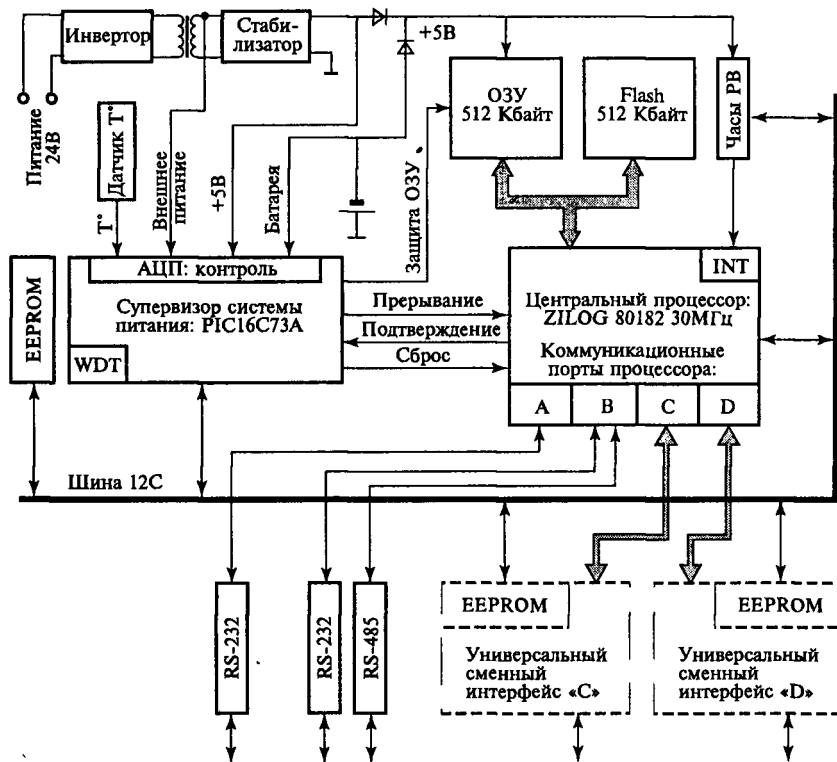


Рис. 8.1. Модульная структура программируемого микроконтроллера

ным вычислителем, наличием кросс-средств для отладки программного обеспечения микроконтроллеров.

Таким образом, техническая реализация координатора определяется функциональными задачами этого уровня управления. При этом большее внимание уделяется алгоритмическим и программным средствам, средствам автоматизации программирования, ориентированным на микропроцессоры общего и специального назначения, пакетам прикладных программ, операционным системам реального времени, удобным и гибким языкам программирования. Адаптация и учет требований конкретных объектов и систем в ПТК проводится на нижнем уровне благодаря модернизации технических средств, а на уровне координатора — программным обеспечением.

2. *Локальный ПЛК.* В последнее время нашли применение несколько типов ПЛК:

— встраиваемый в оборудование и являющийся его неотъемлемой частью (например, станки с ЧПУ, современные поточные



линии в хлебопекарной, кондитерской, сахарной и других отраслях пищевой промышленности, современные аналитические приборы и др.);

— автономный, реализующий функции контроля и управления небольшим, в основном изолированным технологическим объектом.

Применяются также встраиваемые ПЛК без специального кожуха, которые монтируются в общий корпус оборудования. Автономные контроллеры помещают в защитные корпуса для эксплуатации в различных условиях. В большей части эти контроллеры имеют порты, которые через сеть связывают их в режиме «точка-точка» с другой аппаратурой, и посредством интерфейсов через сеть соединяют их с другими средствами автоматизации (диспетчерскими системами, РСУ, пультами операторов и т. п.). Такие контроллеры встраиваются или подключаются в панели ЧМИ, состоящие из дисплея и функциональной клавиатуры.

Выпускаются специальные типы ПЛК для аварийной защиты технологических процессов и оборудования, которые имеют высокую надежность, быстродействие и живучесть. В них предусмотрены различные варианты полной диагностики и резервирования.

Контроллеры этой группы рассчитаны на десятки входов/выходов от датчиков и ИМ.

Они реализуют простейшие типовые функции обработки измерительной информации, логического управления и регулирования.

*3. Сетевой комплекс контроллеров.* Этот класс контроллеров наиболее широко применяется для управления ТП во всех отраслях промышленности. Минимальный состав комплекса имеет ряд контроллеров, несколько дисплейных пультов операторов, промышленную сеть, соединяющую контроллеры и пульта между собой. Контроллеры сетевого комплекса имеют ряд модификаций, отличающихся друг от друга мощностью, быстродействием, объемом памяти, возможностями резервирования и максимальным числом каналов входов/выходов, что обеспечивает выполнение ими широкого диапазона функций контроля и управления.

Для дисплейных пультов используются разнообразные ПК в обычном или промышленном исполнении с (алфавитно-цифровыми и специальными функциональными клавиатурами), с одним или несколькими мониторами.

Промышленная сеть может иметь различную структуру: кольцо, шину или звезду, которая часто подразделяется на сегменты, связанные между собой маршрутизаторами. Информация передаваемая по сети — это ряд периодических или случайных во времени коротких сообщений. Они не могут быть потеряны, а для

сообщения высшего приоритета (например, данных) должен быть гарантирован интервал времени их передачи.

Сетевые комплексы контроллеров имеют верхние ограничения как по сложности выполнения функций (измерения, контроля, учета, блокировки, регулирования), так и по объему ТОО, в пределах тысяч измеряемых и контролируемых параметров на отдельный технологический агрегат.

Контроллеры предназначены для работы в составе СА различной архитектуры в качестве устройств нижнего уровня, но могут успешно использоваться в автономном режиме благодаря наличию встроенных пультов для интерфейса оператора с ТП или оборудованием. Контроллеры ориентированы на решение в приборном или календарном времени задач всережимного регулирования, программно-логического управления, регистрации и архивации событий и процессов, а также на решение всевозможных вычислительных задач.

### **Организация измерительного канала**

Для контроллеров вводится понятие измерительного канала как совокупности аппаратуры ввода, усиления, аналого-цифрового преобразования аналогового сигнала и специальной программной подсистемы для управления аппаратурой канала, автоматической калибровки и линеаризации характеристик датчика в диапазоне значений сигнала от 0 до 100 %. Программы автокалибровки и калибровочные коэффициенты аналоговых входов и выходов интеллектуальных модулей УСО заносятся в память встроенного процессора при его настройке на этапе производства, чем обеспечивается взаимозаменяемость модулей во время их эксплуатации. Программа линеаризации характеристик датчика и соответствующие коэффициенты находятся в памяти центрального процессора контроллера. При конфигурировании канала обычно достаточно указать только тип используемого датчика, так как калибровочные коэффициенты наиболее популярных датчиков с нелинейными характеристиками (термопар, термосопротивлений) уже внесены в память измерительной системы. Конфигурирование измерительных каналов осуществляется при подготовке контроллера к работе независимо от наличия технологических программ и их содержания.

### **Методы обеспечения надежности**

Надежность хранения программ и данных обеспечивается:

— за счет хранения всех системных и пользовательских программ, конфигурации, настроек, коэффициентов и другой посто-

янной и условно-постоянной информации только во флэш-ПЗУ процессора, а оперативных данных — в статистическом ОЗУ с батарейным питанием, чем обеспечивается высокая защищенность программ и данных;

- использованием технологических языков высокого уровня, обеспечивающего их высокую надежность (с точки зрения числа необнаруженных ошибок) и простоту отладки;

- наличием сторожевого таймера для перезапуска процессора при его зависаниях;

- непрерывным тестированием флэш-памяти (контрольного суммирования) и оперативной памяти.

Работа контроллера в жестком РВ под управлением фирменной ОС оптимизирована по составу функций для управления вычислительными процессами контроллера. Обработка запросов прерываний, т. е. каждый запрос оставляет только заявку на обработку с соответствующим приоритетом в очереди задач, на что расходуется не более 10 мкс. В течение этого времени другие запросы не принимаются, что и определяет период нечувствительности системы к запросам. Анализ заявок и их обработка в соответствии с приоритетом осуществляется в каждом цикле активности ОС, период цикла равен 1 мс. Во время обработки система открыта для любых запросов независимо от их приоритета.

Такая организация работы ОС обеспечивает следующие качества:

- значительную степень защиты от потери низкоприоритетных запросов или их наложения;

- гарантированные значения установленных программных циклов различного назначения (цикл работы контроллера — 10, 20, 30, 400 мс, цикл коррекции программных таймеров — 10 мс + 1 с, цикл контроллерной сети — 5 мс на один контроллер и пр.).

Эти качества повышают точность выполнения различных временных функций (интегрирования, дифференцирования, счета времени, задержки) и вносят необходимый детерминизм в планирование мультипрограммного вычислительного процесса как сложной системы, что, безусловно, повышает его надежность.

Минимизация времени рестарта (перезапуска) контроллера осуществляется при просечках питания, срабатывании сторожевого таймера в случае зависания процессора и при программном сбросе контроллера с пульта управления или сетевой командой. Во время рестарта проводится ряд операций по подготовке контроллера к пуску и технологическая программа не выполняется, т. е. объект остается без контроля. Особенно критичным является рестарт при просечках питания, так как при этом теряются выходные сигналы контроллера и на объект проходит ложная ко-

манда. Поэтому минимизация времени рестарта является важной задачей.

**Безударное переключение контроллера** проводится в случаях:

- рестарта контроллера;
- перехода с ручного режима управления (пульта контроллера или по команде сети на автоматическое (по технологической программе);
- модернизации технологических Фабл-программ.

Безударное переключение с ручного режима управления на автоматический осуществляется двумя способами:

— динамической и статической балансировки входов ручного и автоматического управления алгоритмов, имеющих внутреннюю память состояний;

— обратного счета и слежения, когда при ручном изменении какого-либо параметра алгоритма отслеживают свое внутреннее состояние при помощи процедуры обратного счета так, чтобы при переходе в автоматический режим система алгоритмов была сбалансирована по входам и выходам.

Безударное переключение при модернизации технологических Фабл-программ осуществляется копированием БД неизменных алгоритмов из старой программы в новую и загрузкой их в контроллер вместе с новой программой после ее трансляции. Поэтому при включении контроллера в работу с модернизированной технологической программой фрагменты, унаследованные от старой программы, будут включены безударно.

Резервирование каналов УСО может осуществляться по следующим схемам:

— межорирования входных аналоговых и дискретных каналов, размещенных на одном или разных модулях УСО;

— дублирования по схеме «И» (надежность отключения), «ИЛИ» (надежность включения) дискретных выходов, размещенных на одном или разных модулях УСО;

— резервирования модулей УСО и их переключения по сигналам отказа модуля (для интеллектуальных модулей). Резервирование контроллеров поддерживают программно-аппаратные средства;

— система встроенной диагностики, прерывающей контроллеры в состоянии «ОТКАЗ» с прекращением выполнения технологической программы и размыканием дискретных выходов;

— модули интерфейсных каналов МИК, соединенные специальным жгутом, через которые осуществляется передача сигнала отказа основного контроллера резервному и непрерывная синхронизация БД и состояний контроллера с помощью скоростного последовательного канала.

Для организации резервирования оба контроллера должны быть включены в одну и ту же сеть с одинаковыми сетевыми номерами, иметь одинаковую схему подключения входных сигналов и время цикла.

К одной сети могут подключаться как одиночные, так и резервированные контроллеры. Последние логически рассматриваются как один контроллер, электрически (нагрузка на интерфейс KS-485) — как два.

**Модуль интерфейсных каналов (МИК)** автономно реализует все функции физического и канального уровней сети (доступа к каналу, приема и передачи данных, идентификации адресов приемника и передатчика, формирования и анализа контрольных сумм, контроля и управления тайм-аутами и т. п.), что обеспечивает прозрачность канала для центрального процессора и резкое снижение временных и программных ресурсов на его обслуживание. Модуль МИК используется для решения следующих задач: синхронизации БД резервированных контроллеров; резервирования контроллерных сетей; организации полевых сетей для работы с приборами различных производителей.

В нормальной ситуации, когда оба контроллера исправны, основной контроллер находится в активном состоянии, а резервный — в пассивном. При отказе основного контроллера резервный переходит в активное состояние. При отказе любого контроллера он выключается из дальнейшей работы, переходя в режим программирования.

При активном режиме контроллер управляет нагрузкой, выполняя все функции в режиме автономного контроллера (обмен данными с модулями УСО, пультом, сетью, выполнение технологической программы), а также принимает по каналу МИК сообщения, запросы пассивного контроллера и формирует ответные сообщения. При появлении сигнала отказа пассивного контроллера или при отсутствии от него запросов он индицирует соответствующие ошибки.

В пассивном режиме контроллер находится в режиме синхронизации своей БД и внутреннего состояния с активным контроллером в целях безударного переключения, выполняя функции:

— запроса всех входных сигналов УСО (аналоговых после калибровки) с основного контроллера и выполнения технологической программы на этих значениях с формированием выходных сигналов в своих модулях УСО (безударности переключения по входам);

— периодического запроса внутренней памяти алгоритмов Фабл-программы и переменных Протекст-программы с основно-

го контроллера и коррекции своей БД этими значениями (безударности переключения по БД);

— запроса состояния клавиатуры пульта активного контроллера и выполнения всех команд (безударности переключения по пультovým режимам работы);

— приема и выполнения всех команд сети при выключенном передатчике в сети (безударности переключения по дистанционному управлению).

Клавиатура пульта пассивного контроллера недоступна по управлению, все команды можно подавать только с клавиатуры основного контроллера. Органы индикации пульта пассивного контроллера отслеживают состояния соответствующих органов основного контроллера. Таким образом, оба контроллера получают на вход одни и те же сигналы, выполняют одинаковые технологические программы, формируют одинаковые выходные сигналы, принимают из сети, формируют для передачи и передают одни и те же сетевые сообщения. Отличие между ними заключается в том, что резервный контроллер физически изолирован от объекта управления по аналоговым выходам БПР-10, от сети — передатчиком сети. Отказ или отсутствие какого-либо контроллера, а также прекращение передачи им сообщений по каналу резерва сигнализируются на другом контроллере как соответствующая ошибка.

Режимы различных пусков резервированных контроллеров по сравнению с активными имеют некоторые особенности, связанные с процедурой инициализации включаемого в работу контроллера, при котором ему передаются технологические Фабл- и Протекст-программы и БД работающего контроллера в полном объеме. Режим пуска любого контроллера при отказе или отсутствии парного контроллера осуществляется по правилам пуска автономного контроллера без выполнения процедуры инициализации. При одновременном пуске (первое включение, просечка питания) обоих контроллеров пассивный контроллер включается в работу с некоторой задержкой. Это обеспечивает включение активного контроллера по правилам автономного, без проведения инициализации, а пассивного — с предварительной инициализацией. При отказе любого контроллера он размыкает свои дискретные выходы, если имеется исправный парный контроллер, либо «замораживает» их.

*Архивация данных в любом узле.* В любом узле можно заказывать архивацию системных событий (переводов времени, выключения питания), изменения дискретных сигналов, интегрирование аналоговых сигналов нарастающим итогом и ускорение (от 30 с до нескольких часов), сохранение значений счетчиков на начало интервала (минута, час, день, месяц, год). Архивный сер-

вис на РС-узле в сети обеспечит вычитывание данных из всех узлов сети, их просмотр, анализ и печать. Через открытый интерфейс архивные данные могут быть получены различными пользовательскими приложениями. Таким образом, рассматриваемые сетевые программные средства, дополняемые широким спектром модулей каналообразующего оборудования, позволяют организовать практически любые комбинации обработки информационных потоков для территориально распределенных объектов.

*Сменные интерфейсные платы* (или просто интерфейсы) предназначены для расширения или изменения коммуникационных возможностей контроллера. Интерфейсы — это небольшие по размеру платы 50x85 мм, имеют унифицированный конструктив для установки в специальный разъем печатной платы интерфейсов С и D контроллера.

Электрическое подключение интерфейсной платы к контроллеру осуществляется благодаря разъемному соединению. В разъем включают цепи питания, управления, шины I2C и сигналы ESCC. Каждый сменный интерфейс имеет свой собственный EEPROM, который содержит информацию о типе интерфейса, настроечные параметры и т. п. Применяемая мезонинная технология предоставляет пользователю широкие возможности по реализации как стандартных, так и уникальных интерфейсов и протоколов, обеспечивая таким образом простой и эффективный способ адаптации к требованиям конкретного проекта, а также дает возможность реконфигурации уже созданной системы силами самого пользователя.

*Пульт и минипульт.* Системы, создаваемые на базе комплекса, например ПТК «Decont», комплектуются малогабаритными пультами (мини-пультами) оператора с 2x20"-символьным жидкокристаллическим дисплеем и шестью кнопками. Размеры устройства позволяют носить его в кармане. Он может подключаться к любому модулю. Встроенный в минипульт микропроцессор обеспечивает доступ ко всем сигналам, измеряемым модулям ввода/вывода, а также к большинству программируемых параметров в контроллерах, например Decont-182. Фирма ДЕП выпускает стационарный пульт оператора, предназначенный для установки на передней поверхности защитных шкафов. Он используется для создания разнообразных систем локальной автоматики.

*Построение систем автоматизации* происходит следующим образом: ряд модулей ввода/вывода подключается к интерфейсу RS-485, далее посредством преобразователя RS-485/232 подключается к ПЭВМ (см. рис 8.1). Взаимодействие ПЭВМ с модулями ввода/вывода построено по принципу «Мастер — слейв» (рис. 8.2). Модули в сети являются слейвами, они пассивны — весь обмен

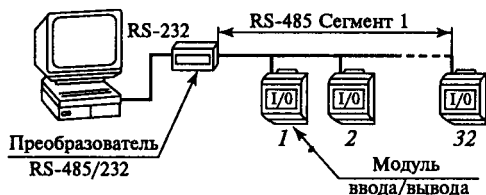


Рис. 8.2. Структура подключения модулей ввода-вывода

данными инициируется по запросу мастера, которым в рассматриваемом примере является ПЭВМ. Обработка сигналов модулями производится циклически по встроенным алгоритмам.

После каждого цикла измерений новое измеренное и обработанное значение аналогового или дискретного сигнала заменяет в памяти модуля предыдущее. По запросу мастера по сети передается всегда последнее обработанное значение. От мастера к модулям ввода/вывода поступают настроечные параметры и команды на выдачу управляющих воздействий.

Практический интерес с позиций создания различных СА представляет использование в качестве мастера управляющего контроллера Descont-182, обычно дополняемого различными интерфейсными платами.

*Подключение стационарного пульта оператора.* Устройство комплекса — пульт является стационарным модулем ввода/вывода со встроенным интерфейсом RS-485. Пульт подключается в ЛВС аналогично другим модулям ввода/вывода, благодаря чему можно достаточно просто создать систему локальной автоматики из модулей ввода/вывода, контроллера и пульта (рис. 8.3).

*Быстродействие.* С точностью, достаточной для инженерных расчетов, можно считать, что быстродействие большинства СА, создаваемых на базе, например, комплекса Descont, зависит прежде всего от времени передачи данных из модулей ввода/вывода в управляющий контроллер Descont-182.

Время передачи данных складывается из реакции модуля на запрос от контроллера, передачи данных по сети (транспортное

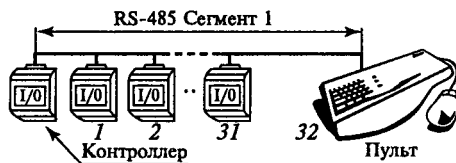


Рис. 8.3. Блок-схема системы локальной автоматики



запаздывание), обработки данных контроллером (заполнение данными из принятого буфера ведущих баз и архивов).

В локальной технологической сети от скорости передачи зависит только вторая составляющая — транспортное запаздывание. Все модули ввода/вывода передают в сеть примерно одинаковый по размеру буфер технологических данных — около 20 байт. С учетом накладных расходов на формирование пакета общим объемом информации, транслируемой одним слейвом, не превышает 30 байт. При максимально возможной скорости 153,6 Кбод транспортное запаздывание составит 2 мс.

Другие составляющие времени передачи данных менее детерминированы и, как правило, вносят наиболее весомую лепту в общее время реакции. Например, время реакции модуля на запрос может составлять  $2 \div 15$  мс в зависимости от внутреннего состояния модуля и его типа. В любом случае, даже если попытаться обратиться к несуществующему слейву (выключенному или работающему на другой скорости, или имеющему другой адрес), мастер займет магистраль не более чем на 20 мс — именно это значение составляет тайм-аут ответа сети.

Как правило, один управляющий контроллер с соответствующим набором модулей ввода/вывода успешно справляется с задачами контроля и управления на объектах со следующим (достаточно условным) обобщенным набором сигналов, включающим:

- входные аналоговые сигналы (ТИТ) — 24;
- входные дискретные сигналы (ТС) — 64;
- выходные дискретные (ТУ) — 24.

Естественно, в зависимости от конкретного объекта число и номенклатура сигналов могут меняться, но, как правило, относительно неизменными остаются два факта:

- среднее число модулей ввода/вывода, задействованных на одном объекте, не превышает 20;
- на одном объекте существует несколько ( $1 \div 3$ ) территориально разобщенных (в пределах объекта) локальных мест, куда обычно собираются сигналы с датчиков.

Управляющий контроллер обычно располагается в непосредственной близости от наиболее крупной группы модулей ввода/вывода. Связь с этой группой модулей осуществляется, например, через встроенный интерфейс RS-485 контроллера Decont-182. На этом же сегменте ЛВС подключается и пульт управления.

Для организации двух других гальванически изолированных сегментов ЛВС, необходимых для связи с двумя удаленными группами модулей, используется интерфейсная плата типа Z2×RS-485. Она устанавливается в контроллере на любое из двух

свободных универсальных гнезд: С и D. На оставшееся свободное универсальное гнездо устанавливается интерфейсная плата для организации канала связи с удаленной консолью. В данном примере это плата радиомодема для управления радиостанцией.

## **8.1. КОНТРОЛЛЕРЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

ОАО «Электроприбор» выпускает десятки контроллеров. Наиболее известны системы линии ПО: ПЛК Ремиконт типов 110/112/120/122; Ломиконт 110/112/120/122 и ММ1 (ЧМИ) для построения систем оперативно-диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы); Д120М, СУБР110, ТРОС, ТРОС-2. Все изделия сертифицированы, метрологически аттестованы и удовлетворяют требованиям российских государственных стандартов. Опыт их применения показал, что необходимо проводить работы по оптимизации отдельных эксплуатационных характеристик, при этом оставляя суть данных изделий неизменной.

Проект Колор-99 представляет собой производственную программу по модернизации и расширению номенклатуры средств программно-аппаратных систем (СПАС) промышленной автоматики, предлагаемых ОАО «Электроприбор» для создания локальных, распределенных и интегрированных систем управления ТП.

В проекте обусловлены два подхода-направления: модернизация парка линии 110, имеющегося у пользователя, и поэтапное развитие номенклатуры линии 99 в границах проекта Колор-99 при соблюдении совместимости снизу вверх и интегрирования линий 110 и 99.

При выполнении программы по выпуску современных ПЛК с учетом опыта эксплуатации должны обеспечиваться:

- невысокая стоимость контроллера и его компонентов относительно зарубежных (в 2 ÷ 3 раза дешевле);
- долгосрочная поддержка и гарантированные поставки на все время жизни и развития системы у пользователя;
- распределенная архитектура и компактность ПЛК и его компонентов, обеспечивающая приближение цифровой части интерфейса к объекту, что повышает помехоустойчивость и снижает расход кабельной продукции;
- резервирование отдельных узлов или всего контроллера с применением мажоритарных схем;
- распределенный интерфейс электропитания к системе, схемотехнические решения, позволяющие провести трассировку питания компонентов или всего контроллера спроектированной СУ объектом на уже имеющейся у заказчика энергетической схеме;

— учитывая, что отечественный рынок электронных компонентов слаб, акцент нужно делать на архитектурные, системные, схемотехнические, программные решения с учетом специфики отечественных технологий.

### 8.1.1. ПЛК ЛИНИИ 99

Дальнейшим развитием линии 110 является Ломиконт линии 99. Архитектура ПЛК основана на распределенной структуре его функциональной части: устройств питания, вычислительной части, устройств каналов ввода/вывода и средств оператора, их агрегативности, компактности, проектной компоновки с поддержкой конструктивными решениями.

Конструктивное исполнение ПЛК представляет собой набор однотипных блоков, в которых размещаются шасси с функциональными модулями (ФМ), источники основного и резервного питания. В аналогичном блоке расположена кросс-панель на 32 входа/выхода, к которой подсоединяют цепи с объекта. Функциональный блок (ФБ) соединяется с блоком кросс-панели (БК) коммуникационными соединителями. Блоки имеют степень защиты IP20.

ФБ имеют шасси на четыре посадочных места (ПМ) для модулей УСО и одно ПМ для контроллера интерфейсов Si. В подобных блоках можно разместить дополнительные УСО, блоки модулей усилителей сигналов, модули переключения резерва. Нарастивание УСО осуществляется установкой до трех ФБ расширения и подсоединением системных магистралей через разъемы объединительной платы при помощи штатных соединителей (с расстоянием между ними не более 1 м).

При распределенной структуре проекта связь интерфейса Si базового ФБ и дополнительных УСО осуществляется по последовательной магистрали типа шина (с расстоянием до 200 м), на которую допустимо нагрузить 32 функциональных блока, что для логических возможностей Ломиконта избыточно. При этом архитектура типа «Звезда» позволяет географически распределить блоки до 400 м (базовый блок в узле). Приближение блоков и УСО к объекту позволяет экономить кабельную продукцию, локализовать питание и защиту по питанию, облегчает как управление, так и регламентные работы на объекте.

**Контроллер интерфейса Si** — базовый узел обработки и обмена информацией со всеми компонентами самого ПЛК и системы, построенной из аналоговых контроллеров. Программирование Si осуществляется по выбору: язык функциональных блоков — версия Ремиконт, МИКРОЛ — версия Ломиконт, формальные языки (СИ,

ПАСКАЛЬ, АССЕМБЛЕР) — версия EXEfile. Имеются исполнения РПО Сі, позволяющие установить такие ОС, как OS-9 и QNX. Проблемное программирование и отладка осуществляются в среде РС на языках АССЕМБЛЕР, СИ и др.

### **Средства программно-аппаратных систем ММ1 для ПЛК линий 110 и 99**

Современные ПТК SCADA-систем для построения ММ1 представляют собой пакет программ и аппаратные ЧМИ для промышленных агрегатов. Одной из базовых идей этих систем является ориентация на технолога, который, как правило, не имеет навыков программирования, но именно он разбирается в особенностях автоматизируемого ТП. С этой целью в производственную программу включено и это направление, были разработаны следующие ПТК этого типа:

ТРОС — автономное специализированное алфавитно-цифровое устройство с выводом информации на ЭЛТ (16 символов × 10 строк), вводом управляющих воздействий с технологической клавиатуры (8 режимных клавишей и 48 функциональных), со встроенным ПО; терминал предназначен для работы оператора с Ломиконт 110 во всех его режимах: ввода, корректировки и отладки ПрП; конфигурирования системных параметров и тестирования контроллера, наладки САР на базе Л110, оперативное управление процессом, он используется как локальная технологическая станция по схеме радиального подключения;

— ТРОС-2 (версия 1.x эмулирующая работу ТРОС на РС) выполнена в виде печатных плат (ПП) и подключается через МСВУ ФПИ;

— ТРОС-2 (версия 2.x) поддерживает связь с несколькими ПЛК по схеме радиального подключения, используется как многоканальная технологическая станция;

— ТРОС-2 (версия 3.x) поддерживает связь с несколькими ПЛК по схеме магистрального подключения, используется как многоканальная диспетчерская технологическая станция;

— СУБР110 — система управления несколькими ПЛК по схеме радиального подключения; используется для программирования и управления процессом в ПЛК версии Ремиконт ПО;

— ПТК D120M работает в качестве инженерной станции и станции оператора-технолога; схема подключения радиальная.

Указанные выше ММ1 имеют исполнение на базе станций, встроенных в шкаф.

Для связи с линией ПО имеются ПТК других производителей: СКАТ-Х v.5 (АО НИИ «Центрпрограммсистем», г. Тверь), VTC/VNS (фирма «ИнСАТ», г. Москва), ПТК (фирма «Цвет», г. Дзержинск Нижегородской обл.).

*Модули связи верхнего уровня с ПЛК для РС* подобных машин производства ОАО «Электроприбор» используются в системах связи с ПЛК линий 110 и 99. Однако, если производитель ППП закладывает открытость своего продукта, то у него есть шанс иметь свое место на рынке СПАС. Часть интеграторов в своей работе используют такие SCADA-системы, как CENIE 3.0, GENTSIS-32, Trace Mode, которые созданы на новейшем открытом стандарте взаимодействия аппаратуры и программных средств разных производителей и позволяют без больших затрат адаптировать к ним МСВУ ОАО «Электроприбор».

Развитие и перспективы производства СПАС обусловлены взаимодействием с потребителями продукции. Их замечания и предложения подтвердили правильность выбора направления технической политики, что позволило наметить критерии подбора номенклатуры средств для АСУТП.

Работы ведутся по следующим направлениям:

- агрегатирования ФМ в Евро-каркас;
- сопряжения ФМ, выполненных в Евро-конструктиве, с интерфейсами ISA8, VME64;
- интегрирования устройств производства ОАО «Электроприбор» с системами пользователя, построенными на других контроллерах (КАМАК, систем на базе микроРС);
- расширения номенклатуры подтипа локальных ПЛК — спец-контроллеров, например тензометрического весоизмерительного устройства ТВУ, «Тензомер 3», ЭКО604 — измерителя параметра безопасности электроустановок зданий, целевых интеллектуальных УСО, размещенных в конструктивах или базового контроллера на системной шине, или автономного исполнения с подсоединением к одной из последовательных магистралей;
- интегрирования с сетями Fieldbus (CAN, Profibus-IP, Interbus-s) и выпуска устройств, работающих в их среде;
- продвижения ТРОС-2 до развитой SCADA-системы с совместимостью сверху вниз.

*Интеллектуальный шлюз к контроллеру Ремиконт Р-130 для открытых систем промышленной автоматизации*

Отечественный производитель средств промышленной автоматизации ОАО «ЗЭИМ» (г. Чебоксары) попытался использовать достоинства контроллера Ремиконт Р-130, увеличив его сетевые возможности посредством использования открытых стандартов. Главная идея применения открытых стандартов — наиболее быстрое обеспечение конечных пользователей разнообразными конфигурациями и техническими решениями. Открытый стандарт позволяет повысить надежность и функциональную гибкость

АСУТП, построенной на базе контроллера Р-130, и создает хорошую основу для ее дальнейшего совершенствования.

Совместная разработка ОАО «ЗЭИМ» и производителя специализированных модулей ввода/вывода на базе открытых стандартов ЗАО «РТСофт» (г. Москва) интеллектуального шлюза для межсетевого взаимодействия сети «Транзит» контроллеров Р-130 и сети Ethernet верхнего уровня промышленного предприятия обеспечивает информационный обмен в среде стандартных полевых шин.

Интеллектуальный шлюз позволяет решить следующие проблемы, определяемые современными требованиями, представляемыми к автоматизированным средствам управления и сбора данных:

- объединения отдельных систем в единую АСУТП или АСУП на базе стандартных промышленных и офисных сетей;
- взаимодействия с различными современными стандартными SCADA-пакетами посредством стандартных механизмов обмена (DDE, OPC);
- повышение интеллектуальной мощности контроллеров нижнего уровня для увеличения функциональности, быстродействия и надежности системы в целом.

### **Основные технические характеристики интеллектуального шлюза**

1. Процессор 68BC302 фирмы Motorola.
2. Память DRAM 512 Кбайт, 1,5 Мбайт, ELASH 1 МВ, SRAM — 256 Кбайт (энергозависимая).
3. Базовое ПО ОС OS-9, сетевая поддержка.
4. Поддержка сетей Ethernet, Profibus DP, Modbus, Транзит, CAN (планируется).

Интеллектуальный шлюз обеспечивает выполнение следующих задач:

- прием и регистрацию данных между контроллерами Р-130 в сети ТРАНЗИТ;
- буферизацию данных, проходящих по сети ТРАНЗИТ;
- выход на стандартные сети — шлюз имеет три модификации: выход на сеть Ethernet, Profibus DP, Modbus;
- обмен данными со стандартными SCADA-системами в соответствии с современной технологией OPC.

Пользователю предоставляется также программный пакет, который позволяет задавать конфигурацию системы с использованием Р-130. Конфигурирование осуществляется посредством порта RS-232C со стороны ПК или портативного пульта оператора.

Самый распространенный из последовательных интерфейсов связи между ПК и периферийными устройствами — соответствующий стандарту EIA интерфейс RS-232C. Он входит в стандартную комплектацию PC и имеет широкую область применения. Интерфейс RS-232C предназначен для соединения двух устройств: передатчик одного соединяется с приемником другого, и наоборот, что обеспечивает полнодуплексный режим передачи данных. Для управления подключенным устройством можно использовать дополнительные линии порта RS-232C, а также специальные символы, добавляемые к передаваемым данным, или мультиплексы (до 32 каналов), рис. 8.4.

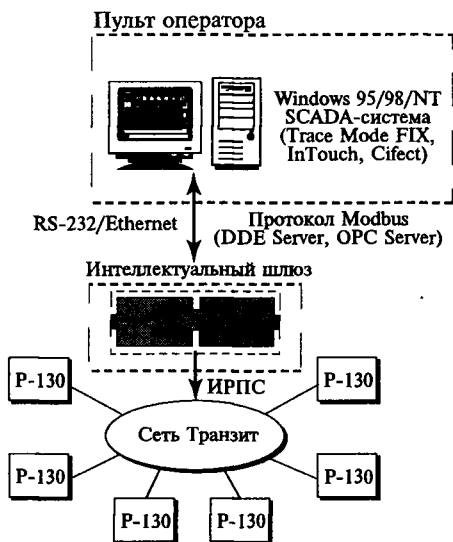


Рис. 8.4. Модульная структура автоматизированных средств управления

Интерфейс стандарта EIA RS-422A использует симметричную линию связи, обеспечивая хорошее подавление помех общего вида за счет использования витой пары в качестве линии связи. Каждый передатчик можно нагрузить несколькими приемниками, что обеспечивает возможность одновременного обмена данными с несколькими устройствами.

Наиболее распространенный в промышленности стандарт EIA RS-485 использует симметричную двухпроводную линию связи для двунаправленного обмена данными. Интерфейс обеспечивает построение сети с числом абонентов до 32, протяженностью до 1200 м. Применение ретрансляторов позволяет увеличить даль-

ность связи на расстояния свыше 1200 м. Система связи на основе интерфейса RS-485 функционирует в полудуплексном режиме, прием и передача данных осуществляется по одной витой паре проводов. Основные характеристики последовательных интерфейсов передачи данных представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Основные характеристики последовательных интерфейсов передачи данных

Стандарт \ Характеристика	RS-232C	RS-422A	RS-485
Скорость передачи	19,2 Кбит/с	10 Мбит/с	10 Мбит/с
Длина линии связи, м	15	1200	1200
Вид сигнала	Потенциальный	Дифференциальный	Дифференциальный
Число передатчиков	1	1	32
Число приемников	1	10	32
Организация связи	Дуплекс	Дуплекс	Полудуплекс, 32 абонента

Наиболее распространенным сетевым решением в последнее время является сеть Ethernet, а повышение скорости ее работы еще больше увеличивает достоинства этого стандарта. Пользователи, применяющие в настоящее время контроллеры P-130 и желающие обеспечить связь с общей сетью предприятия (обычно Ethernet), могут это осуществить путем использования нового шлюза соответствующего исполнения с установкой его в кольцо сети ТРАНЗИТ контроллеров P-130 согласно существующим правилам, рис. 8.5.

Протокол Modbus типа Master/Slave (ведущий/ведомый), разработанный компанией Modicon (США) для применения в СУ РВ, является стандартом, который поддерживают более 300 производителей промышленного оборудования. Решения в области связи между ПК и контроллерами обеспечивают совместимость и возможность объединения сетей Ethernet TCP/IP и Modbus. Так как в интеллектуальном шлюзе используется Modbus в качестве протокола, то передача данных, программ и информации через все уровни типовой системы проста и эффективна.

Непосредственно через последовательный порт ЭВМ можно легко осуществить оперативное программирование или сбор данных, что обеспечивает эффективное соединение. Модуль Ethernet поддерживает как однородную связь, так и связь «контроллер—хост», обеспечивая распространенный режим «отчет по включению». Для связи между хост-системами и сетевыми модулями Ethernet TCP/IP используется протокольный уровень



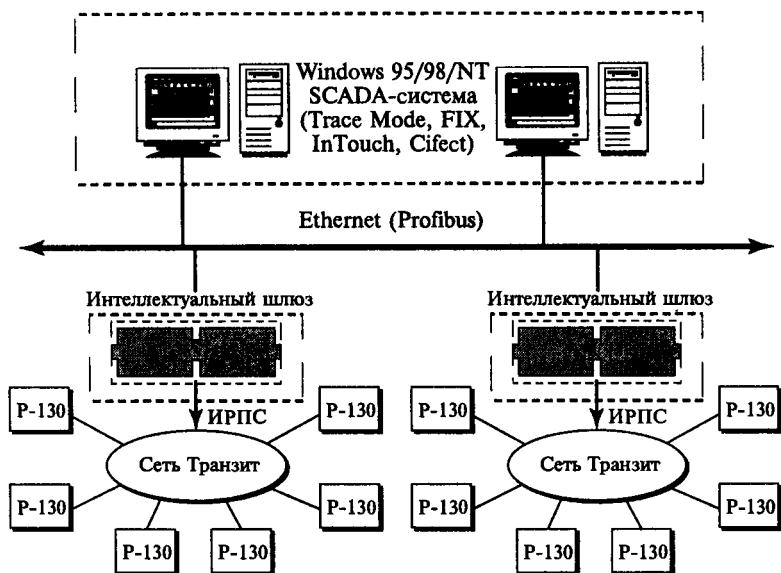


Рис. 8.5. Схема сети предприятия с использованием интеллектуального шлюза

Modbus. Для хост-систем использование одного стандартного протокола обеспечивает бесперебойную совместимость и простоту в использовании.

Программы, исполняющиеся на хост-системах, поддерживают функции считывания и записи данных в контроллеры, дистанционное программирование, а также загрузку, запись и верификацию программ. Может использоваться любая допустимая топология Ethernet TCP/IP, что обеспечивает гибкость и возможность объединения оборудования в масштабе предприятия. При необходимости стыковки со стандартными SCADA-системами дополнительно приобретается OPC сервер по числу диспетчерских мест, оснащенных этими SCADA-пакетами.

Усилиями учебно-научного центра «Интеллектуальные системы» драйвер к P-130 в инструментальной графической системе Trace Mode (фирма AdAstra) является встроенным, поэтому пользователи, имеющие Trace Mode, легко встраивают в свои проекты Ремиконт P-130. Пользователи, располагающие SCADA-системой FIX компании Intellution (США), имеют возможность работать с P-130, приобретя драйвер в фирме InduSoft (г. Москва).

При использовании интеллектуального шлюза появилась возможность использовать и другие SCADA-системы (напри-

мер, In Touch, Citect и др.) в системах автоматизации на базе P-130.

Применение сети Ethernet ограничено тем, что в АСУТП часто требуется принятие решений в РВ. Это связано с недетерминированной природой протокола Ethernet, т. е. при большой загрузке сети существует небольшая, но отличная от нуля вероятность, что сообщение, посланное одним из узлов, не достигнет адресата.

Для связи ПК с промышленными контроллерами принято использовать последовательные полевые шины (Fiedbus). К этой группе относятся несколько европейских: Profibus, FIP, Bitbus, CAN, Interbus-s и американских — Foundation Fiedbus-сетей, конкурирующих со стандартами HART, рис. 8.6.

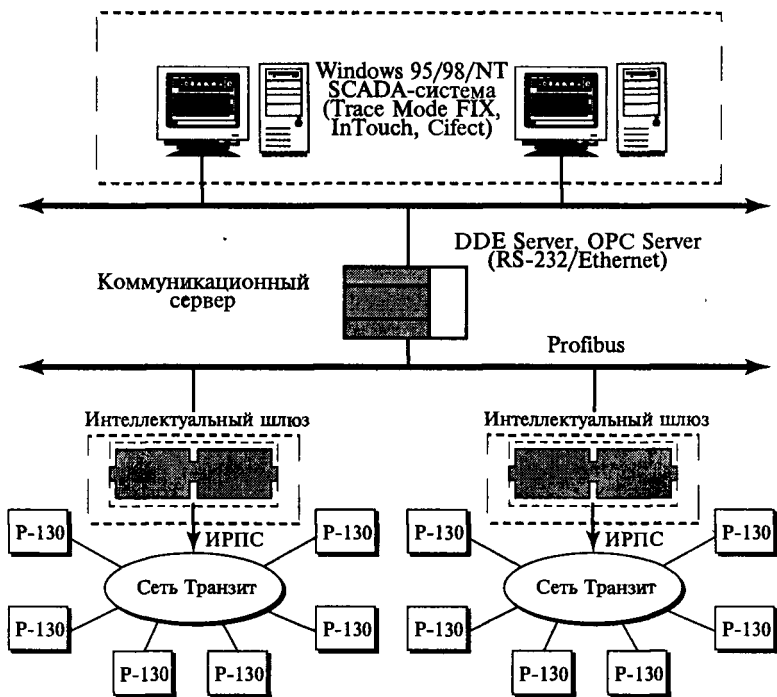


Рис. 8.6. Структура современных средств автоматизации сети предприятия

Наибольший интерес представляет сеть Profibus, которая является обязательным элементом всех современных средств автоматизации нижнего уровня. Это открытый стандарт, определяющий обмен информацией с компонентами автоматизации любых

разновидностей — ПК, ПЛК, панелями оператора, датчиками и силовыми приводами. Существуют три основных варианта Profibus: FMS, DP, ISP.

Profibus-FMS представляет собой решение задач взаимодействия на цеховом и полевом (field) уровне иерархии промышленных связей. С его помощью организуется обмен данными между интеллектуальными field-устройствами и контроллерами, а также между контроллерами. При этом время реакции здесь не очень существенно, гораздо важнее функциональные возможности.

Profibus-DP — это оптимизированная по производительности версия, предназначенная для осуществления взаимодействия, включая внутреннюю защиту.

Сеть Profibus имеет следующие основные характеристики:

- физический интерфейс EIA RS-485;
- средства передачи — экранированная витая пара;
- длина линий до 1200 м без повторителей;
- скорость передачи до 500 Кбит/с;
- максимальная длина линии до 4800 м с тремя повторителями;
- метод доступа смешанный;
- IEEE 802.4 («передача маркера») — между активными узлами;
- Master/Slave (ведущий/ведомый) — между активными и пассивными узлами.

Использование интеллектуального шлюза — существенный прогресс на пути освоения открытых систем и современных средств автоматизации промышленного производства.

Контроллер «Омь» предназначен для сбора информации о состоянии оборудования, текущих значениях технологических параметров (температуры, давления, расхода, силы тока, напряжения и т. п.). Контроллер передает собранную информацию в диспетчерский центр и обрабатывает команды по управлению коммутационной аппаратурой, полученные из центра. Конфигурация контроллера определяется требованиями объекта к числу и виду собираемых сигналов и выполняемых функций и легко изменяется (расширяется) благодаря его блочно-модульной конструкции. Информация о состоянии коммутационной аппаратуры, величинах измеряемых параметров и расходов, полученных от датчиков и счетчиков, передается на второй уровень — в диспетчерский центр по каналу связи (радиоканал или телефонным линиям). К второму уровню относится диспетчерский компьютер с ПО центра, управляющий системой в целом, и аппаратура канала связи (модем или радиостанция).

### **8.1.2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР «САТЕЛЛИТ»**

Этот контроллер используется в качестве базового промышленного контроллера, который пришел на смену контроллерам серии «Миконт-Х». Контроллер состоит из корпуса с блоками питания, центрального процессора, устройств связи и субблоками ввода/вывода данных. Каждый контроллер и субблок проходят специальный контроль на надежность и качество. Программа контроля устройства включает в себя: программно-аппаратное тестирование; проверку на испытательном и вибростенде; проверку в термокамере. Контроллер предназначен для работы в сложных климатических условиях ( $-40...+70^{\circ}\text{C}$  при относительной влажности до 95%). Питание: основное — от сети переменного тока напряжением 220 В или от сети постоянного тока напряжением 220В и резервное — от сетей постоянного тока напряжением 220В или 24В. Переход на резервное питание — автоматический.

*Центральный процессор:* тип TN80C188EB20, тактовая частота 40 МГц; память (ПЗУ, ОЗУ, ФЛЭШ) по 256 Кбайт.

*Интерфейсы связи.* Связь комплекса ПТК с внешними устройствами осуществляется через блоки связи контроллера, которые поддерживают протоколы: RS-232, RS-485; токовую петлю 20 мА; С1-ТЧ (модем с частотной модуляцией для физической линии, телефонных и радиоканалов).

Контроллер «Сателлит» имеет встроенные логические протоколы Modbus, Modbus Plus, HDLC, Сириус и др.

Функциональные возможности контроллера: авторская диагностика и тестирование аппаратных средств и каналов связи, обеспечение работы до 32000 контроллеров в одной сети, организация доступа к любому контроллеру из всех точек системы, удаленное от объекта программирование БД и алгоритмов работы контроллеров, конвертирование протоколов, ретрансляция, эстафетная передача информации по каналу связи, наличие выносного диагностического блока, резервирование каналов связи.

### **8.1.3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ СЕРИИ ЭК-2000**

Эти контроллеры, выпускаемые предприятием «Эмикон», отвечают требованиям ГОСТ 29125, ГОСТ Р МЭК 870 и МЭК 801-5. Они построены на современной элементной базе ведущих мировых фирм. Изготовление печатных плат модулей и монтаж электронных компонентов проводится фирмой TDE Масно по конструкторской документации, разработанной ЗАО «Эмикон». Данная фирма осуществляет общую сборку и наладку модулей и

контроллеров. При этом обеспечиваются высокие качество и надежность контроллеров, а их стоимость существенно ниже стоимости аналогичных изделий иностранных фирм.

#### **8.1.4. КОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВА СИКОН (СЕТЕВОЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР)**

Фирма «КОК» (г. Москва) разрабатывает, производит и поставляет промышленные контроллеры семейства СИКОН, модули УСО и программные средства. В качестве элементной базы применяются новейшие компоненты ведущих зарубежных фирм Siemens, Analog Device, Wago, Burr-Bourns, Bourns, Traco, Vopla и Scroff, что позволяет повысить надежность и качество разработанных изделий.

Применение изделий фирмы «КОК» целесообразно при создании или модернизации систем управления и сбора данных; они обладают высокой надежностью, приемлемой стоимостью, возможностью сотрудничества с разработчиками фирмы как при создании системы, так и при последующем ее внедрении; имеют документацию на русском языке.

В настоящее время наблюдается переход от централизованных систем управления к распределенным, когда каждый элемент системы является активным узлом.

Семейство контроллеров «СИКОН» реализовано на основе микроконтроллеров SAB 80C 166, SAB — C 165, SAB — C 167, выпускаемых фирмой Siemens. Ядром микроконтроллеров является RISC-процессор с развитой системой команд и мощной периферией, включающей АЦП, гибко конфигурируемые таймеры, блоки обработки импульсных сигналов, параллельные и последовательные порты.

Архитектурные и конструктивные решения контроллеров СИКОН позволяют применять их в качестве узлов PCY.

В состав контроллеров входят:

- микроконтроллер семейства SAB;
- внешняя память, реализованная в виде статистического ОЗУ и FLASH-памяти, объем памяти зависит от типа контроллера и варьирует от 256 Кбайт до 16 Мбайт;
- часы реального времени;
- внешние интерфейсы: Profibus (Process Fieldbus), резервированные линией связи (два канала); последовательный — RS-232;
- дискретный ввод/вывод на 2048 точек через параллельный двунаправленный порт; частотный ввод/вывод по 16 или 28 каналам в зависимости от типа контроллера;

— система питания контроллеров: промышленная сеть (36±9) В или литиевая батарейка с ЭДС 3В.

Все контроллеры выпускаются в одноплатном исполнении. Основной типоразмер плат — E2 (233,4 × 220 мм). Плата связи с Profibus, встраиваемая в РС, имеет размер 157 × 1000 мм. Диапазон рабочих температур 0 ÷ +70°C или -40 ÷ +85°C (по заказу).

Для установки контроллеров в промышленных условиях используется специальный корпус, вмещающий до четырех контроллеров. На переднюю панель корпуса выведены информационные светодиоды, сигнализирующие о ходе выполнения внутренних тестов контроллеров или о их штатной работе. Корпус с установленными в нем платами контроллеров представляет собой законченную конструктивную единицу, называемую моноблоком, «начинка» которого зависит от вида разрабатываемой системы.

PCY и сбор данных на основе контроллеров семейства СИКОН обеспечивают:

— распределение элементов на объекте, удобство компоновки системы и значительное сокращение затрат на монтаж;

— малые сроки разработки, так как большая часть аппаратных средств и ПО не требует модификации;

— простоту тестирования и отладки, поскольку на каждом элементе системы обеспечивается самодиагностика и поиск неисправностей;

— высокую надежность.

В распределенных системах управления на основе контроллеров СИКОН логически можно выделить две подсистемы: ввода и отображения и управления.

ПК, содержащие плату связи с Profibus, представляют собой подсистему отображения, которая позволяет оператору следить за ходом ТП по показаниям различных датчиков, отображаемым каким-либо из дисплеев, и соответствующим образом корректировать процесс.

Контроллеры типа «СИКОН» и УСО образуют подсистему управления, обеспечивающую сбор и обработку информации, поступающей от различных датчиков, и выдачу соответствующих управляющих воздействий на объект. Связь между отдельными узлами системы осуществляется по сети Profibus.

*Основные параметры сети Profibus:* интерфейс RS-485; режим передачи последовательный; максимальное расстояние между узлами — 1200 м; число узлов — до 127; скорость передачи — до 12 Мбод; резервирование линий связи — 2; протокол передачи DIN 19245, ч. 1 и 2.

*Устройство связи с объектом (УСО).* Сопряжение датчиков и ИМ объекта с контроллерами семейства СИКОН осуществляется с помощью кроссовых блоков (БКР).

Основные функции БКР:

— ввод в контроллер сигналов, характеризующих состояние объекта;

— вывод управляющих сигналов на исполнительные устройства объекта;

— гальваническое разделение между внутренними цепями контроллера и цепями, связанными с объектом;

— фиксация жил кабелей, соединяющих контроллер с объектом.

Функции ввода/вывода и гальванического разделения реализуются с помощью одно-, двух- и четырехканальных модулей, что позволяет компоновать БКР без избыточности при любом числе датчиков и ИУ. В модулях используются изделия таких фирм, как Analog Device, Zurr-Brown, Bourne, Traco. Функция фиксации жил кабелей реализуется с помощью зажимов, имеющих пружинные контакты производства фирмы WAGO, что обеспечивает максимально прочный электрический контакт.

*Базовое ПО* ориентировано на программную поддержку PCU и сбор данных, построенных на основе контроллеров семейства СИКОН.

*ПО подсистемы управления* включает: ОС РВ 167; сетевую задачу; задачу ввода/вывода и управления.

*ОСРВ 167* обеспечивает многозадачность, запуск и останов решения задач в соответствии с их приоритетом, синхронизацию задач между собой, их планирование, обслуживание прерываний, распределение оперативной памяти, службу времени, работу с ведомостью событий.

*Сетевая задача* предназначена для связи между различными узлами. Алгоритм связи совместим с сетью Profibus и реализуется сетевой задачей. Последняя использует запросы ОС РВ 167, поэтому может применяться только совместно с ней, обеспечивая чтение данных и их запись в различные массивы памяти, передачу сообщений в задачи любых узлов сети, прием сообщений от задач любых узлов сети, запрос буфера динамической памяти, запуск и останов решения задач, общий сброс контроллера.

*Задачи ввода/вывода* формируются и поставляются в соответствии с пожеланиями заказчика из предлагаемого перечня: ввод и фильтрация дискретных сигналов, ввод частотных сигналов, сетевой ввод, ПИД-регулирование.

*Задача управления* уникальна для каждой конкретной системы и разрабатывается совместно с пользователем. Она анализирует

данные, полученные от задач ввода, и формирует соответствующие сигналы на объект.

*ПО подсистемы отображения информации* включает ОС РВ 167, сетевую задачу, задачи ожидания информации от РС и узлов Profibus.

*Задачи платы связи* генерируются разработчиком и поставляются заказчику в виде загрузочного модуля, загрузка и запуск осуществляются специальным загрузчиком. На основе контроллеров СИКОН (например, СИКОН 166.30) реализована система сбора и обработки информации, поступающей от датчиков температуры, давления и расхода контуров регулирования. Она применяется в машиностроении, пищевой промышленности, обычно используется полный комплект базового ПО.

### **8.1.5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПЛК ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СЕРИИ КОНТРАСТ**

Эти комплексы (контроллеров для распределенных систем автоматизации технологических процессов) разработаны и производятся чебоксарским ЗАО «ЗЭИМ-инжиниринг» как основной элемент поставляемых ПТК для АСУТП различных отраслей промышленности. Контроллеры ориентированы на работу в составе сложных СА различной архитектуры в качестве устройств нижнего уровня, но могут успешно использоваться и в автономном режиме благодаря наличию встроенных пультов для интерфейса оператора с ТП или оборудования, а также интерфейсов для подключения терминалов (алфавитно-цифрового дисплея, принтера и т. п.).

#### **Краткий обзор контроллеров серии КОНТРАСТ**

В состав контроллеров серии КОНТРАСТ входят контроллеры трех типов: РК-131/300, КР-300, КР-310. Все они построены по единой идеологии и различаются лишь значениями некоторых характеристик (числом входов/выходов, производительностью, объемом памяти и т. п.).

*Модель РК-131/300* относится к классу мини-контроллеров и предназначена для автоматизации сравнительно несложных объектов, отличается широкими функциональными возможностями, высокой производительностью контроллерной сети и обработки данных. В модели используются конструктивы и модули УСО контроллера РК-130.

*Модель КР-300* имеет большее число входов/выходов и в зависимости от состава может быть использована и как мини-кон-



троллер, и как УСО контроллера РК-130. Она содержит встроенный пульт оператора с более развитыми возможностями для управления как функционально ориентированными подсистемами (регулирование, логическое управление и т. п.), так и объектно ориентированными на управление конкретным технологическим агрегатом.

*Модель КР-310* по классу аналогична предыдущей модели, но обладает более эффективной внутренней архитектурой, ориентированной на построение высоконадежных структур для выполнения особо ответственных функций, в том числе защиты. В состав модели входят более производительный процессор с развитыми коммуникационными возможностями: использованы комплект модулей УСО с большим числом каналов, выполненный на современной элементной базе, интеллектуальные модули контроллерных и полевых сетей различного назначения.

Конструктивной основой модулей контроллеров РК-131/310 и КР-310 является двусторонняя печатная плата размером 235 × 140 мм с защитной маской и двумя разъемами типа СНП58-64/94 × × 9В-23-1. Один разъем служит для установки модуля в корпус блока КР-310 или БУСО-310 и подключения к системной шине контроллера, второй — для подключения всех входов/выходов модуля посредством клеммно-модульного соединителя. Все контроллеры серии КОНТРАСТ построены по единой технологии, соответствующей концепции «минимального риска пользователя». Основные технические решения ориентированы на достижение высокого качества.

Эти модели контроллеров характеризуют:

Высокая надежность управления, включающая надежность аппаратуры и хранения программ и данных; малое время рестарта контроллера, в течение которого отсутствует управление при сбоях в работе по разным причинам; надежность обработки и передачи данных за фиксированное время; работа в «жестком РВ»; исключение воздействий на объект.

Контроллеры этой серии обладают широкими функциональными возможностями, обеспечивают интегрирование всех функций автоматизации (регулирования, логического управления, защиты и блокировки, пуска и останова оборудования, учета материальных и энергетических потоков, оптимизация процессов, произвольных вычислительных задач).

Отмечается высокая производительность контроллеров и систем автоматизации на их базе.

Привлекает низкая стоимость как приобретения контроллеров, так и проектирования систем и их сопровождения.

*Контроллеры этой серии построены на базе следующих технических решений:*

1. Использована фирменная ОС РВ, оптимизированная по составу функций для управления вычислительными процессами контроллера. Система работает по принципу отложенных прерываний с фиксированными приоритетами, время обработки прерываний 10 мкс, цикл обработки отложенных прерываний 1 мс.

2. Обеспечено хранение всех системных и пользовательских программ, конфигурации, настроек, коэффициентов и другой постоянной и условно постоянной информации только во флэш-ПЗУ процессора, а оперативных данных — в ОЗУ с питанием от батареек, что обуславливает высокую помехозащищенность данных.

3. Все программы исполнены из флэш-ПЗУ, при этом упрощается ОС, исключаются процедуры загрузки и сокращается время рестарта контроллера, в течение которого теряется управление объектом.

4. В состав модели КР-310 введены полевые сети для дистанционного сбора данных и управления. Управление сетью осуществляется по методу «ведущий-ведомый», где функции ведущего выполняет контроллер, ведомого — устройство полевой сети. В качестве последней используются изделия комплекса КОНТРАСТ (контроллеры, интеллектуальные модули УСО, ИМ и другие устройства, специализированные под технологический тип оборудования), а также изделия других фирм (серии АДАМ-4000, АДАМ-5000 и т. п.).

5. Осуществлено резервирование контроллеров (для КР-310 — резервирование и мажорирование контроллеров и отдельных модулей, в том числе при передаче управления от одного контроллера к другому) при непрерывной жесткой синхронизации (в пределах одного цикла работы) БД основного и резервного устройств. Кроме того, выполняется непрерывный контроль и сравнение значений входных сигналов обоих контроллеров и срабатывает сигнализация в случае их расхождения с допустимыми значениями.

6. Используются технологические языки двух классов в соответствии с рекомендациями МЭК 1131.1: языка функциональных блок-схем ФАБЛ (регулирование, логическое управление, шаговые программы) и языка «структурированный текст» ПРОТЕКСТ (задачи пусков и остановов, произвольные вычислительные задачи).

7. Высокая производительность контроллеров обеспечивается с помощью 32-разрядного МП, сопроцессора (КР-310), оптимальной организации вычислительного процесса, реактивности обработки прерываний. Большая производительность систем на базе кон-

троллеров серии КОНТРАСТ определяется повышенной скоростью контроллерной сети и шлюзовых каналов, возможностью параллельного шлюзования ЭВМ верхнего уровня к сети и одновременного обмена данными через любое число контроллеров.

8. Фирменное ПО, реализующее все функции контроллера в РВ, является резидентным и поставляется вместе с контроллером.

Контроллеры РК-131/300, КР-300 прошли промышленные испытания и находятся в эксплуатации.

### **Промышленный контроллер повышенной надежности КР-300И серии КОНТРАСТ**

Этот контроллер разработан как очередная модель серии КОНТРАСТ на основе опыта промышленной эксплуатации контроллеров КР-300. В контроллере КР-300И реализован комплекс программно-аппаратных решений, обеспечивающих его эффективное применение в системах измерения, регистрации, управления и защиты с повышенными требованиями к надежности.

Программирование контроллеров осуществляется при помощи двух технологических языков — графического языка функциональных алгоритмических блоков ФАБЛ и текстового процедурного языка высокого уровня ПРОТЕКСТ, что не требует привлечения профессиональных программистов.

Контроллер КР-300И построен на штатной аппаратуре контроллера КР-300 и трех дополнительных интеллектуальных модулей с встроенными микропроцессорами:

- ввода/вывода аналоговых сигналов МСА 2 (8 каналов ввода и 2 канала вывода унифицированных сигналов  $0 \div 5$ ,  $4 \div 20$  мА с полной гальванической развязкой между каналами и системой);
- ввода аналоговых и вывода дискретных сигналов МДА 2 (8 каналов ввода унифицированных аналоговых сигналов  $0 \div 5$ ,  $0 \div 20$ ,  $4 \div 20$  мА и 4/2 канала вывода дискретных/ импульсных сигналов с полной гальванической развязкой между каналами и системой);
- интерфейсных каналов, содержащих 4 последовательных асинхронных канала, каждый из которых обслуживается отдельным микропроцессором.

Модули МАС 2 и МДА 2 благодаря встроенному микропроцессору обеспечивают:

— автономное, без участия центрального процессора, управление процессами ввода/ вывода, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования, а также автоматическую калибровку и настройку на тип сигнала аналоговых каналов в циклическом режиме;

— возможность выбора одного из четырех интервалов интегрирования в АЦП в целях повышения точности входных анало-

говых каналов — 20, 40, 80, 160 мс (12, 13, 14, 15 разрядов соответственно);

— автономное широтно-импульсное модулирование импульсных выходных сигналов; встроенные средства диагностики и установки выходов в заданное состояние в аварийных ситуациях.

Концепция построения контроллера КР-300И реализует принцип нечувствительности технологических программ к особенностям построения и работы аппаратуры ввода/вывода аналоговых сигналов и датчиков этих сигналов. Технологическая программа строится в терминологии номеров входных и выходных аналоговых и дискретных каналов и функций обработки информации.

В контроллере КР-300 при рестарте нет необходимости загрузки системных и прикладных программ, так как они записаны во флэш-памяти, находящейся в адресном пространстве процессора. БД контроллера сохраняется в статической памяти благодаря встроенной резервной батарее, поэтому для рестарта необходимо только инициализировать процессор и установить выходы контроллера (сбросить при холодном пуске или подтвердить предыдущие значения из БД технологической программы при просечках питания, на это затрачивается примерно 500 мкс. После операций рестарта начинает выполняться технологическая программа.

### **8.1.6. РС-СОВМЕСТИМЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ КОМПАНИИ «ТЕКОН»**

Сфера деятельности российской компании «ТЕКОН» — разработка и производство средств автоматизации, в основном электро- и теплоэнергетики. В ассортимент продукции входят ПЛК МФК, ТКМ-21, ТКМ-51, ТКМ-52 различной мощности и комплектные шкафы автоматики на их основе, ЛВС для СА, а также встроенная программная поддержка и инструментальные программные средства.

Значительное внимание уделяется обеспечению стыковки программных средств контроллеров компании с современными SCADA-системами. Наличие стандартных интерфейсов и разработка собственного OPC-сервера позволяют системным интеграторам практически без ограничений применять контроллеры компании «ТЕКОН» в различных АСУТП.

ПК-совместимые многофункциональные контроллеры (МФК) предназначены для реализации функций контроля, программного регулирования, логического управления, многоконтурного регулирования, выполнения сложных алгоритмов управления, требующих большой вычислительной и информационной мощности.

Контроллеры интегрируются в промышленные ЛВС уровней LAN и fieldbus (Bitbus, CAN, Ethernet, Astranet).

Информационная мощность: процессор 586 — 133 МГц, дискретные входы — 768, выходы — 640, аналоговые входы — 256, выходы — 128. Рабочий диапазон температур  $5 \div 50^{\circ}\text{C}$ . Система не требует принудительного охлаждения. Возможность резервирования (дублирования). Системное ПО (СПО) контроллера МФК состоит из ОС Linux, сервера ввода/вывода, сервера глобальных переменных, целевой задачи ISaGRAF.

### *Основные характеристики СПО*

- многозадачность: число задач, одновременно решаемых в системе, ограничивается лишь объемом ОЗУ;
- мягкое РВ с временем реакции 10 мс;
- защищенность от программных сбоев: ОС и каждой задаче выделяется виртуальное адресное пространство, защищенное от «проникновения» других задач;
- поддержка всех аппаратных ресурсов контроллера (Flash-диски, RTC, Watch Dog, Ethernet, последовательный и параллельный порты и др.).

Сетевые средства, входящие в состав СПО (сервис TCP/IP), обеспечивают:

- удаленную отладку пользовательских программ;
- конфигурирование системы в целом (включая ввод/вывод);
- копирование файлов;
- доступ к глобальным переменным контроллера.

### **Система программирования контроллера**

Tесon CX (Текон Си Икс) — система подготовки технологических программ пользователя для контроллера МФК на языке Си, имеет экранный интерфейс, аналогичный оболочкам Borland и Текон С+, поддерживает написание и удаленную отладку многозадачных проектов (Ethernet, Arcnet, RS-232) на реальном контроллере. Библиотеки Текон CX предоставляют пользователю удобный интерфейс к модулям ввода/вывода и сетевым ресурсам для организации обмена данными между задачами как в одном контроллере, так и между контроллерами в системе. Среда разработки не имеет ограничений на число проектов и рассчитана на пользователей-программистов.

Известная система программирования контроллеров IsaGRAF разработки фирмы CJ International (более 100000 лицензий по всему миру) сегодня может быть использована при подготовке программ для контроллеров МФК. IsaGRAF — это полная под-

держка всех языков стандарта IEC 1131-3 (Международный стандарт «Программируемые контроллеры. Языки программирования»: язык последовательных функциональных схем (SFC); язык релейных диаграмм (LD); язык функциональных блоковых диаграмм (FBD); структурный текст (ST); язык инструкций (IL). Версия IsaGRAF v.3.32 полностью русифицирована.

**Технологический контроллер моноблочный ТКМ-51** предназначен для реализации функций контроля, программно-логического управления, регулирования, противоаварийных защит и блокировок, систем учета теплоты и энергоресурсов.

Информационная мощность: дискретные входы — 192, выходы — 160; аналоговые входы — 64, выходы — 32. Рабочий диапазон температур  $5 \div 50^{\circ}\text{C}$ . Система не требует принудительного охлаждения. Имеется возможность резервирования (дублирования). Исполнение — настенный моноблок.

ТКМ-51 — настенный защищенный конструктив (один модуль вычислительный, до четырех модулей ввода/вывода). В ТКМ-52 используется ПК-совместимый процессорный модуль.

Встроенное СПО контроллера включает:

- многозадачную ОС PB OS 51 (до трех пользовательских задач с временем переключения задач до 1 мс;
- диалоговую программу конфигурирования контроллера SETUP;
- программу DEBUG, обеспечивающую доступ к вводу/выводу и памяти контроллера со встроенной консолью;
- самодиагностику процессора и модулей ввода/вывода;
- систему ввода/вывода;
- поддержку ЛВС Bitbus, интерфейсов RS-232,-485, параллельного интерфейса.

СПО обеспечивает:

- сетевой обмен в режиме PB;
- удаленную загрузку, отладку и запуск прикладных программ;
- удаленный доступ к ресурсам памяти прикладной программы и области памяти данных в режиме on-line;
- встроенные консоли в режиме on-line для отображения параметров и ввода информации оператором АСУТП.

Система программирования контроллера Tescon C+ — система подготовки технологических программ пользователя для контроллера ТКМ-51 на языке Си, имеет экранный интерфейс, аналогичный оболочкам Borland и Tescon CX, поддерживает написание и удаленную отладку пользовательских программ (Bitbus, RS-232) на реальном контроллере, учитывает особенности организации системного ПО контроллеров — библиотечные функции «прошиты» в системной памяти контроллера. Библиотека Tescon C+ предоставляет пользователю удобный интерфейс к модулям вво-

да/вывода, часам РВ и другим аппаратным ресурсам. Поддерживается одновременная работа до 16 таймеров, 16 счетчиков, 32 детекторов и 32 триггеров. Среда разработки не имеет ограничений на число проектов и рассчитана на пользователей-программистов.

**Технологический контроллер моноблочный ТКМ-52** предназначен для сбора, обработки информации, реализации функций контроля, программно-логического управления, регулирования, противоаварийных защит и блокировок, систем учета теплоты и энергоресурсов в составе распределенных иерархических или локальных автономных АСУТП.

Информационная мощность: процессор 586 — 133 МГц; дискретные входы — 192, выходы — 160, аналоговые входы — 64, выходы — 32. Рабочий диапазон температуры 5 + 50°С. Система не требует принудительного охлаждения. Возможность резервирования (дублирования). Исполнение — настольный моноблок.

ТКМ-52 — это модульный защищенный конструктив (модуль центрального процессора, до четырех модулей ввода/вывода). В ТКМ 52 используется ПК-совместимый процессорный модуль.

Системное ПО контроллера ТКМ 52 состоит из ОС системы (Linux), серверов ввода/вывода и глобальных переменных, целевой задачи IsaGraf и программы DEBUG.

Основные характеристики СПО такие же, как для ТКМ 51.

### **8.1.7. ПТК УНИКОНТ**

Этот ПТК создан (НПО «Квантор») для обеспечения систем промышленной автоматике:

Комплекс включает:

- ПЛК, в том числе всепогодные необслуживаемые;
- УСО, в том числе выносные многоканальные измерительные преобразователи, ИУ бесконтактные и релейные, пускатели бесконтактные 220/380В от 5 до 25 А;
- рабочие станции;
- оборудование для АРМ оператора-технолога, в том числе пульты, информационное табло, клавиатуры функциональные;
- сетевые средства, в том числе мультиплексоры RS-232, ИРПС, сетевые адаптеры и ретрансляторы Arcnet;
- пакеты прикладных программ.

Контроллеры изготавливаются на базе микропроцессоров Intel 80C186, 80386, 80486, рабочие станции — на базе микропроцессоров Pentium 11.

ПТК Униконт позволяют компоновать СА требуемых конфигураций, в том числе территориально рассредоточенные. Устрой-

ства связи с объектом обеспечивают ввод/вывод любых сигналов ГСП. Возможна также метрологическая аттестация измерительных каналов. Преобразователи сигналов термопар и термосопротивлений имеют пожаробезопасное исполнение. Технические характеристики контроллеров представлены в табл. 8.2:

Таблица 8.2

Технические характеристики контроллеров

Наименование параметров		УК 743.1	УК 743.4	УК 743.2	УК 743.3
1. Тип микропроцессоров		80C186EC	Me1386EX	803868X	80486BX2
2. Объем ОЗУ Объем ПЗУ	Стат. ОЗУ, Кб	128 — 256	1024	—	—
	Динам. ОЗУ, Мб	—	—	2—16	4—32
Объем ПЗУ	Программируемое ПЗУ, Кб	512	128	64	64
3. (FLASH) Электрический диск, Мбайт		—	1	—	—
4. Доп. блок расш. памяти	ПЗУ (FLASH), диск, Мбайт	1...8			
	ОЗУ диск, Мбайт	0,128...1,0			
5. Производительность; млн опер/с		2	7	9	50
6. Наличие энергонезависимости часов РВ		да			
7. Интерфейс связи		Ethernet, Arcnet, RS-232, RS-485, ИРПС			
8. Панель оператора		по заказу			
9. Конструктивное исполнение: конструктив и габар. размеры, мм		шкаф напольный (1600x800x450), шкафы навесные (500x600x450), (420x500x300)			
10. Степень защиты от пыли и брызг		IP 20, IP 54			
11. Количество компоновочных мест		7 + 40			
12. Рабочий диапазон температур		от 30 до 50°С		от 5 до 40°С	

Конструктивные контроллеры и комплексы компонуются в навесных и напольных шкафах, которые обеспечивают защиту от пыли и брызг (степень защиты IP20, IP54). Рабочий диапазон температур от -30 до +50° С.

Аппаратные средства УНИКОНТ поддерживаны ППП, работающими в среде ОС QNX или Windows NT 95/98 и Windows NT.

Применение ПТК УНИКОНТ:

- создание систем промышленной автоматики, АСУТП, электронных щитов КИПиА;



- создание систем учета и управления ресурсами (газ, жидкость, тепло-, электроэнергия), а также управление агрегатами, установками, тренажерами;

- испытание моторов, двигателей и т. п.

ПТК УНИКОНТ успешно работают на объектах химической, газовой, машиностроительной, пищевой промышленности, в энергетике, на транспорте России, Украины и других.

## **8.2. ЗАРУБЕЖНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ**

### **8.2.1. AUTO-LOG ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ**

Это полнопрограммные программно-аппаратные комплексы для АСУ фирмы FF Automation OY (Финляндия).

Все контроллеры Auto-Log поддерживают сотовую связь в стандарте GSM, реализуя функции дистанционного управления, телеметрического сбора данных и аварийной сигнализации для мобильных измерительных и управляющих систем или мобильных операторов.

Последнюю серию модульных расширяемых контроллеров Auto-Log называют Brick (кирпич). В серию входят контроллеры AL-14, AL-20 и 100 Brick. Все контроллеры этой серии имеют корпус, предназначенный для монтажа на DIN-рельс. Самый малый (AL-14 Brick) рассчитан на восемь дискретных входов, семь дискретных выходов и один аналоговый вход, а самый большой (AL-100 Brick) наращивается с помощью модулей расширения (до пяти) от начальных 16 дискретных входов/выходов на дополнительные 160 дискретных или 80 аналоговых сигналов. Модули расширения поддерживают широкую номенклатуру входных сигналов, включая прямой вход температурных сигналов. Одновременно в контроллере может работать до 32 контуров ПИД регулирования.

В своей деятельности фирма стремится обеспечить плавный рост информационной мощности и сохранить полную программную совместимость, начиная с недорогих малоканальных систем и заканчивая системами рассчитанными на подключение нескольких сот сигналов к одному контроллеру.

Фирма FF Automation OY в настоящее время осуществляет промышленное изготовление нижеперечисленных контроллеров AutoLog: (AL)-14, -RTU -16 DI, -16AN, -32DI, -32AN, -32PL, -2000S, -2000L.

Контроллеры AL-2000 и базирующаяся на них интегрированная программная среда PCY — это полностью проектно компо-

нуемое изделие выпускаемое в конструктивах с числом посадочных мест 3 ÷ 16; тип процессорной платы выбирается в соответствии с потребностями задачи; номенклатура плат ввода/вывода предоставляет широкий выбор типов подключаемых сигналов и вариантов их гальванической развязки; система удобна в эксплуатации, при диагностике обрыва и короткого замыкания для дискретных входов; имеет программный выбор диапазона измерения для каждого аналогового ввода. На основе контроллеров этой серии можно создавать системы высокой надежности с использованием схем дублирования и троирования.

Все контроллеры AutoLog метрологически сертифицированы в России, а контроллеры AL-32 и AL-2000 аттестованы по Морскому регистру.

## Терминалы

Фирма FF Automation OY выпускает большой набор терминальных устройств (ЧМИ) с пылебрызгозащищенной передней панелью: от малых — с экраном в одну или несколько строк и десятком клавиш — до больших с жидкокристаллическими графическими сенсорными мониторами. Все устройства подключаются к любому из контроллеров AutoLog и взаимодействуют с его программой.

Все контроллеры этой фирмы поддерживают промышленный коммуникационный протокол Modbus, позволяющий подключить к одному компьютеру до 256 различных устройств. Контроллеры серии AL-2000L имеют развитые коммуникационные возможности за счет объединения в сеть по одному из поддерживаемых промышленных протоколов, например Ethernet. При этом число входов/выходов системы практически не ограничено за счет возможности использования контроллеров AL-2000S в качестве удаленных устройств ввода/вывода, подключаемых по цифровому каналу связи (в том числе Profibus) к ведущему контроллеру AL-2000S или AL-2000L.

Диспетчерская система для территориально распределенных объектов AutoLog КТО, построена в виде древовидной структуры со связью по телефонным или радиоканалам и возможностью дублирования канала.

Для программирования контроллеров AutoLog используется программа ALProWin, реализующая расширенный язык инструкций с дополнительно встроенными библиотечными алгоритмами, такими, как ПИД-регуляторы. Для контроллеров AL RTU, AL-2000L применяется интегрированная система программирования FCS с поддержкой четырех языков в стандарте I131-3 (язы-

ки релейно-контактных схем, функциональных блоков, шаговых последовательностей и структурированный текст) и возможностью расширения за счет программ, написанных на языке С. В качестве среды исполнения в этих контроллерах используется ОС РВ QNX, обеспечивающая высокую производительность, следование программным стандартам обмена данными и высокую надежность за счет возможности дублирования сетевых каналов связи.

Алгоритм ПИД регулирования недостаточен для качественно регулирования многих ТП, поэтому фирма реализовала в контроллерах AL-2000 современные алгоритмы управления на базе нечеткой (fuzzy) логики.

В качестве ПО АРМ операторов используются SCADA-пакеты Paragon (Nema Soft USA) или VNS (Ин CAT, РФ), а также любые другие SCADA-пакеты.

При реализации особых требований, например, к вычислительной обработке собранной информации или ее передаче внешним программам в рамках одного из интерфейсов DDE, ODBC, следует ориентироваться на базирующийся на Windows NT пакет программ Paragon, цена которого вполне соответствует его мощности и находится на типичном для зарубежных пакетов такого класса уровне.

Если ограничиться стандартными АСУТП-функциями, то заказчика привлечет низкая цена, простота освоения и русскоязычное сопровождение российского пакета УШ, позволяющего строить гибкие системы с отечественными и импортными контроллерами и передачей данных между ними. В случае приобретения техники AutoLog у московского представителя FF Automation ОУ (фирма ИнСАТ) каждый контроллер комплектуется бесплатным пакетом программ VNS, рассчитанным на полное число входов/выходов поставляемого контроллера.

### **8.2.2. КОНТРОЛЛЕРЫ SIMATIC**

Семейство контроллеров SIMATIC включает в свой состав большой набор изделий, от миниатюрных контроллеров до главных компьютеров, которые могут быть использованы для решения задач автоматизации любой сложности.

Все контроллеры отличаются высокой производительностью при незначительных размерах и массе, отвечают жестким требованиям условий эксплуатации, допускают расширение.

Основу семейства SIMATIC составляет ряд контроллеров различной производительности.

**SIMATIC 505** — программируемые контроллеры, которые обеспечивают комплексное выполнение задач построения замкнутых и разомкнутых систем автоматического управления высокой степени сложности. Высокая вычислительная мощность в сочетании с высоким быстродействием позволяет контроллерам SIMATIC 505 выполнять полный комплекс задач управления. Технические характеристики контроллеров позволяют выполнять любые сложные комплексы задач управления или скоростного управления оборудованием.

Контроллеры SIMATIC 505 позволяют использовать в своем составе широкую гамму модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, интеллектуальных модулей ввода-вывода, коммуникационных процессоров. При необходимости в составе контроллеров могут быть использованы модули АТ-совместимых компьютеров.

Контроллер SIMATIC 505 позволяет создавать распределенные системы управления. К нему могут подключаться мощные устройства распределенного ввода-вывода и стойки расширения ввода-вывода, удаленные от центрального контроллера на расстоянии до 1000 м.

Для автоматизации наиболее важных и ответственных процессов могут быть использованы дублированные системы на основе контроллеров SIMATIC 560T/565T и модулей ввода-вывода 505.

Для программирования контроллеров применяют программное обеспечение SIMATIC TISOFT и SIMATIC APT. SIMATIC APT использует CASE (computer-aided software engineering) технологию структурного программирования для автоматизации последовательных процессов и процессов регулирования в замкнутых системах.

## **SIMATIC S5**

За период эксплуатации системы автоматизации SIMATIC S5 подтверждена их высокая надежность. Они включают в свой состав широкую гамму программируемых контроллеров, интеллектуальных модулей ввода-вывода, программных решений и т. д.

Эти ПЛК выполняют следующие функции: автоматическое регулирование; позиционирование; счет и масштабирование; управление задвижками и многое другое.

Для этих систем используются интеллектуальные модули ввода-вывода. Они обладают высоким быстродействием, оснащены встроенными микропроцессорами, имеют связь с процессором через собственные входы и выходы и способны автономно решать возложенные на них задачи. Применение интеллектуальных

модулей позволяет существенно разгрузить центральный процессор контроллера.

Наряду со стандартными системами S5-95U, S5-115U и S5-155U, серийно выпускаются следующие ПЛК:

— S5-95F и S5-115F — два отказоустойчивых ПЛК, которые могут использоваться везде, где существует опасность для людей, окружающей среды и производства;

— S5-115H и S5-155H — две отказоустойчивые системы для автоматизации производств, простой которых влечет за собой большие убытки.

Для управления процессами, характеризующимися размещением основного оборудования на значительных расстояниях друг от друга, рекомендуется использовать модульные системы распределенного ввода-вывода: при эксплуатации системы ET100U модули ввода-вывода могут располагаться на расстоянии до 3 км.

Семейство SIMATIC предлагает широкий спектр программаторов — от простейших ручных приборов до мощных настольных систем программирования контроллеров.

Программаторы оснащены программным обеспечением Siemens:

— S5-DOS/ST — работает под управлением MS-DOS, проверенное временем программное обеспечение SIMATIC;

— STEP 5/TISOFT — программное обеспечение, позволяющее разрабатывать программы контроллеров просто и быстро. Написание программы, ее отладка и документирование выполняются в единой программной среде.

Промышленные PC семейства SIMATIC являются идеальным инструментальным средством для сбора, обработки и архивации машинных данных, для оперативного управления и визуального контроля за процессом, а также решения задач автоматического управления.

Программное обеспечение PC-bSR позволяет осуществить скоростной мониторинг замкнутых и разомкнутых систем автоматического регулирования низкой и средней сложности.

В современных системах автоматического управления все более важную роль начинает играть человеко-машинный интерфейс.

Ряд устройств человеко-машинного интерфейса SIMATIC HMI позволяет эффективно использовать их для решения задач различной сложности.

Современные системы автоматического управления характеризуются децентрализованным принципом построения. Децентрализация требует разработки эффективных коммуникационных средств, позволяющих выполнять обмен информацией между всеми компонентами системы.

## **SIMATIC S7**

Для сохранения лидирующих позиций и решения любых проблем автоматизации предлагается качественно новая системная платформа — SIMATIC S7, полностью совместимая с уже существующими контроллерами SIMATIC.

В настоящее время ПЛК не только работают в разомкнутых системах управления, но и выполняют: автоматическое регулирование в составе замкнутых систем; позиционирование; подсчет событий и масштабирование; управление клапанами и многое другое.

С этой целью созданы интеллектуальные модули ввода-вывода. Эти модули снабжены встроенным микропроцессором и способны автономно выполнять критичные к времени выполнения задания, поддерживая связь с процессором при помощи собственных входов-выходов. Применение интеллектуальных модулей позволяет существенно разгружать центральный процессор, использовать его вычислительные возможности для решения множества других задач.

SIMATIC предлагает широкий спектр программаторов — от дешевых ручных программаторов до мощных настольных систем программирования, связанных общей концепцией построения.

Все программаторы оснащены промышленным программным обеспечением SIMATIC:

- программное обеспечение SIMATIC работает под управлением хорошо зарекомендовавшей себя операционной системы Windows 95;

- программное обеспечение STEP 7 обеспечивает программирование контроллера просто и быстро.

Разработка, документирование и отладка программы выполняются одними и теми же программными продуктами.

### **8.2.3. ПЛК GE FANUC**

Контроллеры GE Fanuc выпускаются одноименной фирмой — совместным предприятием концерна General Electric и японской фирмы Fanuc. Высокая надежность, простота в эксплуатации и обширная номенклатура модулей обеспечили им большую популярность в мире, они успешно применяются для автоматизации различных ТП и производств.

Много ПЛК GE Fanuc поступило в Россию в составе комплектной поставки оборудования для различных отраслей промышленности, в частности пищевой и текстильной. Контроллеры

активно используются концерном Tetra Pack для оснащения линий по упаковке.

В состав серии 90 входят три семейства: 90-70, 90-30 и 90-micro.

Контроллеры 90-70 являются мощными устройствами, способными решать задачи управления большой размерности, требующие высокого быстродействия.

Семейство 90-30 составляют контроллеры, используемые в промышленности для управления объектами с сосредоточенными и распределенными системами. В его состав входят свыше 100 модулей центрального процессора, ввода/вывода и коммуникаций.

Контроллеры 90-micro представляют собой моноблочные устройства с возможностью подключения блоков расширения, они ориентированы на применение в недорогих компактных установках.

Контроллеры серии 90 объединяет унифицированная система программирования — пакет Logicmaster 90. Для всех трех семейств применяется единый язык релейно-контактной логики, наиболее подходящей для промышленной автоматизации. Контроллеры семейств 90-70 и 90-30 следует включать в состав единой сети, что позволяет оптимально конфигурировать сложные распределительные АСУТП. Блоки питания контроллеров на 110/220 В переменного тока имеют выходы 24 В постоянного тока, которые можно использовать для питания датчиков.

Контроллеры семейств 90-70 и 90-30 отличаются модульной структурой, позволяющей гибко подбирать их конфигурацию исходя из потребностей заказчика. Контроллеры 90-70 комплектуются из базовой корзины, блока питания, модулей ввода/вывода, коммуникационных процессоров и других устройств. Базовая корзина выполнена в стандарте VME, что позволяет включать в состав контроллера блоки производства третьих фирм. Если базовой корзины недостаточно для размещения требуемого числа модулей, возможно подключение нескольких корзин расширения. В номенклатуру семейства контроллеров 90-70 входит 32-разрядный высокоскоростной (96 МГц) центральный процессор, имеющий память объемом 1 Мбайт и способный обслуживать до 128 входов/выходов. Время цикла составляет 3 ÷ 5 мс в зависимости от объема программы.

Семейство 90-30 также имеет модульный принцип построения. В отличие от серии 90-70 модули устанавливаются не в корзину, а в базовую плату. Наряду с базовыми платами, в которых модуль центрального процессора вставляется в слот (всегда в первый), существуют и базовые платы, интегрированные с цен-

тральным процессором. В этом случае все слоты могут быть использованы для размещения модулей ввода/вывода.

Разработано свыше 100 различных модулей GE Fanuc 90-30. Аналоговые модули ввода/вывода работают с напряжением  $0 \div 10$  В и  $-10 \div +10$  В и токами  $4 \div 20$  и  $0 \div 20$  мА. Высокая точность АЦП позволяет получить приемлемое качество при вводе сигналов  $0 \div 5$  мА, часто встречающихся на объектах. Это дает возможность проводить поэтапную реконструкцию систем управления: вначале вместо устаревших средств устанавливают ПЛК GE Fanuc, а в дальнейшем монтируют современные датчики с преобразователями сигнала в ток  $4 \div 20$  мА. После этого надо будет только модифицировать ПО контроллеров, сохранив установленные на первом этапе модули ввода.

В состав контроллеров семейства 90-30 входят модули ввода сигналов от термопар и термосопротивлений. Для подключения тензодатчиков, например при взвешивании, предусмотрены модули АЦП с диапазонами входных сигналов  $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  мВ и разрешающей способностью до 8 мкВ. Имеются также счетчики и числоимпульсные выходы.

Дискретные модули ввода работают с сигналами постоянного тока напряжением 5; 12 и 24 В, а также с сигналами переменного тока. Есть модули высокой плотности, обслуживающие 32 канала. Выпускаются как транзисторные, так и релейные дискретные модули вывода. Транзисторные модули на 32 канала обеспечивают выходной ток до 0,5 А при напряжении 24 В. Существуют транзисторные модули с выходным током 2 А. Релейные модули способны коммутировать переменный ток напряжением 220 В при величине силы тока до 8 А.

Все модули ввода/вывода имеют изоляцию входных/выходных цепей от системной шины ПЛК, прочность изоляции составляет  $1500 \div 2000$  В.

Для объединения в сеть контроллеров GE Fanuc, удаленной периферии Genius и Field Control, также производимой GE Fanuc, и операторских станций разработана сеть Genius.

Подключаемые к данной сети устройства объединены между собой шиной — экранированной витой парой. Логически шина представляет собой замкнутое кольцо и использует протокол Token Ring. Параметры по шине передаются трехкратно и вводятся коммуникационным процессором в память контроллера по схеме 2 из 3, что практически исключает возможность ошибки и обеспечивает достоверность информации. Допустимая протяженность линии до 2,5 км, скорость передачи данных  $38,4 \div 153$  Кбод в зависимости от длины шины.



Для подключения компьютеров к сети Genius выпускаются соответствующие интерфейсные платы. В настоящее время для контроллеров семейств 90-70 и 90-30 производятся коммуникационные модули Ethernet, позволяющие организовать связь ПЛК с АРМ оператора по протоколу TCP/IP. Существуют также версии Logic-tasler, работающие с контроллером через Ethernet.

В ряде случаев это позволяет избежать необходимости иметь портативный компьютер или ручной программатор для написания и отладки ПО контроллера и использовать для разработки системы один компьютер верхнего уровня.

Контроллеры соединяются между собой и с удаленными периферийными устройствами надежной промышленной сетью Genius, а с АРМ оператора — сетью Ethernet. Для подключения дополнительного оборудования (например, расходомеров Superflo ПЕ) могут использоваться модули сопроцессора, соединяющие два последовательных порта, один из которых — RS-232, а другой может быть сконфигурирован как RS-232 или RS-485. Для поддержки нестандартных протоколов пользователь может написать для сопроцессора соответствующую программу. Предусмотрена и интеграция ПЛК GE Fanuc в неоднородной сети с использованием, в частности, коммуникационных процессоров для связи по Modbus и Profibus. При построении PCY с большим расстоянием между контроллерами могут применяться модемы.

Контроллеры GE Fanuc характеризуются высокой надежностью. Нароботка модулей на отказ составляет миллионы часов; единичные случаи выхода из строя отдельных модулей связаны с нарушениями условий эксплуатации.

Контроллеры GE Fanuc имеют сертификат TUV, а также сертификат Госстандарта России об утверждении этого типа средств измерения и включены в Государственный реестр средств измерений. Поставки оборудования GE Fanuc в Россию осуществляет фирма Advantek Engineering — дочернее предприятие американской фирмы Advantek International.

#### **8.2.4. КОНТРОЛЛЕР DECONT-182**

Этот контроллер играет ключевую роль в построении любой системы на базе комплекса Decont. Контроллер обслуживает взаимодействие с модулями ввода/вывода, ведет алгоритмы, архивы, поддерживает связь с другими контроллерами и консолью, дополняемый сменными интерфейсными платами позволяет организовать разнообразные каналы связи между удаленными объектами автоматизации и консолью. Габаритные и присоединительные размеры контроллера совпадают с размерами модулей

ввода/вывода, что облегчает монтаж системы и упрощает ее проектирование.

Важной чертой контроллера являются его отличные коммуникационные возможности. Базовый процессор контроллера имеет четыре независимых последовательных порта ввода/вывода, комбинации которых обеспечивают решение коммуникационных задач. На плате контроллера присутствуют разъемы для подключения двух сменных интерфейсных плат, расширяющих коммуникационные возможности контроллера. При включении питания интерфейс автоматически идентифицируется, а с помощью мини-пульта осуществляется его настройка. Один контроллер позволяет подключать до двух любых интерфейсов, которые образуют «второй этаж» процессорного модуля. Кроме сменных интерфейсов на плате контроллера присутствуют обязательные встроенные интерфейсы RS-485 и RS-232.

### **Архитектура контроллера**

Контроллер Decont-182 является функционально законченным устройством, внутри которого реализованы две шины с различной пропускной способностью. Быстрая шина организует обмен данными между базовым процессором, ОЗУ и флэш-ПЗУ. Плотное расположение этих элементов делает шину компактной, что гарантирует эффективную защиту от электромагнитных помех и максимальную скорость обмена. Вторая шина типа 12С объединяет в единую информационную систему базовый и вспомогательный процессоры системы питания, часы РВ, а также EEPROM контроллера и сменных интерфейсных плат С и D.

Для обеспечения гарантированного запуска и корректного сохранения данных при аварийных ситуациях в описанном устройстве существует вспомогательный процессор — супервизор системы питания. Встроенное во вспомогательный процессор АЦП непрерывно контролирует состояние входного питания, состояние литиевой батарейки, температуры внутри корпуса контроллера. Именно супервизор стартует первым при подаче питания и, если не обнаруживает нештатных ситуаций, дает команду на запуск базового процессора. Особое внимание уделено надежности функционирования контроллера и гарантированной сохранности данных.

### **Встроенное ПО контроллера Decont-182**

Базовой средой функционирования ПО являются многозадачная ОС РВ RTMEX-182, оперирующая задачами, обменник, со-

общение. Основу встроенного ПО контроллера составляют задачи, ответственные за обработку поступающей извне информации, ее архивирования, принятие решений по управлению, поддержку связи с другими контроллерами, модулями ввода/вывода и компьютерами.

Для обмена данными между задачами, находящимися в различных контроллерах или компьютерах, имеются развитые сетевые решения типа «клиент — сервер». В любом контроллере типа Decont-182 или компьютере, присутствующем в системе, может находиться несколько параллельно функционирующих задач. Каждая из них может как инициировать обмен с другой удаленной задачей (выступить в роли клиента), так и предоставить данные другим (выступить в роли сервера).

### **Табличное конфигурирование**

Встроенное базовое ПО контроллера учитывает все возможности и особенности аппаратных и сетевых средств программных компонент полностью управлять режимами работ всего комплекса и конкретных контроллеров. Все узлы сети (контроллеры или РС-компьютеры) конфигурируются одинаковым способом. Конфигурация всей системы запоминается на верхнем уровне ПО. Ее можно рассматривать, редактировать, записывать в узлы (как непосредственно на месте установки узла, так и через сеть). Все конфигурационные параметры доступны для просмотра и модификации через технологическую сеть.

С прикладной точки зрения контроллер Decont-182 — это базы текущих значений аналоговых и дискретных сигналов, счетчиков. Базы ведутся в каждом узле и служат для передачи текущих значений параметров между разными задачами (в том числе и расположенными в различных узлах).

ПО верхнего уровня работает с БД на РС-компьютере. Для пользовательских приложений база имеет интерфейс ОРС-сервера. Это позволяет на верхнем уровне применять распространенные программные продукты, поддерживающие открытый промышленный интерфейс.

#### **8.2.5. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР UMC 800 ФИРМЫ HONEYWELL**

Универсальный многоконтурный контроллер UMC является модульным контроллером, предназначенным для аналогового и дискретного управления процессами небольших технологических установок.

Контроллер включает 16 аналоговых контуров управления, 4 программатора уставок, планировщик заданий и целую серию аналоговых и дискретных алгоритмов управления. Этот контроллер используется для управления печами, камерами искусственного климата, сушильными шкафами, реакторами, варочными аппаратами, сублимационными сушилками, экструдерами и прочими подобными агрегатами с аналогичными требованиями к управлению. Имея до 24 универсальных аналоговых входов, 16 аналоговых выходов и 96 дискретных входов или выходов, UMC 800 обеспечивает соответствующий набор входов/выходов для небольших установок.

Контроллер UMC 800 базируется на модульной структуре, которая отделяет функции управления от функций интерфейса оператора, обеспечивая большую гибкость при установке оборудования. Контроллер включает блок печатных плат, поддерживающий до 16 модулей ввода/вывода; они могут быть смешанными для удовлетворения требований оборудования в конкретных случаях. Интерфейс оператора использует цветной графический дисплей на жидких кристаллах, который обеспечивает разнообразное представление информации на экране для просмотра контуров управления, программ уставок и используется для системы, работающей на ПК с Windows 95 или NT. В программе имеются графические символы и программные соединения для создания специальных схем управления.

В ПО предусмотрены меню выбора экранов для интерфейса оператора и определения способов доступа к экранам и клавиши оператора. Завершенные конфигурации загружаются в СУ с помощью специального порта связи контроллера или (как вариант) посредством дискеты.

Контроллер UMC состоит из ЦПУ с последовательными портами связи, источника питания и блока объединительной платы, способной поддерживать до 16 модулей входа/выхода при установке в настенном металлическом корпусе. Модули доступны в восьми различных конфигурациях для обслуживания как аналоговых, так и дискретных входов и выходов различных типов и уровней сигналов. Каждый модуль имеет съемную клеммную колодку для приема проводов 16 AWG. Дополнительный последовательный порт связи RS-485 обеспечивает обмен данными с главным ПК для централизованной работы и управления данными.

Контроллер использует архитектуру конфигурации по функциональным блокам при разработке схем управления как аналоговых, так и дискретных операций. Функциональный блок может представлять собой физический вход или выход, внутреннее вычисление или внутреннюю функцию типа алгоритма ПИД.

Имеется список из 70 стандартных типов алгоритмов функциональных блоков УМС 800. Обычно тип алгоритма функционального блока может использоваться любое число раз (max до 250, блоками).

Например, контроллер УМС 800 обслуживает до 16 контуров управления по законам ПИД или On/Off (Вкл/Выкл). Контур управления можно конфигурировать на независимую работу или в каскаде. Введенные оператором уставки могут быть ограничены независимыми значениями верхнего или нижнего пределов, а для защиты критических значений во время изменения процесса предусмотрены пределы скорости изменения уставки. В случае применения прямой связи имеется отдельная регулировка ее усиления для настройки контура на соответствующее срабатывание прямой связи. При регулировании соотношения (Ratio) предусмотрена подстройка соотношения и смещения. При использовании управления контурами с дополнительными блоками дискретные входы могут служить для настройки режима управления, выбора источника уставки, изменения процесса управления и других действий. Блок статуса обеспечивает цифровые входы данных для облегчения работы объединительного контура с другими функциями контура.

При конфигурации двойного вывода (нагрев/охлаждение) каждое выходное значение может направляться к различным типам выходов, например тока, пропорциональности и т. д. Кроме того, имеются две группы констант настройки для нагрева и охлаждения. Автоматические алгоритмы настройки Asscutune II™ и нечеткой логики доступны для каждого контура контроллера. Настройка Asscutune инициируется командой с интерфейса оператора или посредством дискретного входа контура. Эта особенность оптимизирует управление при минимальном нарушении процесса.

### **8.3. СЕТЕВЫЕ РЕШЕНИЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРОВ**

Контроллеры, в основном, подключаются к открытым стандартным сетям и полевым шинам, поддерживая несколько их типов: Modbus, Modbus plus, Ethernet, Interbus-S, Profibus.

#### **8.3.1. СЕТЬ MODBUS**

Протокол Modbus типа Master/Slave (ведущий/ведомый), разработанный для систем управления РВ, является промышленным стандартом, который поддерживают более 300 производителей оборудования.

Через последовательный порт любой ЭВМ легко осуществляется оперативное программирование или сбор данных, что обеспечивает эффективное с точки зрения стоимости соединение.

Связь между сетями Modbus и Modbus plus осуществляется контроллерами и дополнительными сетевыми модулями Modbus plus автоматически при включении режима моста, включенного перемычкой или настройкой контроллера; послыки в сети Modbus перенаправляются в сеть Modbus plus, что обеспечивает простое соединение.

В сети большой протяженностью (более 15 км) контроллеры могут связываться с другими устройствами (до 247) через модемы с интерфейсом RS-232 по обычным носителям (телефонной линии, радио и т. д.). ПО протокола Modbus позволяет считывать и записывать данные в контроллере. Кроме того, ПО поддерживает широковещательную передачу данных производителей оборудования и разработчиков.

### **8.3.2. СЕТЬ MODBUS PLUS**

Эта локальная сеть позволяет организовать одноранговый обмен информацией между управляющими ЭВМ, контроллерами и другими источниками данных в масштабе всего предприятия через недорогой кабель типа «витая пара» или волоконно-оптический. Основываясь на детерминированном протоколе передачи маркера, сеть передает данные со скоростью в 1 Мбод, обеспечивая быстрый доступ к данным процесса. Производительность сети составляет 20 000 регистров (слов) в 1 с; работа предсказуема и детерминирована; имеются возможности, включающие глобальные данные в общую таблицу данных, обеспечивая простоту настройки и инициализации процесса связи.

Типичные области применения включают сетевое управление и блокировку, сбор данных, передачу/прием программ, удаленное оперативное программирование, подключение к интерфейсу оператора и данным управляющей ЭВМ. Достоинство сети Modbus plus состоит в том, что она позволяет управлять устройствами РВ, такими, как модули ввода/вывода и приводы без снижения производительности, вызванной загрузкой сети. Учитывая разнообразные служебные функции, позволяющие соединить модули ввода/вывода, контроллеры, ЭВМ или другие устройства, совместимые со стандартом Modbus plus, отметим, что эта сеть может многое.

Используемые в сети кабель типа «витая пара» и система соединителей, например Modicon, сильно упрощают процесс установки. Дополнительные компоненты — мосты, шлюзы и ретранс-

ляторы — позволяют гибко проектировать и строить сеть. Посредством мостов ВР-85 можно соединять различные сети типа Modbus plus, что позволяет иметь до 16 млн адресуемых узлов. При использовании модулей расширения NOM с волоконно-оптическим кабелем протяженность сети может составлять до 15750 м, а ретрансляторов РР-85 и кабеля типа «витая пара» — до 2100 м.

Единственная инструкция MSTR обеспечивает легкость программирования связи и активизирует все функции сети, включая передачу данных и сбор информации сетевой статистики. На управляющих ЭВМ поддержка стандарта Modbus plus осуществляется с помощью программных библиотек, совместимых со стандартом NETBIOS, доступных для вызова из управляющих прикладных программ с помощью инструкции CALL.

Для приложений, где недопустимы простои, разработана схема связи с резервным кабелем, позволяющая осуществить связь по двум независимым кабелям с проверкой целостности их обоих при каждой посылке.

### **8.3.3. СЕТЬ ETHERNET**

Дополнительные сетевые модули Quantum Ethernet (NOE) обеспечивают простую и функционально полную связь. Здесь поддерживается промышленный стандарт TCP/IP, а также протокол Sy/Max. Физическими носителями могут быть витая пара 10Base-T или волоконная оптика 10 Base-FL. Модуль Ethernet поддерживает как одноранговую связь, так и связь «контроллер — хост», обеспечивая распределенный режим «отчет по исключению». Для связи между хост-системами и сетевыми модулями Ethernet TCP IP системы Quantum используется протокольный уровень Modbus.

Программы, использующиеся на хост-системах, поддерживают функции считывания и записи данных в контроллеры, дистанционное программирование, а также загрузку, запись и верификацию программ. Может использоваться любая допустимая топология Ethernet TCP/IP, если она обеспечивает гибкость и возможность объединения оборудования в масштабе предприятия. Использование обычной соединительной арматуры Ethernet позволяет снизить временные затраты на установку и ввод в эксплуатацию.

Решения Modicon в области связи обеспечивают совместимость и возможность объединения сетей Ethernet TCP/IP, Modbus Plus и Modbus. Так как все три стандарта, применяющиеся в системе Quantum, используют Modbus в качестве протокола, то передача данных программ и информации через все уровни типовой системы связи проста и эффективна. Для хост-систем использова-

ние одного стандартного протокола обеспечивает постоянную совместимость и легкость в использовании.

#### **8.3.4. СЕТЬ INTERBUS**

Это полевая шина для блоков ввода/вывода и интеллектуальных устройств, применяемых в производстве. Она использует топографию Master/Slave, обеспечивающую предсказуемое обслуживание ввода/вывода на расстоянии до 13000 м с использованием кабелей типа «витая пара».

Эта сеть лучше приспособлена для обслуживания блокового ввода/вывода, чем для работы с отдельными битами данных. Поэтому ведомые блоки Interbus-S обычно поставляются в виде модулей на 8, 16 или 32 точки ввода/вывода. Имеются различные модули ввода/вывода, а также, частично модули ввода/вывода серии Compact A120.

Ведущий модуль Interbus-S рассчитан на обслуживание 4096 точек ввода/вывода с числом устройств сети до 256. Пропускная способность Interbus-S составляет 0,5 Мбод, причем данные передаются в контроллер Quantum для логической обработки каждый цикл.

Устройства третьих фирм могут непосредственно связываться по шине этой сети, облегчая прямое подключение к устройствам автоматизации. Так как более 300 промышленных поставщиков предлагают совместное с Interbus-S оборудование, обеспечиваются открытость и гибкость систем управления на базе контроллеров, например Quantum.

#### **8.3.5. СЕТЬ PROFIBUS**

Это три интегрированные технологии: Profibus-DP (децентрализованная периферийная, или H2); Profibus-PA (автоматизация процессов или H1) и Profibus-FMS (многофункциональная с поддержкой нескольких ведущих устройств).

Версия Profibus-PA (со встроенной безопасностью) применяется, в основном, для управления ТП.

Версия Profibus-DP и Profibus FMS удобны для решения внутризаводской автоматизации.

Версия Profibus-PA (H1) совместима с Profibus-DP (H2), поэтому технологические линии могут управляться ведущими DP-устройствами (включая и существующие системы на базе ПЛК). Ведущий контроллер на высокоскоростной шине H2 (скорость передачи 12 Мбод) может использовать ее как магистральную линию связи множества линий Profibus-PA. Согласование



физических уровней Profibus-DP и Profibus-PA (соответственно на базе стандартов RS-485 и IEC 1158-2) выполняется сегментным соединителем, который одновременно адаптирует скорость передачи DP с фиксированной скоростью передачи PA в 31,25 Кбод. Надежность всей Profibus-системы широко применяется в АСУТП со встроенной безопасностью.

#### **8.4. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРНЫХ СЕТЕЙ**

Резервирование контроллерных сетей, построенных по принципу Master-Slave (ведущий-ведомый), осуществляется с помощью модуля МИК. Ведущим сети является устройство верхнего уровня, например компьютер, ведомый контроллер. Кратность резервирования при этом может быть произвольной и определяется числом задействованных каналов модуля МИК и числом установленных модулей. Оператор, обнаружив молчание контроллера при связи с ним по какому-либо каналу, может перейти на работу по другому каналу.

#### **8.5. ПОЛЕВЫЕ СЕТИ КОНТРОЛЛЕРА**

Полевые сети контроллера реализуются также с помощью модуля МИК. При этом канал такого модуля является ведущим сети, а подключаемые к каналу устройства — ведомыми сети. Устройствами полевой сети могут быть и slave-изделия различных фирм, для которых реализованы в модуле МИК протоколы обмена данными. В настоящее время определяется номенклатура первой очереди таких устройств, которая будет расширяться по предложениям потребителей. Число и типы полевых сетей контроллера определяются числом и типом задействованных каналов модуля и числом установленных модулей. Полевые сети, как и контроллерные, могут быть зарезервированы с необходимой кратностью, если это позволяют полевые устройства.

Поддержка надежности управления контроллера реализована на уровне системного ПО и не требует от пользователя усилий по их применению при проектировании конкретных систем, что свидетельствует о высокой заводской готовности контроллера.

Подготовка прикладных программ осуществляется с помощью ТУРБО-РКС-инструментальной среды, объединяющей редактор, транслятор, отладчик и ряд сервисных программ. Подготовка и отладка прикладных программ проводится на компьютере типа IBM PC с применением одного из следующих языков:

- РКС (язык технологического программирования), оперирующий типовыми элементами релейно-контактной логики и автономного управления; имеет эффективные средства для программирования математических зависимостей;
- ФАБД (язык функционально-блоковых диаграмм), который обеспечивает создание исходного текста при помощи графического редактора с использованием графических образцов функциональных блоков; установка взаимосвязей между блоками осуществляется простым соблюдением их входов/выходов;
- АССЕМБЛЕР (машинный язык);
- допускается компоновка программы из модулей, написанных на любом из указанных языков.

#### **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЙ**

1. Контроллер, его назначение и функциональные возможности.
2. Контроллер на базе ПК, его функциональные возможности.
3. Локальный ГОЖ, его функциональные возможности.
4. Сетевые контроллеры, их назначение и функциональные возможности.
5. Пульты и мини-пульты, их назначение.
6. Контроллеры отечественного производства, их преимущества и недостатки в сравнении с зарубежными.
7. ПЛК линии 99, его состав и функциональные возможности.
8. Контроллер «Омь»; его функциональные возможности.
9. Интеллектуальный контроллер «Сателлит», его функциональные возможности.
10. Контроллеры семейства «СИКОН», их функциональные возможности.
11. Контроллеры серии «КОНТРАСТ», их функциональные возможности.
12. Контроллеры компании «ТЕКОН», их функциональные возможности.
13. Контроллеры AutoLog (AL), их функциональные возможности.
14. Контроллеры семейства SIMATIC, их функциональные возможности.
15. ПЛК GE Fanuc, их функциональные возможности.
16. Контроллер Descont-182, их функциональные возможности.
17. Универсальный контроллер UMC 800 фирмы Honeywell, его функциональные возможности.
18. Программирование контроллеров.
19. Сетевые решения подключения контроллеров: сеть Modbus, сеть Modbus Plus, сеть Ethernet, сеть Interbus, сеть Profibus.
20. Резервирование контроллерных сетей.

## Глава 9. РОЛЬ И МЕСТО SCADA-СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Автоматизация производства позволяет повысить качество и снизить себестоимость продукции. Она требует значительных затрат сил, времени и финансов, но при рациональном подходе и современных и целесообразных решениях позволяет добиться значительного экономического эффекта. Целью автоматизации является снижение объема ручного труда, обеспечение стабильности характеристик технологического процесса, непрерывного наблюдения, анализа и управления параметрами технологического процесса человеком. Реализацию этого процесса можно осуществить формированием автоматизированной системы.

*Автоматизированная система — это совокупность управляемого объекта и автоматизированных управляющих устройств, в которой часть функций управления выполняет человек.* Автоматизированная система получает информацию от объекта управления, передает, преобразует и обрабатывает ее, формирует управляющие команды и выполняет их на управляемом объекте. Человек определяет цели и критерии управления и корректирует их, если изменяются условия. Важным компонентом автоматизированных систем является SCADA-система. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) — это совокупность аппаратно-программных средств, обеспечивающих возможность мониторинга (непрерывного наблюдения, контроля), анализа и управления параметрами технологического процесса человеком. Она является составной частью автоматизированной системы.

### 9.1. ОТЕЧЕСТВЕННАЯ SCADA-СИСТЕМА КОНТУР

Это набор инструментальных средств и исполнительных модулей, предназначенных для создания автоматизированных рабочих мест (АРМ) по наблюдению за состоянием технологического процесса и управления им.

КОНТУР обеспечивает:

1. Обмен данными с устройствами уровня технологического процесса (измерители и исполнительные механизмы).
2. Генерирование событий и сообщений о критических и аварийных состояниях технологических параметров.

3. Архивирование истории изменения параметров технологического процесса.
4. Создание графических мнемосхем для отображения текущих параметров технологического процесса, отработки аварийных событий, для отображения истории изменения технологических параметров.
5. Динамическое отображение графических мнемосхем в рабочем режиме.

### **Особенности SCADA-системы**

SCADA-система КОНТУР является оригинальной разработкой и имеет следующие особенности:

1. Применена технология «клиент — сервер» для обеспечения взаимодействия между приложениями;

2. Осуществлен объективно-ориентированный подход к проектированию и созданию рабочих мест операторов.

3. Использована технология управления событиями для обеспечения динамики работы системы.

4. Применена технология COMDCOM для взаимодействия между приложениями на локальном компьютере или в сети персональных компьютеров.

5. Ориентация — на стандарт OPC;

6. В составе системы КОНТУР использованы полнофункциональные OPC серверы.

7. Возможно использование любых ActiveX элементов на мнемосхемах.

8. Предусмотрен специализированный набор ActiveX компонентов для использования их в качестве динамических элементов на мнемосхемах.

9. Возможна быстрая централизованная настройка динамических элементов.

10. Разработаны мощные алгоритмы визуализации, основанные на технологии Direct Drawn.

11. Имеются скрипты Visual Basic для обработки событий в системе.

12. Документирование происходит на русском языке.

13. Осуществляется техническая поддержка специалистами фирмы.

### **Структура SCADA-системы**

Исходя из задач и проблем функционирования SCADA-систем, а также анализируя рассмотренные системы и технологии,

специалисты разработали оптимальную структуру и использовали ее при создании SCADA-системы КОНТУР.

В этой структуре имеются три основных функциональных блока:

1. Data Access — доступ к данным технологического процесса;
2. Alarms & Events — выявление критических и аварийных ситуаций;
3. History Access — архивирование истории изменения параметров технологического процесса.

Блок **Data Access** включает:

- считывание технологических параметров;
- сохранение технологических параметров в базе данных реального времени, предоставляющей интерфейсы для доступа к ней по сети персональных компьютеров;
- отображение технологических параметров на графических мнемосхемах;
- отображение технологических параметров в виде графиков текущих значений (трендов).

Блок **Alarms & Events** предусматривает:

- обнаружение аварийных ситуаций;
- отображение аварийных и технологических сообщений;
- отображение аварийных ситуаций как реакции динамических элементов графических мнемосхем на соответствующие события.

Блок **History Access** позволяет осуществить:

- архивирование истории изменения параметров технологического процесса;
- просмотр истории изменения параметров технологического процесса в виде графиков и таблиц;
- генерирование отчетов по истории изменения параметров технологического процесса.

## **Архитектура SCADA-системы**

### ***Архитектура системы в процессе создания мнемосхем***

Процесс создания мнемосхем для автоматизированных рабочих мест операторов в системе состоит в установке динамических элементов на мнемосхему, их позиционировании, настройке свойств отображения и выполнении привязки свойств к технологическим переменным базы данных реального времени. Эти операции, как это показано на схеме (рис. 9.1, производятся в среде визуального программирования Microsoft, Visual Basic 6.0 при помощи специализированного набора ActiveX компонент КОНТУРА

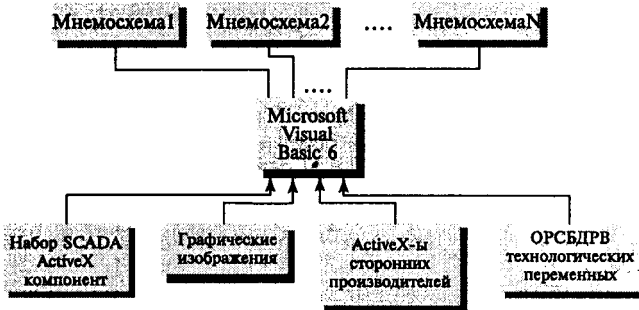


Рис. 9.1. Архитектура SCADA-системы

или компонент сторонних производителей с использованием графических изображений динамических объектов.

Для уменьшения времени на разработку проекта, пользователь имеет возможность писать скрипты на Visual Basic по обработке событий в SCADA-системе.

### **Архитектура системы в процессе работы**

В основу построения SCADA-системы КОНТУР положена архитектура «клиент — сервер». Выбор такой архитектуры обусловлен ее эффективностью и интуитивной понятностью. КОНТУР имеет набор серверных приложений и одно клиентское. Серверные приложения обеспечивают доступ к данным реального времени, к данным, отображающим возникновение критических и аварийных ситуаций, к архивным данным. Клиентское приложение KERNEL выполняет отображение этих данных на операторских станциях. На схеме (рис. 9.2) изображена архитектура системы в процессе работы. Система содержит четыре типа приложений:

- OPC Data Access — эти приложения обеспечивают доступ к данным технологического процесса и предоставление стандартных интерфейсов для работы с ними по сети персональных компьютеров;

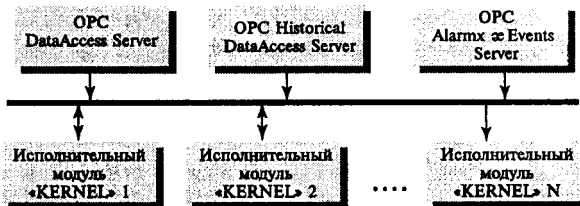


Рис. 9.2. Архитектура SCADA-системы в режиме, «клиент — сервер»

- OPC Alarms & Events — эти приложения обеспечивают предоставление стандартных интерфейсов для оповещения об аварийных и критических ситуациях;

- OPC Historical Access Server — эти приложения обеспечивают доступ к архивам истории изменения параметров технологического процесса;

- KERNEL — это приложение для просмотра текущих и архивных данных в виде графических мнемосхем, для отображения на мнемосхемах хода ТП в критических и аварийных ситуациях.

Поскольку OPC является стандартом, серверы могут быть как отечественной разработки, так и сторонних производителей. В составе системы предлагаются «КОНТУП Data Access/Alarms & Events Server», «КОНТУП Historical DataAccess Server».

### **Программное обеспечение АСУ и SCADA-системы**

Базовый функциональный профиль систем SCADA/HMI сформировался еще во времена первых управляющих вычислительных машин, снабженных монохроматическими алфавитно-цифровыми дисплеями, на которых создавались «псевдографические» изображения — прообраз современной графики. Уже тогда системы обеспечивали сбор, обработку, отображение информации, ввод команд и данных оператором, архивирование и протоколирование хода ТП.

С появлением в пунктах управления ТП компьютерной техники в составе управляющих вычислительных машин и РСУ произошло расширение их мощности. В составе компьютерных операторских станций появились цветные графические дисплеи, средства анимации изображений, предупредительная сигнализация, расширились функциональные возможности операторских станций управления.

С появлением концепции открытых систем программные средства для операторских станций становятся самостоятельным продуктом, свободно компоуемым с программно-техническими средствами разных производителей. Специализация изготовителей позволяет им сосредоточиться на проблемах создания ПО для компьютерных станций в АСУТП, к разработкам привлекаются программисты высокой квалификации. Возникла функция поддержки сетевых связей, заботой разработчиков стало обеспечение программных систем средствами связи с контроллерами и устройствами разных производителей; большое количество контроллеров с разными аппаратно-программными платформами и постоянное увеличение их числа заставляет разработчиков включать в состав программной системы большое количество готовых драйверов (до 700—800) и инструментарий для разработки новых драйверов.

## 9.2. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ SCADA/HMI

Эти системы хорошо структурированы и представляют собой готовые к применению и согласованные по функциям и интерфейсам наборы программных продуктов и вспомогательных компонентов. В сетевых системах средствами SCADA/HMI реализуются станции разного функционального назначения, взаимодействующие между собой в АСУТП. Они включают в свою номенклатуру разные типы: станции-серверы и станции-клиенты, взаимодействующие в структуре «клиент — сервер»; станции наблюдения (мониторинга) для руководящих работников; специальные станции архивирования данных и документирования данных и событий и др.

В SCADA/HMI-системах широко применяется принцип модульного построения, реализуемого в двух основных вариантах:

*В первом случае* для системы, обеспечивающей полный набор базовых функций, создаются дополнительные пакеты-опции, реализующие необязательные в применении функции контроля и управления, например SPC, Batch Control.

*Во втором случае* система создается из функциональных модулей, реализующих отдельные функции контроля и управления. Модули в достаточной мере независимы и могут применяться на отдельных функциональных станциях или свободно компоноваться в разных сочетаниях при разработке станций. Таким образом могут создаваться, например, станции наблюдения, станции «слепой узел» (концентратор данных в сети) или станции со свободным формируемым набором функций.

Важный аспект в структурном построении сетевых СУ — структура БД РВ в сетевой системе, либо централизованная, либо децентрализованная. Каждая из двух основных структур в SCADA/HMI реализуется разными разработчиками по-разному; от реализации существенно зависят способы и эффективность обеспечения единства целостности БД, ее надежность, возможности модификаций при необходимости и т. д.

С ростом мощности компьютеров и соответствующим ростом информационной мощности операторских станций соответственно потребностям приложений SCADA/HMI-системы становятся масштабируемыми, они выпускаются в вариантах, которые при сохранении в целом функционального профиля поддерживают от нескольких десятков или сотен до десятков тысяч входов/выходов.

SCADA/HMI-системы ведущих производителей получают расширение в иерархии уровней управления производством «по вертикали» — в сторону непосредственного управления процессом (автоматическое регулирование и программно-логическое управление) — и в сторону управления производством. Такие про-



граммные системы представляют собой мощные программные комплексы, обеспечивающие ИАСУ производством в целом. Использование в системах разных уровней единых стили оформления, терминологии, инструментария, служебных средств и т. д. значительно облегчает проектантам и системным интеграторам разработку СУ, а предприятиям — их освоение и эксплуатацию. Функции непосредственного управления реализуются в пакетах прикладных программ для контроллеров, построенных на основе персональных компьютеров (Soft PLC), и для компьютерной реализации функций непосредственного управления (Soft Control).

На уровне управления производством для диспетчерского управления (Manufacturing Executing System MES) вполне приемлемы SCADA/HMI-системы для АСУТП. Возможность сбора, отображения, архивирования данных и протоколирования хода производства средствами систем SCADA/HMI успешно применяется в АСУТП. Однако особенности функций диспетчерского управления привели разработчиков SCADA/HMI-систем к созданию специальных программных продуктов для уровня управления производством. В них важную роль играет функция поддержки принятия решений перед перераспределением материальных и энергетических потоков в технологической схеме производства путем оценки результатов предполагаемых решений средствами моделирования. Использование стандарта моделирования существенно облегчает разработчикам создание программных систем, а разработчикам проектов — освоение систем и переход от одной системы к другой.

Прогресс в области SCADA-систем в последние годы получил значительное ускорение. Использование новейших информационных технологий, интеграция приложений, встраивание стандартных языковых средств для программирования пользовательских алгоритмов и экранных взаимодействий значительно повысили эффективность SCADA-систем. В распоряжении пользователей разных групп появился мощный инструментарий. Технологии распределенной межсетевой архитектуры для корпоративных систем DNA (Distributer Internet Architecture) в среде MS Windows, комплексирование продуктов для управления создают новые технологии и новые возможности в ИАСУ и перераспределении функций между ними. Теперь в дежурный список поддерживаемых системами технологий и интерфейсов дополнительно к уже традиционным DDE, DLL, OLE, ODBC/SQL включаются объективные компонентные модели COM/DCOM с Active X, технологии Java, универсальный интерфейс связи с внешними устройствами OPC, языки стандарта IEC 61131-3, языки описаний на основе Visual Basic for Applications, Internet/Intranet и т. д.

В распоряжении разработчиков и пользователей разных уровней появился инструментарий современных SCADA-систем, поддерживаемых средствами ОС и сетевых архитектур. Решения прикладных проблем в конкретных проектах становятся многовариантными благодаря таким возможностям, как распределение функций между станциями и формирование функциональных нагрузок станций; подключение внешних средств обработки данных (электронных таблиц, БД и др.), статистической обработки, контроля ТЭП и т. д.

Конечных пользователей не очень интересует перечень технологических средств, использованных в конкретной SCADA-системе. Для них важны функциональные и коммуникационные возможности и технические характеристики систем, например такие, как возможность через Internet приобрести нужный фрагмент для разрабатываемой станции и без проблем «вставить» его в проект; руководству фирм — «заглянуть» на экраны операторских станций дальнего предприятия и убедиться в соблюдении технологии; программисту — по просьбе заказчика проверить работу своей программы в СУ и после исправлений переслать новый вариант; возможность избавиться от «проблемы драйверов» средствами OPC-интерфейса. Новации в SCADA-системах обеспечивают значительное снижение затрат труда на разработку и обслуживание операторских станций, повышение скоростей и дальности (т. е. через Internet) обмена данными в системах управления и многие другие. Интеграция СУ на всех уровнях в пределах предприятия теперь обеспечена средствами интегрированных программных систем (наборов) и коммуникаций.

Потенциальный пользователь (производственник) одной из SCADA-систем при выборе подходящего для его задач SCADA-пакета оказывается в непростом положении, т. е. имеются трудности при составлении задания на проектирование, что обязывает разбираться в возможностях новых технологий и обновленных SCADA-систем. Для пользователя очень важны оценки отдельных продуктов и их составления — с точки зрения выбора наиболее подходящего средства для конкретного производства.

В объективной оценке конкретного продукта или нескольких конкурирующих продуктов, представленных на рынке, заинтересованы все основные участники работ в жизненных циклах SCADA-систем и конкретных проектов: «разработка — распространение», «проектирование — эксплуатация прикладной системы». Это труд разработчиков и поставщиков программных продуктов, распространителей, проектантов и системных интеграторов, а также пользователей SCADA-систем. В зависимости от содержательной постановки вопроса речь может идти об анализе

либо отдельного продукта, либо нескольких продуктов. Анализ нескольких продуктов носит сопоставительный характер, и потребность в нем возникает при конъюнктурном исследовании сектора рынка для определения стратегии перед распространителем или при выборе одного из продуктов для конкретного проекта перед его разработчиками.

Каждый раз перед инициатором оценки стоят задачи: формирование критериев оценки потребительских качеств продукта; получение оценки каждого из критериев; формирование общей оценки каждого из продуктов по оценкам критериев.

Формирование критериев оценки сопряжено с совокупностью требований к продукту в задании на проект, однако набор критериев принципиально должен быть шире и включать, наряду с техническими и стоимостными характеристиками, еще трудноформализуемые характеристики удобства применения. Сама по себе формулировка критериев трудна; она обобщается понятием «качество программ», которое составляет содержание международных и национальных (в том числе военных) стандартов. В этих стандартах обобщен опыт формулировки требований к программам и показателям потребительских качеств программных систем — критериев качества, содержатся перечни и определения рекомендуемых к применению показателей. В них описывается примерно 20—30 показателей качества, которые используются для конкретных программ с назначением и условиями их применения. Стандарты помогают при подготовке состава показателей, которые используются в проектных заданиях на разработку СУ. Целесообразно привести примерный перечень критериев оценки SCADA-систем, которые должны интересовать пользователей. Условно разделим критерии оценок на три большие группы: технические характеристики, которые приводятся в документации и описаниях; экономические характеристики и характеристики применения, определяемые по результатам работы с системой.

### *Технические характеристики*

*Компьютер:* платформа, ОС, частота процессора; требуемые объемы оперативной и дисковой памяти; возможности переноса приложений. Информационная мощность отдельной станции — максимальное число входов и выходов; масштабируемость, ряд мощностей; скорость ввода-вывода данных и т. д.

*Структурные характеристики:* типы реализуемых станций, способы взаимодействия между ними; опции, модульность; структура БД РВ.

**Функциональные характеристики:** функциональная полнота — реализация стандартного состава функций SCADA/HMI-систем (базовые функции, функциональные расширения и их особенности); средства отладки в инструментальной системе, эмуляции исполнительной системы.

**Графически-анимационный редактор:** библиотеки графических заготовок и графических объектов со встроенными средствами обработки и отображения данных (Wizard; форматы импортируемых изображений).

**Средства представления и передачи данных и событий:** графические, символные отображения; поддержка звуковых/речевых сообщений; тренды текущие (архивные), сервис в работе с трендами,  $y(x)$ -тренды; передача персональных сообщений средствами связи (пейджер, факс и др.).

**Коммуникации и интерфейсы, открытость SCADA/HMI-системы:** поддерживаемые сетевые протоколы, число (и, при целесообразности, перечень) драйверов обмена с внешними устройствами; серверы и форматы ввода-вывода данных; инструментарий для разработки драйверов и серверов; поддержка интерфейсов межпрограммного и межсистемного обмена; языки создания пользовательских программ и поддержка стандартных языков, в том числе — нечеткой логики.

**Надежность,** которая определяется надежностью ОС: средствами сохранения данных и конфигурации при сбоях и возникновении нештатных ситуаций; средствами автоматического перезапуска; возможностями резервирования компонентов системы в различных вариантах.

### ***Экономические характеристики***

К экономическим характеристикам относят стоимость программы и затрат, связанных с ее применением («цена применения»): номинальную стоимость системы и ее компонентов; ценовую политику производителя и распределителя на рынке; систему скидок и оплату услуг; дополнительные затраты — стоимость обучения пользователей, эксплуатационные затраты и т. д.

### ***Характеристики применения***

Удобства применения — совокупность средств и качеств, обеспечивающих пользователям достаточно быстрое и успешное применение программной системы. К ним относятся:

1. **Дружественность диалога** — считается, что это качество обеспечивается применением стандартов в оформлении интер-

фейса с пользователем; полнота и наглядность представления функций системы на экране, удобства и информативность.

2. *Качество документации*: полнота, наглядность и ясность описаний системы, наличие ошибок и неточностей; применение устоявшейся терминологии. Для импортных программных продуктов: русификация, подсказки (helps), справочная система, системные сообщения, документация.

3. *Удобство сопровождения системы при эксплуатации*: полнота/недостаточность средств диагностики состояния системы при сбоях и отказах, нарушениях внешних связей; трудоемкость и уровень автоматизации работ при инсталляции системы; возможности внесения изменений в БД системы и коррекции экранов без остановки и т. д.

4. *Наблюдавшиеся и выявленные ошибки* в работе программ, а также их значимость при работе системы управления.

5. *Положение программного продукта на рынке*: характеристики распространения и поддержки, получаемой пользователями, — тираж, количество инсталляций; число реализованных версий продукта; поддержка пользователей изготовителями и распространителями — дилерская сеть обучения, консультационная поддержка, горячая линия; условия обновления версий (upgrade).

Все показатели имеют либо количественный характер (информационная мощность, требования к ресурсам, стоимость и т. д.), либо качественный (наличие/отсутствие конкретных средств — функций, опций, интерфейсов).

Технические и экономические характеристики программных продуктов в основном документируются и публикуются и должны гарантироваться разработчиками. Их можно получить из документации.

Характеристики удобства применения и качества документации в значительной степени носят субъективный характер и не имеют оценочной меры; о характеристиках применения можно судить только по результатам практического использования продукта: тестирования, опубликования, анализа, опыта промышленного внедрения; косвенной характеристикой качества и отработанности тиражного программного продукта служит его положение на рынке, поскольку большая реализация продукта свидетельствует о солидном опыте применений, учтенном при обновлениях продукта, и о завоеванном авторитете у пользователей.

Основу анализа нескольких продуктов составляет сопоставление их технических и экономических характеристик. В анализе отдельного продукта акцент делается на углубленном рассмотрении данных системы. Затем проводится сопоставительный анализ SCADA-систем, существенный при выборе их для проекта.

## **Использование опыта применения**

Собственный предварительный опыт в работе с конкретной системой можно приобрести, воспользовавшись действующей демоверсией продукта. Однако ограниченность демоверсий не позволяет оценить возможности и качество продукта в полной мере, например при отсутствии в них средств связи с внешними устройствами или документации. Другая возможность — временное использование арендованного экземпляра продукта. В каждом случае апробирование SCADA-системы на простых продуктах следует предварять разработкой продуманного текстового проекта, который должен выявить основные аспекты будущей СА; апробирование достаточно трудоемко, и его возможности ограничены двумя-тремя продуктами.

Особенно ценным является опыт промышленного применения внедренных систем на предприятиях, т. е. лучше учиться на чужом опыте. Конечно, конкретный опыт субъективен, он зависит от квалификации и личных качеств разработчиков проекта, эксплуатационников и конечных пользователей. Поэтому наряду с конкретным опытом представляет интерес и статистический материал, получить который довольно трудно.

### **9.3. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ SCADA-ПРОГРАММ**

Появление SCADA-программ обусловлено однотипностью функций управления на разных уровнях (на рабочих станциях операторов ТП, диспетчерских пультах, контрольных постах руководства) и на предприятиях разных отраслей, требования к пунктам управления, как оказалось, могут быть достаточно четко формализованы.

SCADA-программы состоят из двух взаимозависимых частей: Run Time и Development. Они опираются на возможности ОС, в которой работает SCADA-программа. Привязка возможностей, заложенных в Run Time, к конкретному объекту (инжиниринг) осуществляется посредством инструментальной части (Development). Совокупность SCADA-программы и ОС, таким образом, представляет собой симбиоз, который можно назвать базовым ПО. Инжиниринг фактически есть разработка прикладного ПО пунктов управления без использования традиционных языков программирования.

При этом первая иллюзия, которая усердно навязывается в рекламе фирмами — продавцами SCADA-программ, — программист не нужен, достаточно инженера-технолога.

Конечно, инструментальное ПО сводит основную часть разработки конкретного проекта к параметризации (заполнению БД) и рисованию видеogramм — работам, которые способен выполнить любой достаточно грамотный пользователь компьютера, прошедший обучение. Однако в основном российский инженер-технолог (а часто и специалист по автоматизации) в отличие от западного еще не стал профессиональным пользователем компьютера. При этом, что более важно, даже навыков профессионального пользователя компьютера недостаточно, чтобы обеспечить необходимую разработку и функционирование пунктов управления АСУТП. Здесь нужны программисты (как «системные», так и «прикладники»), умеющие программировать на традиционных языках программирования.

Рассмотрим эту важную процедуру подробнее:

1. Полный набор требуемых функций в конкретной системе управления обычно не может быть обеспечен только базовым ПО (например, решение расчетных задач и создание алгоритмов определения команд управления с пульта оператора). Раньше для их программирования в состав SCADA-пакета входил так называемый «технологический язык» (Basic-подобный или Script). В последнее время наметилась тенденция встраивания в SCADA-программу развитых языков программирования: С или VBA, что возвращает разработчика системы к традиционному программированию.

2. Организация многопользовательского пункта управления стала требованием сегодняшнего дня. Разработчики SCADA-программ предлагают клиент-серверную технологию: информация поступает на сервер, к которому по ЛВС подключаются АРМ пользователей. Появляется задача конфигурирования на базе SCADA ПО сервера и АРМ, которая требует специальных навыков как программирования, так и администрирования ЛВС. Достаточно отметить, что при создании БД параметров на сервере для некоторых SCADA-программ необходимо указывать сетевые адреса клиентов, имеющих доступ к тому или иному параметру; для других — на компьютере клиента создается копия БД доступных параметров с перечислением сетевых адресов источника данных.

Особого внимания требует корректность сетевых и внутренних настроек каждого сервера и рабочего места. Передача данных в другие АСУ (например, АСУ производственно-хозяйственной деятельностью) может решаться с применением стандартных технологий — ODBC и SQL, поддерживаемых большинством SCADA-программ. Декларируется, что использование ODBC и SQL гарантирует взаимодействие с любой популярной БД.

Опуская проектирование структуры БД, с которой предполагается организовать взаимодействие, рассмотрим вопросы конфигурирования процесса обмена данными. Если даже предположить, что аббревиатура ODBC о чем-то говорит непрограммисту, то это требует от него корректной установки на рабочее место драйверов ODBC, конфигурирования ODBC-интерфейса к приемнику/источнику данных, решения прочих сопутствующих задач, что просто нереально, а главное, не нужно. При использовании SQL, также требуются услуги программиста: как минимум знание самого языка SQL (средства «могучего», но сложного, со множеством тонкостей) и хотя бы основных принципов управления БД.

Возможности SCADA-программ в части формирования отчетно-учетных документов в последнее время ограничиваются протоколированием, поскольку создание шаблонов плохо поддается унификации и требует мощного инструментария. Для этих целей обычно предлагается использовать ПО третьих фирм, например генератор отчетов Crystal Reports или электронную таблицу Microsoft Excel. Передача данных из SCADA-программы в эти приложения осуществляется, как правило, посредством процедур DDE. Отсюда вытекают такие требования к разработчику, как умение работать с электронными таблицами и БД, программировать УВА или внутренним SCRIPT-языком, а также знание основных принципов организации DDE-обмена. Последнее соображение касается использования любого инструментального программного продукта — лучшим пользователем всегда будет являться программист.

Следует обратить внимание на обучение работе со SCADA-программой. Иллюзия заключается в том, что предлагаемые различными фирмами одно-, двухнедельные курсы способны сформировать специалистов, освоивших все тонкости работы со SCADA-программой. На самом деле за это время обучающиеся приобретают лишь начальные профессиональные навыки. И только после завершения ими первого проекта можно говорить об их становлении в качестве полноценных специалистов. При этом не следует забывать и о требованиях к слушателям курсов: им необходим определенный базис программирования и пользования компьютером.

Следующая иллюзия — двусмысленность непрофессионального восприятия заказчиками термина «открытая система», применяемого в отношении предлагаемых SCADA-программ. В первую очередь речь идет о возможности организации информационного обмена по сети с ПЛК и другими системами управления. Утверждение о том, что современные SCADA-программы стали «открытыми» заказчиками воспринимается как гарантия отсутствия



каких бы то ни было проблем по стыковке с любыми программно-техническими средствами.

В отношении промышленных протоколов жесткие рамки открытости более прозрачны: необходимо использовать те ПЛК, драйвер для которых разработан под конкретную SCADA-программу. Разработка нового драйвера влечет за собой дополнительные проблемы: организационные, программные и финансовые.

Для ЛВС проблема стыковки часто завуалирована словами «поддержка TCP/IP», на самом деле это не является достаточным основанием того, что данные, полученные от другой системы управления, попадут в вашу БД. Дело в том, что в соответствии с моделью связи OSI (Open System Interconnection) протокол TCP/IP функционально занимает четвертый уровень (уровень транспорта). На этом уровне гарантируется надежное поступление сообщений и обеспечиваются механизмы проверки на ошибку и управление элементами потока данных. Механизм интерпретации данных уровнем транспорта (т. е. любым транспортным протоколом, включая TCP/IP) не предусматривается, а это значит, что без дополнительных средств получатель не способен понять, какую именно информацию (файл, сообщение, массив данных и т. д.) передал ему отправитель. Необходим драйвер уровня приложений, который идентичен используемому в другой АСУ. На сегодня нет такого единого драйвера для АСУТП, т. е. у каждой SCADA-программы он свой.

Кроме протокольных остаются проблемы взаимопонимания между специалистами (разработчиками разных систем): требуются сверка терминов, проверка правильности понимания решаемых задач и т. д. Необходимо добиться четкой договоренности по сетевому взаимодействию, объему параметров и представлению их в двоичной форме, а также по интерпретации получаемых блоков данных (какую информацию несет конкретный бит информации).

Несколько соображений о трудоемкости процесса создания ПО АСУТП. Возникает иллюзия волшебной палочки, позволяющей в одно мгновение разработать ПО АСУТП, оплатив лишь SCADA-пакет. Действительно, если раньше специалисты основное время тратили на программирование процедур сбора информации и передачи управляющих воздействий, а также на разработку своего ЧМИ, а вопросы архивирования информации, расчетов, формирования отчетно-учетных документов решались в минимальном объеме, то сейчас использование SCADA-пакета позволяет программистам удовлетворить существенно возросшее требование к ПО, значительно повысить качество и функциональный объем решаемых задач на верхних уровнях АСУ. При этом время разработки современного ПО пультов управления

обычно составляет не дни, а месяцы. Фактически наблюдается закономерность технического прогресса: соотношение потребность/производительность приближается к константе.

Анализ предложений ряда инжиниринговых фирм, проведенный для одного из конкретных автоматизируемых объектов, показал отношение стоимости SCADA-пакета к общей стоимости ПО АСУТП, равное  $0,1 \div 0,4$  %. При этом это отношение больше для «мощных» SCADA-пакетов, а общая стоимость ПО, естественно, уменьшается.

#### **9.4. SCADA-СИСТЕМА ТРЕЙС МОУД**

Трейс МОУД — SCADA-система, предназначенная для разработки АСУТП широкого назначения. Система создана в 1992 г. и к настоящему времени имеет свыше 4000 инсталляций. Системы, разработанные на базе Трейс Моуд, работают в энергетике, химической и других отраслях промышленности и в коммунальном хозяйстве. По числу внедрений в России Трейс Моуд значительно превосходит зарубежные пакеты подобного класса благодаря наилучшему соотношению цена — производительность.

Система Трейс Моуд основана на разработке распределенной АСУТП как единого проекта, автопостроении, оригинальных алгоритмах обработки сигналов и управления, объемной векторной графике мнемосхем, едином сетевом времени, технологии «playback» — графическом просмотре архивов на рабочих местах руководителей и др. Трейс Моуд — это первая SCADA-система, поддерживающая сквозное программирование операторских станций и контроллеров при помощи единого инструмента.

#### **Краткая характеристика**

- Модульная структура — от 128 до 64000×161/0; количество тегов не ограничено: минимальный цикл работы системы — 0,001 с; открытый формат драйвера для связи с любым УСО; открытость для программирования (Visual Basic, Visual C и т. д.).

- Разработка распределенной АСУТП как единого проекта; средства сквозного программирования АСУТП верхнего (АРМ) и нижнего (ПЛК) уровней. Встроенные библиотеки более чем 150 алгоритмов обработки данных и управления. Создание средств холодного и горячего резерва.

- Средства программирования контроллеров и АРМ — на основе международного стандарта IEC 1131-3.

- Поддержка широкого спектра контроллеров как отечественного, так и зарубежного производства.

- Поддержка единого сетевого времени.
- Графическое отображение информации более 200 типов, в том числе трендов, мультипликация на основе растровых и векторных изображений.
- Просмотр архивной информации в PB, в том числе в виде трендов и таблиц. Сеть на основе Netbios, NetBEUI, IPX/SPX, TCP/IP. Обмен данными с независимыми приложениями с использованием DDE/NetDDE, Advaced DDE, SQL/ODBC, OPC, DCOM.
- Резервирование архивов и автовосстановление после сбоя.
- Web-управление; поддержка передачи данных через сотовые сети стандарта GSM; контроль и управление процессом посредством GSM-сообщений.
- Расширенная технологическая поддержка. Полная русификация.
- Система Трейс Моуд позволяет создавать резервирование многоуровневых АСУТП масштаба предприятия на базе ведущих сетевых ОС. Сетевые комплексы допускают структурирование с выделением уровней контроллеров, диспетчерского и административного (рис. 9.3).

На нижнем уровне, уровне контроллеров, сбор информации и управление процессом осуществляются семейством программ:

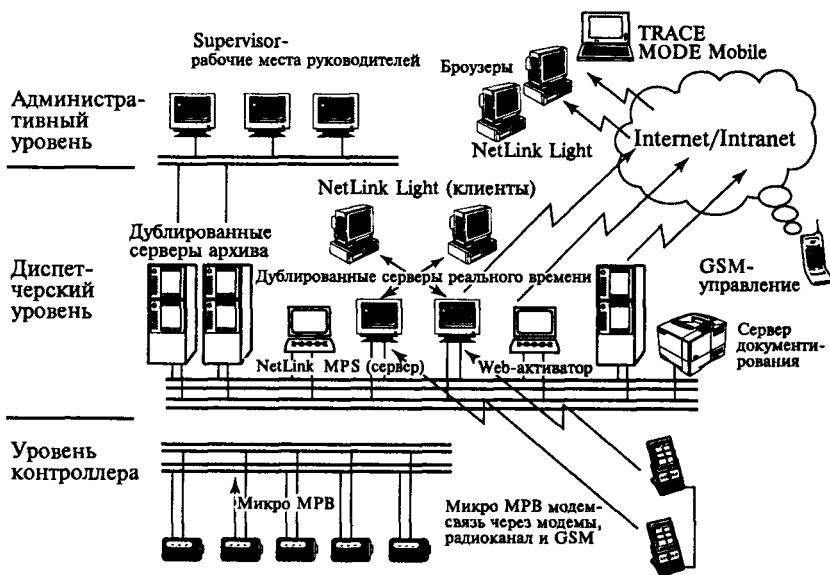


Рис. 9.3. Структура многоуровневой АСУТП предприятия

МикроМРВ, МикроМРВ Модем+, МикроМРВ GSM+. Они могут как работать автономно, так и обмениваться данными с мониторами РВ соответственно через последовательные порты или сеть, по коммутируемым линиям или посредством сотовых сетей. Средний, диспетчерский, уровень включает в себя множество исполнительных модулей, работающих на ПК под управлением Windows NT: мониторы РВ, графические консоли, средства документирования, ведения архивов и др. Верхний, административный уровень составляет программы для представления данных о ходе ТП в удобной форме: Supervisor, клиентские консоли.

Благодаря поддержке широкой гаммы отраслевых стандартов, таких, как DDE, ODBC, OPC, Active X, TCP/IP и др., АСУТП на базе системы Трейс Моуд 5 легко интегрируется в информационные системы предприятия.

Отличительными особенностями системы Трейс Моуд являются высокая производительность, развитая система горячего резервирования, интеграция SCADA/Sogftlogic-технологий; наличие средств проектирования распределенной АСУТП как единого проекта, а также технология автопостроения, сокращающая время создания проекта.

Современная 32-разрядная архитектура Трейс Моуд 5 обеспечивает высокую производительность системы в РВ на всех уровнях обработки информации (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Характеристики архитектуры Трейс Моуд 5

Подсистема	Показатель	Примечание
Обработка сигналов	32000 каналов полностью пересчитывается за 90—92 мс	Pentium-II 233. Загрузка процессора сервером математической обработки: 36—38%
Обновление информации на экране	2000 пятидесятицветных индикаторов обновляются на экране за 0,5 с	Pentium-II 233. Загрузка процессора графической консолью 20—35%
Сетевой обмен	30000 аналоговых каналов передаются без потерь с частотой 1 Гц через сеть Ethernet 10 Мбит	Pentium 233. CELE RON-300 и Pentium-II 350
Сохранение данных в архиве	В локальный архив без потерь сохраняются 100000 записей	Pentium-II 233, жесткий диск без поддержки VIDE

Для создания системы с горячим резервированием при использовании Трейс Моуд 5 достаточно указать, что ПК должен иметь дубль, и система сама сгенерирует и настроит необходи-

мую БД (каналов). При изменении конфигурации основных узлов Трейс Моуд 5 автоматически обновит узлы-дубли.

Работа резервированных систем в РВ полностью автоматизирована. Встроенная система автоматического горячего резервирования самостоятельно контролирует работу дублированных узлов и в случае отказа одного из них автоматически переключает информационные потоки на резервный, а также производит накопления архивов. Резервируются датчики, платы ввода/вывода, ПК, контроллеры, сетевые линии, архивы.

Трейс Моуд является лидером в технологии сквозного программирования верхнего и нижнего уровней АСУ. С ее помощью возможно одновременно программировать задачи приема данных и управления в IBM-совместимых контроллерах и задачи супервизорного контроля и управления для АРМ диспетчеров на ПК. Вся разработка осуществляется в графическом редакторе, основанном на требованиях международного стандарта IEC-1131/3. Система Трейс Моуд 5 включает в себя библиотеку из 150 алгоритмов обработки данных и управления, в том числе алгоритмы фильтрации, PID, PDD, адаптивного, модельного, нечеткого позиционного регулирования, ШИМ-преобразования, решения статических, арифметических, алгебраических, логических, тригонометрических задач и т. д., блоки управления с исполнительными устройствами (клапан, задвижка, привод и т. д.).

Для разработки применяются визуальные, интуитивно понятные инженерам-технологам методы — язык функциональных блоков (Техно IL) или язык инструкций (Техно IL). В основу создания системы Трейс Моуд изначально закладывался тот факт, что комплексы автоматизации должны создаваться специалистами по автоматизации. Этот вывод подтверждается тем, что целый ряд проектов (например, проект Воскресенского завода минеральных удобрений) был создан исключительно технологами и инженерами КИПиА.

В Трейс Моуд 5 распределенная АСУ, включающая операторские станции, АРМ руководителей, архивные серверы и контроллеры, рассматривается как один проект. Каждый узел в распределенной АСУТП имеет информацию об остальных узлах системы и в случае его модификации автоматически обновляет соответствующую БД на других узлах. Средствами Трейс Моуд легко разрабатывать, поддерживать и развивать распределенные АСУТП.

«Автопостроение™» — это группа оригинальных технологий системы Трейс Моуд 5, заключающихся в автоматическом генерировании баз каналов операторских станций и контроллеров, входящих в проект АСУТП на основе информации о числе точек

ввода/вывода, номенклатуре используемых контроллеров и УСО, наличии и характере связей между ПК и ПЛК.

Трейс Моуд — динамично развивающаяся система, в которую постоянно добавляются модули, использующие новейшие технологии для создания пользователям системы дополнительных возможностей. Последние новинки — исполнительные модули Трейс Моуд 5, которые позволяют создавать АСУТП в РВ на основе WEB-технологий — WEB-активатора и сотовых технологий — GSM-активатора.

WEB-активатор позволяет быстро добавить в работающую АСУТП дополнительные АРМ диспетчеров и обеспечить возможность доступа технологов к информации о ТП с любого компьютера предприятия. WEB-активатор является WEB-сервером Трейс Моуд, снабженным автоматическим доступом к мониторам РВ. Новая программа может быть использована для создания www-шлюза для локальных АСУТП на базе Трейс Моуд 5 для Windows NT и для придания функций WEB-сервера мониторам РВ Трейс Моуд 5. С возможностью превращения обыкновенного монитора РВ Трейс Моуд в WEB-сервер связано название нового программного продукта.

GSM-активатор позволяет организовать обмен данными между удаленными объектами в системе АСУТП через сотовую сеть. Запрограммировать обмен данными через GSM/SMS можно средствами стандартной инструментальной системы TRACE MODE, базовая версия которой бесплатна. Новая технология поддерживается в следующих исполнительных модулях системы: MicroTRACE MODE+ и GSM-активатор для Windows NT.

MicroTRACE MODE GSM+ осуществляет автоматическую передачу данных с удаленных контроллеров на операторскую станцию в виде SMS-сообщений с использованием WAP-протокола (в релизе 5.06 поддерживается 3 уровня WAP). GSM-активатор для Windows NT позволяет дополнительно посылать отчеты тревог на сотовые телефоны GSM, исполнять управляющие команды с сотового телефона и выдавать информацию по запросу с сотового телефона.

Внедрения Трейс Моуд достаточно обширны. Так, фирма Теплоэнергоремонт (Мостеплоэнерго) разработала и внедрила АСУ более чем на 40 котлоагрегатах районных тепловых станций в г. Москве. Причем АСУ выполнены по технологии «софтлоджик», с использованием PC-совместимых контроллеров МФК фирмы ТЕКОН (г. Москва). SCADA-система Трейс Моуд 5 использована не только для разработки математического обеспечения операторских станций, но и для программирования контроллеров, осуществляющих непосредственное цифровое управ-

ление ТП. В проекте реализована технология сквозного программирования всех уровней АСУТП.

На АО «Воскресенские минудобрения» (г. Воскресенск) разработана и внедрена АСУ производства аммофоса с применением технологии «софтлоджик» и РС-совместимых контроллеров МФК. В системе предусмотрены мониторинг, прямое цифровое и супервизорное управление.

Система Трейс Моуд приобретает популярность и за рубежом.

## 9.5. ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ФИРМЫ ИН-САТ ДЛЯ АСУТП

Разработан SCADA-пакет, который поддерживает все положительные качества, присущие современному продукту технологий (OPC, Active-X, COM/DCOM, OLE, HTML, SQL, ODBC, OLEDB и др.).

Первое принципиальное преимущество — проект одновременно, а не друг за другом создают два разных разработчика. Первый осуществляет разработку архитектуры АСУТП, знает контроллеры и связи с ними. Второй знает ТОУ и специфику его контроля и управления.

Шаги первого разработчика:

1. Описываются настройки связи с контроллерами и формируются группы опрашиваемых переменных, что осуществляется непосредственно в OPC-серверах этих контроллеров.

2. Описывается структура создаваемой АСУТП посредством дерева системы: в дерево включаются компьютеры, к ним подключаются OPC-серверы с их конфигурациями, которые немедленно становятся видны в дереве системы и готовы к использованию. Во всех известных SCADA-пакетах вместо этого приходится выполнять трудоемкую и медленную процедуру поштучной ссылки на OPC-переменные.

3. Задаются общие настройки системы, которые затем наследуются всеми компьютерами: расписание смен операторов, список приоритетов аварий, стандартные размеры локальной БД и т. п.

4. Задаются только те настройки каждого компьютера, которые на данной машине по какой-либо причине отличаются от унаследованных настроек предыдущего шага, например размер экрана, объем дискового пространства, отводимый под каждый раздел БД, и др. В итоге оказывается построенной распределительная система.

В это же время второй разработчик описывает объект по этапам:

1. **Создается дерево объекта:** завод состоит из цехов, цеха — из участков.

**2. Проектирование участков.** Участки состоят из технологических агрегатов. При этом если они типовые, то разработчик переносит их из библиотеки, которая всегда находится в памяти компьютера в составе палитры элементов. Если встретился нетиповой агрегат, то следует создать модель этого агрегата в виде дерева объекта: настроить свойства, включить в его состав библиотечные насосы, задвижки, клапана, датчики, а затем перенести его в библиотеку, чтобы использовать в дальнейшем как типовой агрегат.

**3. Создание списка входов/выходов элемента дерева объекта.** Для типовых элементов он уже существует, для нетиповых его следует создавать путем размножения единственных входа/выхода до нужного количества. В обоих случаях приходится устанавливать мышкой связи с входами/выходами OPC-серверов, включенными в состав дерева системы первыми разработчиками, или с входами/выходами других объектов.

**4. Настройка объектов.** Для типовых элементов она не нужна, так как была сделана раньше. Однако, если в создаваемой системе имеются особенности, типовой элемент можно и подправить, а сохранять ли его в библиотеке, можно решить потом и занести его туда как модификацию исходного элемента под новым именем.

Если элемент не типовой, то следует описать все его свойства: поведение — схемой из функциональных блоков, события — перечнем сообщений, внешний вид — мнемосхемой и символом и т. д. и т. п.

Для второго разработчика, как и для первого, нужно сделать всего четыре шага — и проект готов.

Здесь принципиально следует обратить внимание на несколько моментов.

1. Экран разработчика всегда один, нет никаких подсистем и модулей, всего четыре зоны: два дерева — системы и объекта, перечень типовых элементов и набор закладок. В режиме РВ этот же экран доступен для модификации конфигурации в режиме on-line или для навигации по объекту в целях просмотра его документов: мнемосхем, журналов сообщений, рапортов и т. д.

При работе с элементом дерева системы или с объектом из дерева объекта схема работы всегда одна: связи и вставка новых элементов осуществляются мышкой, а настройка — с помощью индивидуального набора закладок, который появляется при позиционировании на любом из элементов деревьев. Например, для объекта это закладки «вид», «сообщения», «тренды», «архивы», «рапорты», «журналы», «описание» и др. При появлении у пакета новой подсистемы у объекта появится полнофункциональный



графический редактор. Если получится скученно, то можно вернуть на весь экран. Если встать на закладку «описание» и нажать кнопку, то откроется MS Word. Можно зайти на закладку «другие документы» и открыть на ней любую программу. Главное — результат, а он в том, что созданный документ «прилепляется» к объекту и сопровождает его жизнь в проекте как при разработке, документировании, так и в режиме РВ.

2. Чтобы объект стал типовым для всех проектов, достаточно перенести его в библиотеку. Единственное, что при этом произойдет, — разрыв связей, но, так как все входы/выходы сохранились и сосредоточены в одном месте, создать новые можно за несколько минут. Все мнемосхемы, сообщения, архивы, рапорты и т. п. корректировать не придется — они останутся без изменений.

Так как разработчик может работать одновременно с несколькими проектами в одном сеансе, то перенести объект из одного проекта в другой можно простым копированием посредством закладки «карман» (Clipboard).

3. Из дерева можно перевести объект не только в библиотеку, но и в закладку мнемосхемы. Например, имеет место в дереве объект «химический реактор», обвязанный различным оборудованием: включены в него насосы и задвижки, клапаны и датчики. Открываем мнемосхему реактора и устанавливаем в нее насос. На мнемосхеме появится изображение насоса — это будет «живой» объект. Он меняет свое поведение на экране в соответствии с изменением входов, принадлежащих насосу в дереве объекта, по щелчку одной кнопкой мыши на насосе будет открываться окно управления им, а по щелчку другой кнопки — его индивидуальная мнемосхема или список сообщений. Все это не надо создавать и настраивать, это свойства объекта «насос», созданного тем же разработчиком ранее или кем-то до него.

4. Четвертый принципиальный момент — наследование. Каждый объект принадлежит какому-то одному компьютеру — живет на нем. Это не значит, что он доступен операторам других компьютеров. Просто от настроек именно этого компьютера мнемосхемам объекта при вызове становится известен размер и разрешение экрана, а сменным рапортам — расписание смен и т. д. Изменив какие-либо настройки объекта, можно изменить аналогичные настройки всех подчиненных ему объектов сверху донизу. Все это — компоненты последовательного объективного подхода. Они многократно ускоряют разработку системы и повышают ее надежность, упрощают пользовательский интерфейс и со временем превращают процесс создания новой АСУТП в процесс ее быстрой сборки из готовых компонентов.

## 9.6. OPC-СЕРВЕРЫ

Стандарт OPC довольно часто востребован в области разработки драйверов связи SCADA-пакетов с внешними устройствами ввода/вывода.

Фирма Ин-Сат разработала здесь собственный инструментарий. Она эффективно стала разрабатывать OPC-серверы и смогла придать им в сравнении с другими дополнительную функциональность, включающую:

1. Удобный ЧМИ, в котором настройка свойств контроллеров, групп и переменных проводится не во всплывающих диалогах, а на постоянно доступных на экране страницах свойств.

2. Механизм наследования свойств, позволяющий, например, задать контроллеру или группе в целом период опроса и при необходимости изменять его для конкретной переменной.

3. Отладочный сервер — окно и сохраняемый в файле журнал трассировки передаваемых и принимаемых пакетов данных, а также окно и журнал сообщений от драйвера обмена с контроллером.

4. Перевод значений, получаемых от контроллера, в технические единицы в необходимом формате данных.

5. Необходимый для отладки или создания демосистем режим имитации значений некоторых или всех переменных, изменяющихся по некоторым законам: синусоидальному, пилообразному, случайных значений, импульсному (от мультивибратора) и др.

6. Поле комментария для документирования процесса разработки.

7. Выбор единицы измерения для удобства просмотра переменных в режиме РВ.

8. Импорт списков переменных из систем программирования контроллеров.

Фирма Ин-Сат разработала также OPC-серверы для обмена данными с контроллером Ломиконт, для связи с АРМ, работающими под управлением SCADA-пакета VNS, и для работы с РС-совместимыми контроллерами, запрограммированными с помощью системы MicPlus. Фирма в принципе разрабатывает любые OPC-серверы.

## 9.7. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС VNS-GARDEN

В течение многих лет Ин-Сат выпускала SCADA-пакет VNS. Свыше 450 организаций внедрило в общей сложности почти 2500 АРМ практически во всех отраслях промышленности. Пакет зарекомендовал себя как достаточно эффективный документ, не

требующий обучения пользователей и обладающий функциональными возможностями для решения практически всех задач, возникающих непосредственно в сфере АСУТП. Однако VNS оказался в неполной мере готов к появившейся в последние годы тенденции «глобализации» — стремлению объединять локальные системы, вводить данные из АСУТП в финансовые и управленческие системы и создавать решения, обеспечивающие управление предприятием в целом. Поэтому осуществлена разработка принципиально нового пакета (пакет программ Master SCADA) и создан набор Windows NT-клиентов для VNS (пакет программ Garden).

Эта разработка обеспечила открытые интерфейсы, возможности наращивания системы от крошечной до большой, поддержку почти 30 типов контроллеров, практически бесплатное создание одним инструментальным пакетом любого числа АРМ оператора, наличие инструментария переноса конфигураций в Master SCADA. Все это открывает широкие горизонты для использования VNS для управления предприятиями. Впервые в мировой практике на рынке появился SCADA-пакет по цене от 99 до 300 \$ за инструментальный пакет и от 50 до 200 \$ за АРМ оператора VNS. Учитывая то, что полнофункциональный пакет на 100 переменных распространяется достаточно дешево, пороговый уровень для начала работы с пакетом в целом доступен. Это дает возможность сначала опробовать действующий фрагмент системы, а затем принять решение о ее приобретении.

### **Архитектура и функциональные возможности комплекса VNS-Garden**

Обмен данными в комплексе реализован в рамках двухуровневой архитектуры клиент — сервер: на нижнем уровне — локальные одноранговые сети из АРМ VNS (до 255) на базе протокола NetBIOS, на верхнем — клиентские АРМ Garden, связанные по протоколу TCP/IP по сети телефонных линий или через сеть Интернет

Одно АРМ рассчитано на прием 4000 переменных, получаемых из контроллеров. Библиотека, содержащая около 100 алгоритмов, реализует все необходимые виды контроля, обработки, управления и генерации сигналов.

Контроль доступа и регистрация действий оператора обеспечивают безопасность управления объектом.

VNS сохраняет архивы на локальном или сетевом диске. Архивы данных имеют двоичный, а для сообщений и рапортов — текстовый формат. Предусмотрено резервное копирование и

автономный просмотр в режиме off-line. Срок хранения информации — до одного года.

Garden сохраняет архивы в формате MS Jet (Access) или передает их в SQL-сервер. Объем передаваемой из VNS информации минимизирован благодаря передаче только изменившихся данных, что особенно существенно при работе по «медленному», например телефонному, каналу связи. Длительность хранения ограничена только зарезервированным размером базы данных.

Быстрая векторная графика VNS и динамизация всех возможных свойств базовых графических элементов, наряду с включением в состав мнемосхемы трендов, меню, дочерних окон, зон выбора и точек управления, открывает простор для выбора способа отображения хода ТП.

Существенным отличием VNS от ряда известных SCADA-пакетов является возможность конфигурирования связи с контроллерами и их переменными именно той терминологии, которая является специфичной для конкретной модели, включая импорт описаний переменных из технологических систем программирования, ограничение значений управляющих воздействий, формирование массивов и многое другое.

Открытые интерфейсы для создания собственных алгоритмов обработки данных, драйверов и программ расширения позволяют практически неограниченно применять VNS для решения нестандартных задач.

## **9.8. ЗАРУБЕЖНЫЕ SCADA-СИСТЕМЫ**

При разработке специализированного прикладного ПО (ППО) для создания СУ системный интегратор или пользователь обычно выбирает одно из следующих направлений:

- программирование с использованием традиционных средств (традиционные языки программирования, стандартные средства отладки и пр.);
- использование существующих, готовых COTS (Commercial Of The Shelf) инструментальных проблемно-ориентированных средств.

Оптимальным считается хорошо отлаженное ППО, написанное программистом высокой квалификации специально для конкретного проекта. Для сложных РСУ процесс их создания оказывается длительным, а затраты на их разработку — высокими. В последнее время в условиях значительно возрастающей доли ППО в затратах на создание конечной продукции (системы) и соответственно ужесточающихся требований к интенсификации труда программистов вариант с непосредственным программиро-

ванием приемлем лишь для простых систем или незначительных фрагментов большой системы, для которых нет стандартных решений (например, не написан подходящий драйвер). В этом случае разработку собственного НПО следует упростить, сократить временные и прямые финансовые затраты на создание ППО, минимизировать затраты труда квалифицированных программистов и, по возможности, привлекать к разработке технологов, т. е. специалистов в области автоматизируемых ТП.

Сфера разработки ПО все более специализируется, а ПО становится сложным и дорогостоящим. При этом разработчики ОС, инструментальных средств, ППО и т. д. по существу общаются на разных языках. Таким образом, логика в области разработок ППО для конечных систем управления требует использования развитых инструментальных средств типа SCADA-систем. Поэтому разработка современной SCADA-системы обусловлена большими финансовыми затратами и реализуется в длительные сроки. Разработчикам управляющего НПО для АСУТП целесообразно идти по иному пути, приобретая, осваивая и адаптируя готовый, уже апробированный универсальный инструментарий.

В табл. 9.2 приведены некоторые популярные на западном и российском рынках SCADA-системы, имеющие поддержку в России.

Анализ подобных пакетов позволяет сформулировать некоторые основные возможности и характерные черты SCADA-систем.

Рассматривая SCADA-системы остановимся на традиционном наборе их свойств и характеристик, а также на вновь появившихся связях SCADA-систем — OPC-серверах, расширениях РВ для Windows NT.

Таблица 9.2

**Популярные SCADA-системы, имеющие поддержку в России**

SCADA	Фирма-изготовитель	Страна
Factory Link	United States Data Co	США
In Touch	Wonderwage	США
Genesis	Iconics	США
Win CC	Siemens	Германия
Real Flex	BJ Soft Systems	США
Sitex	Jade Softwage	Великобритания
FIX	Intellution	США
Trace Mode	Ad Astra	Россия
Simplicity	GE Fanuc Automation	США
RS View	Rockwell Softwage Inc	США

SCADA-системы обеспечивают цеховой уровень автоматизации, связанный с получением и визуализацией информации от

ПЛК. Однако поставляемая на данный уровень информация не доступна системе управления производством, поэтому некоторые фирмы разрабатывают тесно интегрированные со SCADA-пакетами системы управления производством и обеспечивают обмен данными между этими уровнями, при этом заметно расширяют сервисные возможности своих продуктов для реализации комплексного подхода к автоматизации промышленного предприятия в целом.

Разработка таких комплексных, хорошо интегрированных инструментальных средств — главная современная тенденция в создании базового ПО для управления промышленными предприятиями.

### *Характеристики SCADA-систем*

Согласно требованиям, предъявляемым к SCADA-системам, спектр их функциональных возможностей определен и реализован практически во всех пакетах. Рассмотрим основные возможности и средства, присущие всем системам и различающиеся только техническими особенностями реализации:

- автоматизированная разработка, позволяющая создавать ПО системы автоматизации без реального программирования; средства сбора первичной информации от устройств нижнего уровня;
- средства управления и регистрации сигналов об аварийных ситуациях;
- средства хранения информации с возможностью ее пост-обработки (это реализуется через интерфейсы к наиболее популярным БД); средства обработки первичной информации;
- средства визуализации информации в виде графиков, гистограмм и т. п.;
- возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как единое целое (например, установки и т. п.).

### **Функциональные возможности**

Основу большинства SCADA-пакетов составляет несколько программных компонент (БД РВ, ввода/вывода, предыстории, аварийных ситуаций) и администраторов (доступа, управления, сообщений). В целом технология проектирования СА на основе SCADA-систем очень проста и заключается в:

- разработке архитектуры всей системы автоматизации (на этом этапе определяется функциональное назначение каждого узла системы автоматизации);

— решении вопросов, связанных с возможной поддержкой распределенной архитектуры и необходимостью введения узлов с горячим резервированием, и т. п.;

— создании прикладной системы управления для каждого узла, где специалист в области автоматизируемых процессов наполняет узлы архитектуры алгоритмами, совокупность которых позволяет решать задачи автоматизации;

— приведении параметров прикладной системы в соответствие с информацией, которой обмениваются устройства нижнего уровня (например, ПЛК) с внешним миром (датчиками температуры, давления, состава, свойств и др.);

— отладке созданной прикладной программы в режимах эмуляции и реального времени.

Перечисленные возможности SCADA-систем в значительной мере определяют стоимость и сроки создания ПО, а также сроки его окупаемости.

### *Технические характеристики*

Анализ программно-аппаратной платформы, на которой реализована SCADA-система необходим, так как от него зависит ее распространение на имеющиеся вычислительные средства, а также оценка стоимости ее эксплуатации. По сути дела прикладная программа может быть выполнена любой ОС, которую поддерживает выбранный SCADA-пакет.

Подавляющее большинство SCADA-систем реализовано на MS Windows-платформах. Именно такие системы предлагают наиболее полный и легко наращиваемый ЧМИ. Учитывая главенствующие позиции компании Microsoft на рынке ОС, необходимо отметить, что даже разработчики многоплатформенных SCADA-систем, например «United States Data Co», приоритетным считают развитие своих SCADA-систем на платформе Windows NT. Некоторые фирмы, до сих пор поддерживавшие SCADA-системы на базе ОС PB, уже выбирают системы на Windows NT платформе. Все очевиднее становится применение ОС PB во встраиваемых системах, где они действительно эффективны.

Таким образом, главной стала MS Windows NT. Быстрое развитие OPC-технологий (OLE for Process Control), низкие цены аппаратного обеспечения, распространенность Windows NT на офисных рынках — главные причины того, что абсолютное большинство производителей SCADA-пакетов предпочитают эту ОС.

Одной из основных черт СА является высокая степень интеграции. В любой СА могут быть задействованы ОУ, ИМ, аппаратура, регистрирующая и обрабатывающая информацию, АРМ опе-

раторов, серверы БД и т. д. Для эффективного функционирования в этой разнородной среде SCADA-система должна обеспечивать высокий уровень сетевого сервиса. Необходимо, чтобы она поддерживала работу в стандартных сетевых средах (Arcnet, Ethernet и т. д.) с использованием стандартных протоколов (Netbios, TCP/IP и др.), а также обеспечивала поддержку наиболее популярных сетевых стандартов из класса промышленных интерфейсов (Profibus, Canbus, LON, Modbus и т. д.). Обобщенная схема типичной СА приведена на рис. 9.4, где В/В — ввод/вывод.

Требованиям пользователей в той или иной степени удовлетворяют практически все рассматриваемые нами SCADA-системы с тем лишь различием, что набор поддерживаемых сетевых интерфейсов разный.

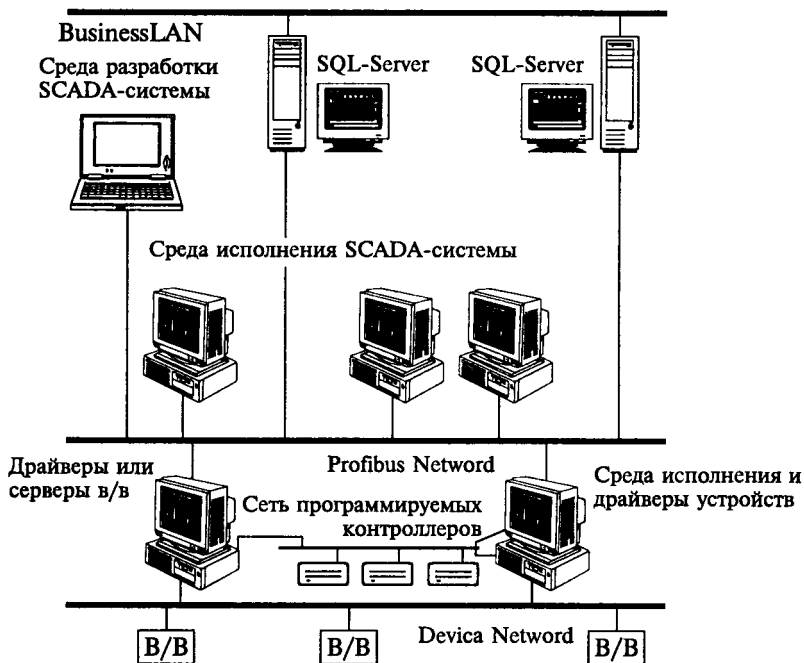


Рис. 9.4. Обобщенная схема типовой системы автоматизации

Большинство SCADA-систем имеет встроенные языки высокого уровня, Basic-подобные языки, позволяющие генерировать адекватную реакцию на события, связанные с изменением значений переменной, выполнением некоторого фрагмента с заданной частотой относительно всего приложения или отдельного окна.



Практически во всех SCADA-системах, в частности Genesis, In Touch, применен ANSI-синтаксис, не зависящий от типа БД. Таким образом, приложения системы виртуально изолированы, что позволяет иметь БД без значительного изменения самой прикладной задачи, создавать независимые программы для анализа информации, использовать уже имеющееся ПО, ориентированное на обработку данных.

Для специалиста — разработчика системы автоматизации, а также для технолога, чье рабочее место создается, очень важен графический ЧМИ. Функционально графические интерфейсы SCADA-систем очень похожи. В каждой из них существует графический объективно-ориентированный редактор с определенным набором анимационных функций. Используемая векторная графика дает возможность осуществлять широкий набор операций над выбранным объектом и быстро обновлять изображения на экране средствами анимации.

Важным фактором является поддержка в рассматриваемых системах стандартных функций GUI (Graphic Users Interface), так как большинство рассматриваемых SCADA-систем работает под управлением Windows, что и определяет тип используемого GUI.

Большое значение имеют эксплуатационные характеристики SCADA-системы, поскольку от них зависит скорость освоения продукта и разработки ППО, отражающая стоимость реализации продуктов.

*Удобство использования.* Сервис, предоставляемый SCADA-системами на этапе разработки ППО, обычно очень развит. Почти все они имеют Windows-подобный ЧМИ, что во многом повышает удобство их использования как в процессе разработки, так и в период эксплуатации прикладной задачи.

Следует обратить внимание не только на наличие технической поддержки SCADA-систем, но и на ее качество. Для зарубежных систем в России возможны следующие уровни поддержки: услуги и обслуживание региональными представителями фирмы-разработчика, взаимодействие с системными интеграторами. Российские партнеры ведущих мировых производителей, как правило, также обеспечивают достаточный уровень сервиса для своих заказчиков в виде русификации документации, регулярных курсов, горячей линии и решения проблем, связанных с индивидуальными требованиями заказчика. Выяснение ситуации о реальном качестве поддержки российскими дистрибьюторами соответствующего продукта — один из главных вопросов, требующих проработки покупателем при выборе конкретной SCADA-системы.

Отечественные системы создавались и поддерживаются фирмами-разработчиками, содержат штат профессиональных программистов, которые имеют все предпосылки для необходимого технического обслуживания своих продуктов.

## Стоимость освоения системы

Процедура освоения SCADA-систем достаточно проста с точки зрения программиста и не требует длительного времени, поэтому эти затраты относительно невелики. Основной составляющей стоимости является оплата труда программистов, осуществляющих эту работу. Стоимость сопровождения или «стоимость владения» зависит от многих факторов:

- стоимости «риска» покупки, который определяется такими параметрами, как рыночная надежность фирмы — дистрибьютора инструментального пакета и рыночная стабильность фирмы — изготовителя продукта;
- стоимости коммуникаций с фирмой-поставщиком;
- времени реакции поставщика на проблемы покупателя;
- наличия реального прикладного опыта и хорошего знания поставляемого продукта специалистами фирмы-поставщика;
- степени открытости, адаптируемости и модернизируемости продукта.

Концентрация разработчиков SCADA-систем на поле Windows NT способствует снижению стоимости владения пользователем этими продуктами.

Стоимость, связанная с трудозатратами на разработку прикладных программ при использовании SCADA-систем, существенно ниже по сравнению со стоимостью традиционного программирования.

Для оценки времени окупаемости SCADA-системы необходимо учесть число проектов, реализуемых на основе этой системы, их стоимость и т. д. При реализации двух-трех проектов в ходе приобретения системы разработки SCADA она окупается.

Важным свойством SCADA-систем всегда была открытость, но в настоящее время она дополняется новыми средствами передачи данных между процессорами (OLE — Object Linking — включение и встраивание), стандартом общения с технологическими устройствами — OPC, встраиваемыми программными объектами (Active-X).

*Открытость системы.* Система является открытой, если определены и описаны используемые форматы данных и процедурный интерфейс, что позволяет подключить к ней «внешние» независимо разработанные компоненты, адаптировать пакет под конкретные нужды с минимальными затратами, любой SCADA-пакет отличается открытостью.

Перед фирмами — разработчиками СА часто встает вопрос о создании собственных (не предусмотренных в рамках SCADA-систем) программных модулей и включении их в СА. Поэтому

открытость — важная характеристика SCADA-систем. По существу она означает доступность спецификаций, системных вызовов, реализующих тот или иной системный сервис. Это обеспечивает доступ к графическим функциям, функциям работы с БД и т. д.

### **Драйверы ввода/вывода**

Современные SCADA-системы имеют широкий набор аппаратуры нижнего уровня, большой спектр драйверов или серверов ввода/вывода, а также хорошо развитые средства создания собственных программных модулей или драйверов — новых устройств нижнего уровня. Сами драйверы разрабатываются с использованием стандартных языков программирования. При этом возникает вопрос, достаточно ли количество спецификаций доступа к ядру системы, поставляемых фирмой-разработчиком в штатном комплекте (система Trace Mode), или для создания драйверов необходимы специальные пакеты (системы Factory Link, In Touch), и нужно ли разработку драйверов заказывать у фирмы-разработчика.

Для подсоединения драйверов ввода/вывода к SCADA-системе используются два механизма: стандартный DDE (Dynamic Data Exchange) и обмен по внутреннему (известному только фирме-разработчику) протоколу. До сих пор DDE остается основным механизмом связи с внешним миром в SCADA-системах. Однако он не вполне пригоден для обмена информацией в РВ из-за своих ограничений по производительности и надежности. Взамен DDE компания Microsoft разработала более эффективное и надежное средство передачи данных между процессами, т. е. OLE. Механизм OLE поддерживается в RS View, FIX, In Touch, Factory Link и др. На OLE появляется новый стандарт — OPC, ориентированный на промышленные СА.

Новый стандарт, во-первых, позволяет объединять на уровне объектов различные СУ, функционирующие в распределенной гетерогенной среде; во-вторых, OPC устраняет необходимость использования различного нестандартного оборудования и соответствующих коммуникационных программных драйверов. Для SCADA-систем появление OPC-серверов означает разработку программных стандартов обмена данными с технологическими устройствами. Так как производители полностью ориентируются в своих устройствах, то эти спецификации являются для них руководством к разработке соответствующих серверов. Эти программные драйверы появляются на рынке, разработчики

SCADA-систем предлагают свои механизмы связи с OPC-драйверами; OPC-интерфейс допускает различные варианты обмена: получение «сырых» данных от физических устройств, PCU или любого приложения.



Рис. 9.5. Архитектура OPC «клиент – сервер»

Рынок пополнился инструментальными пакетами для написания OPC-компонент, например OPC-Toolkit фирмы Factory Soft Inc, включающий OPC-Server Toolkit, OPC Client Toolkit, примеры OPC-программ.

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Роль SCADA-системы в современном производстве.
2. SCADA-система КОНТУР, состав и функциональные возможности.
3. Программное обеспечение АСУТП и SCADA-системы.
4. Технические и экономические характеристики программных продуктов.
5. Опыт использования открытых SCADA-программ.
6. SCADA-система Трейс Моуд, ее состав и функциональные возможности.
7. Программные продукты фирмы Ин-Сат для АСУТП.
8. Программный комплекс VNS-Garden.
9. Зарубежные SCADA-системы, их характеристики.
10. Архитектура OPC «клиент – сервер».
11. Какие особенности имеет SCADA-система КОНТУР?
12. Что относят к характеристикам применения программных продуктов?
13. Поясните порядок создания разработчиками программных продуктов.
14. В чем состоит технология проектирования СА на основе SCADA-систем?
15. В чем состоят функциональные возможности применения SCADA-систем?
16. Поясните назначение каждого элемента типовой системы автоматизации.
17. От каких факторов зависит стоимость освоения системы автоматизации?
18. Оцените стоимость освоения системы автоматизации.

## Глава 10. PROSOFT — ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ

Основой всех систем управления являются информационные процессы, протекающие в них. Процессы управления в организованных системах (например, производственные процессы) следует рассматривать как процессы формирования информации, которые характеризуют состояние данных объектов и преобразуют в новую информацию, необходимую для управления системой.

Сформированная информация, определяющая состояние технологических процессов пищевых производств, требует усиления для дальнейшей обработки, т. е. квантования, кодирования и передачи в каналы связи системы управления, посредством устройств связи с объектом (УСО). Эти аппаратные средства для получения, обработки и передачи информации в каналы связи системы управления обеспечивают преобразование текущей информации, характеризующей состояние объекта управления (технологический процесс), в управляющие воздействия на него.

Под информацией при управлении производством продукции понимают различные виды сведений о состоянии технологических процессов, обуславливающих переработку сырья и полуфабрикатов, которые характеризуются совокупностью символов, знаков, условных обозначений и т. д.

При построении систем управления технологическими процессами циркулирующую на предприятии информацию необходимо рассматривать, во-первых, с точки зрения ее практической ценности и полезности для пользователей (персонала автоматизированных рабочих мест — АРМ технолога) и АСУ в целях принятия решения и, во-вторых, с точки зрения смысловой взаимосвязи между информационными процессами.

Первое позволяет установить необходимую и достаточную для пользователей информацию и на этой основе решить технические вопросы — осуществить выбор необходимых вычислительных средств и программных продуктов по переработке, хранению и передаче информации в каналы связи систем управления для формирования управляющих воздействий по обеспечению производства качественной продукции.

Второе дает возможность раскрыть содержание информации, отражающей состояние объекта управления, вскрыть соотношения между знаками и символами, их предметными смысловыми значениями, выбрать единицы измерения и критерии технологи-

ческой информации, провести классификацию показателей объектов, создать систему взаимосвязанных кодов, обеспечивающих эффективную работу систем управления технологическими процессами. Смысловый аспект технологической информации способствует наиболее полному выяснению и изучению состояния технологических процессов, явлений и данных в целях обоснованных выработки и принятия управляющих решений и воздействий для обеспечения производства продукции стандартного качества. Эти задачи можно решить при использовании в ПТК устройств серии ADAM-4000.

### **10.1. СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ (ADAM-4000)**

Модули серии ADAM-4000 являются малогабаритными многофункциональными интеллектуальными устройствами связи с объектом, специально разработанными для применения в промышленных условиях эксплуатации. Встроенный микропроцессор, входящий в состав каждого изделия, обеспечивает независимое от управляющей вычислительной системы выполнение функций гальванически изолированного ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов с последующей их нормализацией, фильтрацией и преобразованием в форму, пригодную для передачи по последовательному каналу связи, а также информационный обмен с ведущим узлом сети передачи данных на базе интерфейса RS-485.

В модулях ADAM реализована функция удаленной программной настройки типов и диапазонов принимаемых аналоговых сигналов, что обеспечивает возможность их сопряжения с различными датчиками и преобразователями непрерывных параметров.

Тип и диапазон входного сигнала устанавливается путем передачи в адрес модуля по последовательному каналу связи соответствующей команды от управляющего компьютера. Таким образом, при решении различных измерительных задач возможно применение модулей одинакового типа, что значительно сокращает затраты на разработку и обслуживание системы, а также придает им универсальность.

Встроенный сторожевой таймер, входящий в состав изделий серии ADAM-4000, обеспечивает повторный запуск встроенного программного обеспечения в случае непредвиденной остановки его исполнения, вызванной электромагнитными помехами или сбоями в цепях питания. Эта функциональная возможность значительно снижает затраты на техническое обслуживание системы.

Для объединения модулей серии ADAM-4000 в многоточечную сеть передачи данных, создаваемую на базе управляющего

компьютера с использованием стандарта последовательной связи RS-485, требуется только одна пара проводов, образующая двухпроводную симметричную линию связи. Управление многоточечной сетью модулей ADAM-4000 осуществляется центральным компьютером путем передачи через последовательный порт символьных команд и приема ответных сообщений от модулей. Команды представляются в формате ASCII.

Электрическое питание модулей серии ADAM-4000 осуществляется нестабилизированным постоянным напряжением от 10 до 30 В. Кроме того, в модулях реализованы средства защиты от переплюсовки напряжения питания. Отключение и подключение цепей питания к модулю может производиться без нарушения работоспособности сети, в составе которой функционирует данный модуль.

Таким образом, сеть последовательной передачи данных, содержащая модули ADAM-4000, может управляться компьютером практически любого производителя и с любой архитектурой. При этом нет необходимости в выполнении каких-либо дополнительных операций по настройке модулей, так как их конфигурирование в полном объеме производится программным способом.

Преобразование технологической информации, в основном являющейся аналоговой, — процесс сложный. Для ее преобразования в цифровую форму используют аппаратные средства: аналого-цифровые преобразователи (АЦП), которые оцифровывают аналоговый сигнал и представляют его в виде числовой последовательности. Реализацию этого преобразования можно осуществить с помощью АЦП, например, модуля аналогового ввода ADAM-4011 (рис. 10.1).

Одноканальный модуль аналогового ввода ADAM-4011 может быть дистанционно настроен на функционирование в одном из 14 различных режимов ввода, которым соответствуют различные типы и диапазоны входного сигнала (токи термпар различных типов, изменяющиеся в широких диапазонах токи (мА), напряжения (мВ, В). Это свойство позволяет существенно сократить номенклатуру комплекта ЗИП, поскольку для решения различных задач может применяться модуль одного и того же типа.

### **10.1.1. ОДНОКАНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ АНАЛОГОВОГО ВВОДА-ВЫВОДА СЕРИИ ADAM-4000**

Модули аналогового ввода-вывода серии ADAM-4000 ADAM-4011/4011В/4012/4013/4014В/4016/402П имеют в своем составе 16-разрядный сигма-дельта АЦП, управляемый микропроцессором, который предназначен для приема и преобразования

сигналов термопар, термосопротивлений, а также аналоговых сигналов в форме изменяющихся токов или напряжений. Микропроцессор осуществляет преобразование цифровых отсчетов аналогового сигнала, поступающих с выхода АЦП, в значения, представляемые в одном из следующих форматов: инженерные единицы, проценты полной шкалы, дополнительный код или числовые значения величин. После получения запроса на передачу данных от ведущего узла сети на базе RS-485 микропроцессор модуля передает отсчет входного аналогового сигнала, представленный в одном из перечисленных форматов, в адрес ведущего узла сети.

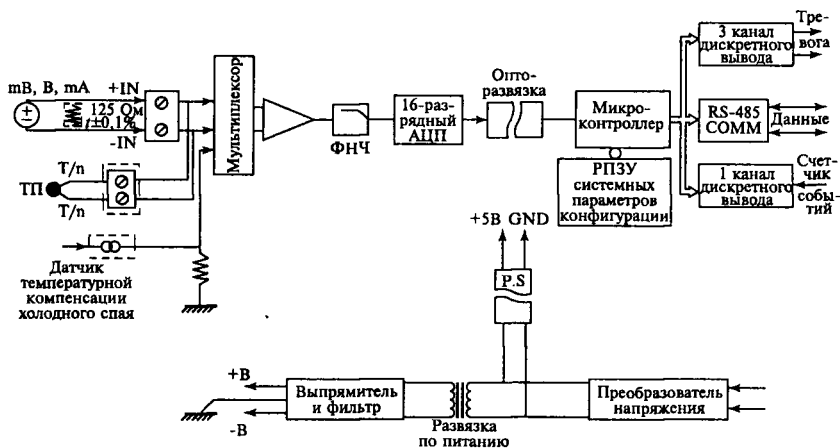


Рис. 10.1. Структурная схема модуля аналогового ввода ADAM-4011

Модули серии ADAM-4000 обеспечивают защиту ведущего узла сети от влияния гальванической связи, благодаря наличию в их составе цепей гальванической развязки с напряжением изоляции 3000 В постоянного тока.

Все одноканальные модули аналогового ввода этой серии оснащены каналами дискретного ввода-вывода, которые могут использоваться для подсчета импульсов, фиксации дискретных событий и реализации функций локального дискретного управления при достижении входным аналоговым сигналом предварительно заданных значений.

Одноканальные модули аналогового ввода имеют в своем составе два канала дискретного вывода, каждый из которых представляет собой транзисторный ключ с открытым коллектором. Логическое состояние каждого канала может быть изменено по команде от компьютера, управляющего сетью модулей ADAM-4000.



Поэтому данные каналы совместно с промежуточными реле дают возможность включения и выключения силового оборудования, такого, как насосы, нагревательные элементы и т. п.

В одноканальных модулях аналогового ввода этой серии можно осуществить программную установку двух значений входного аналогового сигнала, при достижении которых включается управление каналами дискретного вывода. При завершении каждого аналого-цифрового преобразования производится сравнение цифрового отсчета с верхней и нижней установками. Микропроцессор модуля изменяет логическое состояние канала дискретного вывода в зависимости от результата сравнения. Таким образом, имеется возможность реализации локального двухпозиционного управления независимо от ведущего компьютера, обслуживающего сеть.

В составе этих модулей имеется счетчик событий, который обеспечивает возможность подсчета до 65 535 изменений логического состояния канала дискретного ввода. Сброс и считывание содержимого счетчика событий могут выполняться ведущим компьютером сети. Счетчик, в частности, используют в системах управления конвейерных производств для подсчета и регистрации повторяющихся операций.

Устройство ADAM-4016 является модулем ввода сигнала от тензодатчиков с гальванической развязкой (3000 В), предназначен для проведения измерений точечной нагрузки и усиления. Модуль может функционировать в режимах измерения тока или напряжения. В состав модуля входят два канала дискретного вывода для реализации функции оперативного локального управления, а также два канала дискретного вывода общего назначения, предназначенные для индивидуального применения, что позволяет использовать модуль ADAM-4016 в качестве средства двухпозиционного управления коммутационным оборудованием без вмешательства ведущего компьютера сети.

Модуль аналогового вывода ADAM-4021 имеет один канал аналогового вывода, который может работать в одном из нескольких диапазонов выходного тока или напряжения. Кроме того, имеется возможность программной установки начального значения и скорости изменения выходного сигнала. Для предотвращения последствий наличия гальванической связи с контролируемым оборудованием, а также уменьшения вероятности повреждения системы импульсными помехами и бросками напряжения в цепях питания модуль оснащен цепями гальванической развязки.

Модуль ADAM-4021 имеет в своем составе аналого-цифровой преобразователь, независимый от цифро-аналогового преобразо-

вателя, который предназначен для контроля значений сигнала на канале аналогового вывода. Так как указанный АЦП не предназначен для выполнения измерений с высокой точностью, на него возлагается задача проверки правильности функционирования канала вывода. Кроме того, данные, получаемые от АЦП, могут использоваться для выявления факта и определения причины возникшей неисправности.

### **10.1.2. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ АНАЛОГОВОГО ВВОДА-ВЫВОДА СЕРИИ ADAM-4000**

Модули ADAM-4017/ADAM-4018 являются 8-канальными устройствами аналогового ввода, оснащенными 16-разрядным АЦП и имеющими устанавливаемый программным способом для всех каналов диапазон и тип входных аналоговых сигналов. Модули указанных типов представляют собой наиболее экономичное решение для создания территориально распределенных автоматизированных систем сбора данных. Каждый модуль имеет гальваническую развязку между подсистемой аналогового ввода и встроенным микропроцессором (3000 В постоянного тока), что значительно снижает вероятность повреждения устройств и ведущей вычислительной системы помехами и наводками высокой интенсивности, характерными для промышленных условий эксплуатации.

Модуль ADAM-4050 имеет в своем составе семь каналов дискретного ввода и восемь каналов дискретного вывода. Каналы вывода представляют собой транзисторные ключи, выполненные по схеме с открытым коллектором, управление которыми осуществляется по команде от центрального компьютера. Эти каналы совместно с промежуточными реле дают возможность включения и выключения силового оборудования, такого, как насосы, нагревательные элементы и т. п. Каналы дискретного ввода могут использоваться центральным компьютером для контроля положения коммутационных аппаратов, находящихся в месте размещения модуля ADAM-4050.

Модуль ADAM-4052 имеет шесть независимых гальванически изолированных каналов дискретного ввода и два гальванически изолированных канала дискретного вывода с общей «землей».

В состав модуля ADAM-4053 входят 16 каналов дискретного ввода, предназначенных для контроля положений коммутационной аппаратуры. Максимальное расстояние между каналом дискретного ввода и контролируемым «сухим» контактом может достигать 500 м.

Устройства ADAM-4080/4080В являются гальванически изолированными модулями ввода гармонического или импульсного сигнала, они оснащены двумя 32-разрядными счетными каналами и программируемым таймером для измерения частоты. В этих модулях реализована функция дискретного локального управления. Имеется возможность загрузки ведущим компьютером сети в энергонезависимую память модуля значений уставок, представляемых в виде 32-разрядных чисел.

Для подавления шумов во входном сигнале модули ADAM-4080В оснащены цифровым фильтром с программируемой полосой пропускания. Имеется возможность программной установки отдельных постоянных времени для обеспечения стабильности считываемых значений входных сигналов.

Модуль ADAM-4080 может функционировать в режиме счета до предварительно заданного программным способом значения. Предельное значение счета загружается в энергонезависимую память модуля ведущим компьютером сети.

Модуль ADAM-4080 имеет в своем составе 5-позиционную индикаторную панель, на которой могут отображаться значения сигналов, переданных от ведущего компьютера по сети RS-485. При этом имеется возможность функционирования индикаторной панели модуля в режиме отображения показаний на каналах «0» или «1». Этот модуль позволяет осуществить отображение информации, выраженной в единицах частоты, счетных единицах или оборотах в минуту.

Модуль ADAM-4060 может осуществлять управление ведущим компьютером сети на базе стандарта RS-485 и обеспечить хранение собственных параметров конфигурации в энергонезависимой памяти. В состав модуля входят четыре релейных канала, два из которых представляют собой реле с нормально разомкнутым контактом и два канала с переключающим контактом. Данный модуль представляет собой идеальное решение задач распределенного малоканального дискретного управления и коммутации нагрузок небольшой мощности.

## **10.2. МНОГОТОЧЕЧНЫЕ СЕТИ НА БАЗЕ МОДУЛЕЙ СЕРИИ ADAM-4000 И СТАНДАРТА RS-485**

Устройства серии ADAM объединяются в сеть на базе стандарта EIA RS-485, который является одним из наиболее распространенных промышленных стандартов двунаправленной последовательной передачи данных по симметричной двухпроводной линии связи.

Стандарт EIA RS-485 ориентирован на применение в промышленных условиях для высокоскоростной передачи информации на большие расстояния. Во всех модулях серии ADAM реализована гальваническая развязка интерфейса последовательной передачи данных для предотвращения влияния гальванической связи между территориально распределенными устройствами на качество функционирования системы, а также для снижения вероятности повреждения модулей импульсными помехами и выбросами напряжения в цепях питания и линиях связи.

При обмене данными в системах на базе устройства ADAM используется единственная витая пара. Для обеспечения качественной и надежной связи в устройствах серии ADAM реализованы специальные цепи подавления и защиты от помех. Это значительно упрощает монтажные и пусконаладочные работы, а также позволяет снизить общую стоимость системы за счет сокращения затрат на кабельную продукцию, разъемные соединения, повторители и дополнительные фильтры.

Для защиты устройств от атмосферных разрядов, наводок и электромагнитных помех высокой интенсивности в подсистему последовательной связи модулей серии ADAM введены высокоскоростные цепи подавления выбросов напряжения и защиты от перегрузки.

### **Расширение сети**

Для увеличения протяженности линии связи, на основе которой организуется сеть модулей ADAM, и для включения в состав сети более 32 устройств необходимо применение повторителя ADAM-4510, предназначенного для усиления сигналов интерфейса RS-485. Каждый повторитель обеспечивает возможность организации очередного сегмента сети длиной до 1200 м, содержащего до 32 модулей серии ADAM. Таким образом, общее количество устройств, образующих сеть и управляемых через один последовательный порт главной вычислительной системы, может достигать 256.

### **Преобразователь электрических параметров интерфейса RS-232C в RS-485 — повторитель ADAM-4510**

Последовательные порты интерфейса RS-232C входят в состав большинства вычислительных систем промышленного назначения. Однако для интерфейса RS-232C характерны существенные ограничения на скорость передачи данных, протяженность линии связи и возможность создания многоточечных систем передачи информации.

Стандарт EIA RS-485 позволяет преодолеть эти ограничения за счет использования симметричной линии связи и дифференциальной схемы включения приемопередатчиков.

Преобразователь электрических параметров интерфейса RS-232C в RS-485 (ADAM-4520) позволяет использовать преимущества стандарта RS-485 в системах последовательной передачи информации. При этом программное обеспечение полудуплексного обмена данными на основе интерфейса RS-232C применяется без внесения каких-либо изменений. Модуль ADAM-4520 позволяет создавать промышленные сети последовательной передачи данных с линией связи большой протяженности (рис 10.2).

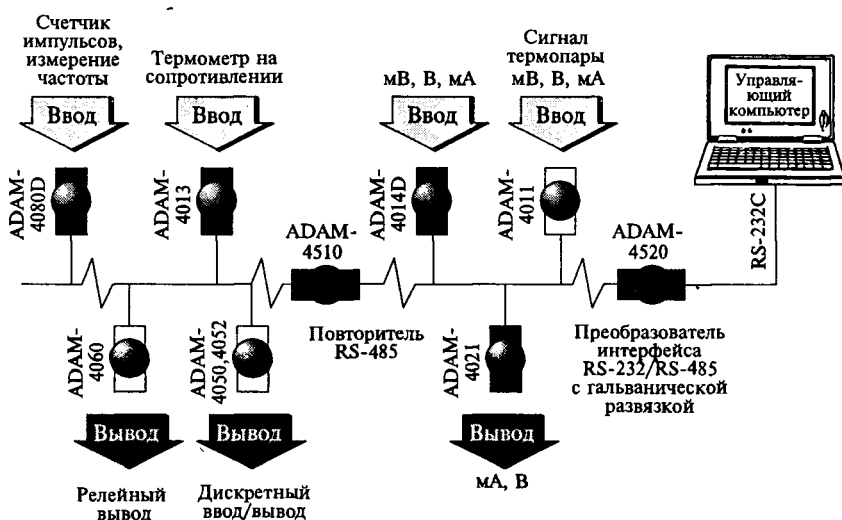


Рис. 10.2. Схема многоточечных сетей на базе стандарта RS-485

### Универсальный протокол обмена

Протокол обмена данными с устройствами серии ADAM-4000 представляет собой набор команд в виде символьных строк в формате ASCII. Опрос устройств прикладными программами состоит из простых операций записи и чтения символьных строк из последовательного порта, что легко реализуется на любом языке программирования, подобном Си, Паскаль и Бейсик. Поддержка символьного протокола в формате ASCII означает, что имеется возможность создания сети устройств серии ADAM на базе вычислительных систем практически любых типов и производителей.

## **Средства связи и преобразования сигналов для модулей серии ADAM-4000**

ADAM-4500 — контроллер связи IBM PC совместимый, предназначен для реализации распределенных систем сбора информации и управления. Контроллер содержит встроенную операционную систему ROM-DOS, совместимую с MS-DOS, за исключением поддержки стандартного сервиса системы DOS, предоставляет пользователю возможность создания программного обеспечения на языках высокого уровня с использованием персональных IBM PC совместимых ЭВМ.

ADAM-4510 — повторитель сигналов интерфейса RS-422/RS-485, осуществляет усиление электрических сигналов, передаваемых по каналу интерфейса RS-422. Применение повторителя позволяет увеличить протяженность линии связи на 1200 м или подключить дополнительно 32 узла.

ADAM-4520 — преобразователь сигналов интерфейса RS-232 в сигналы RS-422/RS-485 с гальванической развязкой. Позволяет использовать преимущества интерфейсов RS-422 и RS-485 в вычислительных системах, оснащенных портами последовательной связи RS-232, и использовать ранее созданное программное обеспечение обмена данными по последовательному каналу связи.

ADAM-4521 — адресуемый преобразователь сигналов интерфейса RS-422/485 в сигналы RS-232, предназначен для включения в многоточечную сеть на базе RS-485 устройств с интерфейсом RS-232. Имеет в своем составе микропроцессор, который выполняет обработку данных перед обменом по каналу RS-232. Преобразователь проводит идентификацию адреса в запросе, поступающем по сети RS-485, осуществляет автоматическое определение направления потока данных и переключение приемопередатчика.

ADAM-4530 — адресуемый модуль интерфейса с радиомодемом/модемом для выделенных линий, предназначен для организации взаимодействия между устройством (устройствами), имеющим порт последовательной передачи данных на базе стандарта RS-485 и работающим в режиме двунаправленного обмена данными, и радиомодемом и модемом для выделенных линий. Радиомодемы или модемы для выделенных линий применяются в системах сбора данных и управления в случаях, если контролируемый объект расположен на большом расстоянии от центрального компьютера системы, либо находится в труднодоступном месте. Модуль ADAM-4530 имеет в своем составе микропроцессор и может использоваться для реализации интерфейса между сетью устройств на базе RS-485 и радиомодемом/модемом для выделенных линий. В нем реализована возможность программной установки вре-

менных задержек между моментом активации сигнала (КТС) включения передатчика радиомодема и началом передачи данных модулем в адрес радиомодема. Стандарт RS-485 поддерживает обмен данными в полудуплексном режиме, т. е. за счет использования двухпроводной линии связи. Специальные цепи, входящие в состав устройства ADAM-4530, осуществляют автоматическое определение направления потока данных и переключение приемопередатчика.

ADAM-4541 — преобразователь интерфейсов RS-232/422/485 в волоконно-оптический интерфейс, служит для преобразования сигналов интерфейсов RS/232/422/485, функционирующих в режиме полнодуплексного или полудуплексного обмена, в эквивалентные по информационному наполнению сигналы волоконно-оптического интерфейса. Для волоконно-оптического интерфейса передачи данных характерны: высокая пропускная способность, полная помехоустойчивость и помехозащищенность, гальваническая развязка оконечного оборудования, скрытность передаваемой информации. Этот модуль специально разработан для организации информационного обмена между вычислительными системами, оснащенными портами последовательной связи RS-232/422/485 на расстояниях до 2,5 км.

ADAM-4550 — соединитель с широкополосным радиомодемом (с интерфейсом RS-232/RS-485). Скорость обмена по каналу RS-232C/RS-485: 1200, 2400, 4800, 9600, 19 200, 38 400, 57 600, 115 200 бит/с. Соединитель интерфейса RS-422/RS-485: клеммная колодка с возможностью извлечения. Скорость обмена по радиоканалу: 1Мбит/с. Несущая частота 2,45 ГГц. Излучаемая мощность 100 мВт. Вид модуляции: непосредственная фазовая модуляция последовательностью бесконечной длины. Адрес приемопередатчика устанавливается программно из диапазона в 16 Кбайт различных значений адреса. Тип поставляемой антенны: спиральная с коэффициентом усиления 2 дБ. Программное обеспечение диагностики качества радиоканала входит в комплект поставки. Автоматическое управление направлением потока данных происходит по каналу RS-485.

### **10.3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ СЕРИИ ADAM-4000**

Для создания прикладных программ, взаимодействующих с модулями серии ADAM-4000, можно воспользоваться любым языком программирования высокого уровня, поддерживающим выполнение операций над строками, представленными в формате ASCII, таким, как Си, Паскаль, СИ++, Бейсик и специальные.

Например, команда опроса модуля аналогового ввода и получаемый ответ будут иметь следующий вид:

Команда: # 05; Ответ: > +4,834 В.

В данной команде содержится запрос на получение аналогового сигнала, подаваемого на вход модуля аналогового ввода, имеющего сетевой адрес 05H. Ответ содержит значение +4,834 В.

### **Стандартный набор команд**

Для управления и настройки модуля ADAM-4011 используется стандартный набор команд (AA — сетевой адрес модуля, выраженный шестнадцатиричным числом):

% AANNTTCCFF: Установка сетевого адреса, скорости обмена, формата данных и наличия проверки контрольной суммы для модулей аналогового ввода.

#AA: Запрос значения на канале аналогового ввода.

\$AAO: Калибровка диапазона измерения.

\$AA1: Калибровка смещения нуля.

\$AA2: Запрос текущей конфигурации модуля.

@AADI: Запрос состояния каналов дискретного вывода.

@AADO: Установка состояния каналов дискретного вывода.

@AANI: Установка значения верхней уставки для оперативного локального управления.

@AALO: Установка значения нижней уставки для оперативного локального управления.

@AAFAT: Разрешить оперативное локальное управление.

@AARE: Запрос содержимого счетчика событий.

### **Проверка наличия ошибок с использованием контрольной суммы**

Для обеспечения целостности передаваемых данных и обнаружения ошибок модули серии ADAM-4000 оснащены средствами формирования и проверки контрольной суммы в передаваемом и принимаемом сообщениях. Данные средства осуществляют включение двух символов контрольной суммы в каждое сообщение, передаваемое по каналу связи, что позволяет проверить соответствие принятого сообщения переданному.

### **Пример программирования**

В приведенной ниже программе, написанной на языке BASIC, демонстрируется способ установления связи с модулем ADAM-4011, который подключен к последовательному порту



COM1 компьютера через преобразователь интерфейса RS-232C в RS-485 посредством ADAM-4520. В программе выполняется настройка модуля на измерение температуры с помощью термопары типа T, после чего результат измерения отображается на экране монитора.

```
10 OPEN «COM1»: 9600, N, 8,1, RS, CS, CD, DS, AS # 1
```

```
20 CMD$ = «% 2324100600»
```

```
30 PRINT # 1, CMD$ ' — ADAM-4011 настраивается на ввод сигнала от термопары типа T, адрес модуля 24H, вывод значений в инженерных единицах, скорость обмена 9600 бит/с
```

```
40 CMD$ = « #24»
```

```
50 PRINT # 1, CMD$' — считывание значения на канале аналогового ввода
```

```
60 RESULT $ = INPUT$ (5, # 1)
```

```
70 PRINT «Температура = »; RESULT $
```

```
80 CLOSE: END
```

### **Полная программная поддержка**

Программная поддержка модулей ADAM-4000 реализована для большинства наиболее популярных пакетов разработки программного обеспечения сбора данных, управления и диспетчерского контроля, подобных Genesis, Trace Mode и др. При использовании указанных инструментальных средств разработка программного обеспечения сбора данных и управления может быть проведена практически без участия квалифицированных программистов.

### **Программное обеспечение настройки и диагностики**

Сервисная программа, входящая в комплект поставки модулей, существенно облегчает процесс проверки их работоспособности, настройки и калибровки каналов аналогового ввода-вывода. Кроме этого имеется возможность простого считывания значений на каналах аналогового ввода. В результате процесс обучения правилам создания собственного программного обеспечения может быть существенно облегчен.

### **Библиотеки динамической компоновки**

Интерфейс прикладного программирования с устройствами серии ADAM в среде операционной системы Windows 3.1/95 выполнен в виде 16- и 32-разрядной библиотек динамической компоновки (DLL). В указанных драйверах обмен данными с устройствами организован через коммуникационные порты Com1 — Com4.

Библиотеки динамической компоновки содержат набор функций, который может использоваться при создании приложений на языках программирования Си, Си++ и Visual Basic (рис. 10.3). Данные функции позволяют осуществлять ввод-вывод

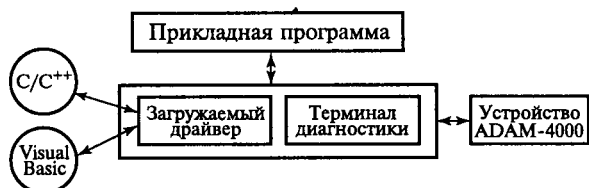


Рис. 10.3. Схема библиотеки динамической компоновки

аналоговых и дискретных сигналов, а также использовать счетные выходы устройств и проводить прямое измерение температуры. Программный пакет, содержащий библиотеку динамической компоновки, также включает в себя вспомогательные сервисные программы отображения информации, получаемой от устройств, эмуляции терминала и удаленной настройки параметров устройств для обеспечения повышенных удобств конфигурирования системы и поиска неисправностей.

#### 10.4. СЕРВЕР

Он выполняет функции сжатия данных, их хранения в системе файлов и быстрого поиска. Могут храниться данные типа float16, float132, int16, int32, digital, string и blod. Данные, пришедшие от интерфейса, попадают во временной буфер хранения данных PB (Snap Shot), из которого они пересылаются в основной архив.

Числовые данные перед записью в архив сжимаются. Применяемый алгоритм сжатия называется «*swinging door*» (принцип вращающейся двери). Идея состоит в построении кусочно-линейной аппроксимации функции временного тренда. Новое значение параметра записывается с меткой времени в архив только в случае, если оно определяет точку излома отрезка прямой, приближающей тренд параметра с заданной точностью. Однако если этот отрезок может быть продолжен новой точкой без потери точности, то предыдущая точка отбрасывается и заменяется во временном архиве следующей.

Параметр сжатия на сервере называется «*compression test*» (порог сжатия). Обычно он вдвое больше, чем порог события для интерфейса.

Из Snapshot значение, которое должно быть записано в историю, попадает в буфер, а затем передается в архив. Буфер служит для временного хранения данных в случае, если архив не успевает их принимать. Если буфер переполнен, сигнал сохраняется в файле на диске.

Архив начинается кэшем в оперативной памяти. Величина кэша соответствует объему буфера драйвера диска. При заполнении кэша информация сбрасывается на жесткий диск в соответствующий архивный файл. Запись осуществляется не реже, чем 1 раз в 15 мин.

Файловая система приспособлена для хранения и быстрой выборки информации во времени. В заголовке каждого файла содержится указание на временной диапазон хранения данных. Внутри файла данные сгруппированы в связанные списки записей. Каждая запись содержит значения для определенной точки процесса за конкретный период. После заполнения одной записи внутри файла динамически выделяется новая запись, на которую делается ссылка из предыдущей записи. Файлы архива можно объединять или разбивать так, чтобы их было удобно выгружать на внешние запоминающие устройства для долговременного хранения. Практически на большом жестком диске в 4 Гб можно хранить данные от 10 тыс. точек в течение 3—4 лет и просматривать их on-line.

Кроме измеряемых параметров в реальной системе обычно имеет место большое количество расчетных величин, определяемых по формулам из измеренных. Для их расчета служит специальная подсистема Performance Equations, производящая вычисления по событиям или по времени, которая затем направляет их в архив. Она включает несколько десятков стандартных функций. Применять ее просто, так как это сводится к написанию требуемой формулы и не требует программирования.

Достаточно просто воспользоваться и другой стандартной подсистемой, которая называется *Totaliser* и служит для расчета статических показателей по одной величине. Эта подсистема позволяет определять средние значения, дисперсию, среднеквадратичные отклонения и другие величины, для определения которых следует получать выборки во времени по процессу.

## СЕРВЕР DDE

В сервере DDE, специально разработанном для устройств серии ADAM, использованы все преимущества встроенного в Windows механизма динамического обмена данными (рис. 10.3).

Сервер DDE (рис. 10.4) выполняет опрос устройств серии ADAM и передает данные приложениям Windows, обладающим

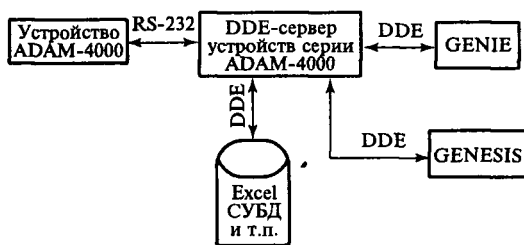


Рис. 10.4. Блок-схема сервера DDE

способностью выполнять функции клиента DDE, по предварительно организованному и поддерживаемому программному каналу динамического обмена. Приложения Windows также могут передавать в адрес устройств серии ADAM команды управления и конфигурирования с использованием поддерживающих функции динамического обмена данными (DDE).

В качестве примера можно назвать такие приложения, как Access, Excel корпорации Microsoft и Genesis фирмы Iconics.

### 10.5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ СЕРИИ ADAM-4000

**ADAM-4011. Модуль аналогового ввода. Подсистема аналогового ввода**

Количество и тип каналов аналогового ввода — 1 дифференциальный. Тип входного сигнала: напряжение термопары (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 15$  мВ,  $\pm 100$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 2,5$  В,  $\pm 20$  мА. Типы термопар и диапазоны измерения температуры: J  $0 + 760^\circ\text{C}$ ; K  $0 + 10000^\circ\text{C}$ ; T  $-100 + 400^\circ\text{C}$ ; E  $0 + 1400^\circ\text{C}$ ; R  $500 + 1750^\circ\text{C}$ ; S  $500 + 1750^\circ\text{C}$ ; B  $500 + 1800^\circ\text{C}$ . Напряжение изоляции 500 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования — 100 мс. Полоса пропускания 4 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,05\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 0,3$  мкВ/ $^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$ . Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 150 дБ. Коэффициент ослабления помехи нормального вида на частоте 50 Гц — не менее 100 дБ.

**Подсистема дискретного ввода**

Количество каналов — 1 (см. ADAM-4012). Счетчик событий (см. ADAM-4012).

**Подсистема дискретного вывода**

Количество каналов — 2 (см. ADAM-4012). Встроенный сторожевой таймер.

### Требования по питанию

Напряжение питания от 10 до 30 В постоянного нестабилизированного тока. Потребляемая мощность 1,2 Вт.

**ADAM — 4011D.** Модуль аналогового ввода с цифровым светодиодным индикатором. *Подсистема аналогового ввода.*

Количество и тип каналов аналогового ввода — 1 (дифференциальный). Тип входного сигнала: напряжение термопары (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 15$  мВ;  $\pm 50$  мВ;  $\pm 100$  мВ;  $\pm 500$  мВ;  $\pm 1$  В;  $\pm 2,5$  В;  $\pm 20$  мА. Типы термопар и диапазоны измерения температуры: (см. ADAM-4011). Напряжение изоляции 3000 В постоянного тока. Имеются защита от перенапряжения по входу, схема обнаружения обрыва в цепи подключения термопары. Время аналого-цифрового преобразования 100 мс. Полоса пропускания 4 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,05\%$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/°C. Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 150 дБ. Светодиодный цифровой индикатор 4 ÷ 5 цифр.

*Подсистема дискретного ввода*

Количество каналов — 1 (см. ADAM-4012). Счетчик событий (см. ADAM-4012).

*Подсистема дискретного вывода*

Количество каналов — 2 (см. ADAM-4012). Встроенный сторожевой таймер. Напряжение питания: от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность 1,4 Вт.

**ADAM-4012.** Модуль аналогового ввода

*Подсистема аналогового ввода.* Количество и тип каналов аналогового ввода — 1 дифференциальный. Тип входного сигнала: напряжение (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 150$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В,  $\pm 20$  мА. Напряжение изоляции 3000 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования — 100 мс. Полоса пропускания 4 Гц. Основная погрешность измерения не хуже  $\pm 0,05\%$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/°C. Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 150 дБ. Коэффициент ослабления помехи нормального вида на частоте 50 Гц — 100 дБ.

*Подсистема дискретного ввода*

Количество каналов — 1. Уровень логического «0» — не более 1,0 В. Уровень логической «1» от 3,5 до 30,0 В. Счетчик событий: максимальная частота следования импульсов — 50 Гц; минимальная длительность импульса — 1 мс.

*Подсистема дискретного вывода*

Количество каналов — 2, открытый ключ с открытым коллектором. Максимальное коммутирующее напряжение — 30 В. Мак-

симальный ток нагрузки — 30 мА. Допускаемая рассеиваемая мощность — 300 мВт. Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию*

Напряжение питания — от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 1,2 Вт.

**ADAM-4013. Модуль ввода сигнала термосопротивления. Подсистема аналогового ввода.** Типы поддерживаемых термосопротивлений: Pt, Ni. Диапазоны входного сигнала:  $\pm 15$  мВ,  $\pm 50$  мВ,  $\pm 100$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 2,5$  В,  $\pm 20$  мА. Типы термометров и диапазоны измерения температуры: Pt  $-100 \div 100^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $0 \div 100^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $0 \div 200^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $0 \div 600^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $-100 \div 100^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,003916$ ; Pt  $0 \div 100^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,003916$ ; Pt  $0 \div 200^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,003916$ ; Pt  $0 \div 600^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,003916$ ; Ni  $80 \div 100^\circ\text{C}$ ; Ni  $0 \div 100^\circ\text{C}$ . Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования 100 мс. Полоса пропускания 4 Гц. Варианты подключения 2-, 3-, 4-проводное. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,05\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 0,3$  мкВ/ $^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$ . Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 150 дБ. Коэффициент ослабления помехи нормального вида на частоте 50 Гц — не менее 100 дБ. Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В. Потребляемая мощность 0,7 Вт.

**ADAM-4014D. Модуль аналогового ввода со встроенным контуром питания датчика и цифровым светодиодным индикатором.**

*Подсистема аналогового ввода.* Количество и тип каналов аналогового ввода — 1 дифференциальный. Тип входного сигнала: напряжение (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 150$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В,  $\pm 20$  мА. Напряжение изоляции 500 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования — 100 мс. Полоса пропускания — 4 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,05\%$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$ . Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 150 дБ. Коэффициент ослабления помехи нормального вида на частоте 50 Гц — не менее 100 дБ. Параметры встроенного контура питания датчика: постоянное напряжение 15 В, максимальный ток нагрузки — 30 мА. Светодиодный цифровой индикатор — 4  $\div$  5 цифр.

*Подсистема дискретного ввода.* Количество каналов — 1. Уровень логического «0» — не более 1,0 В. Уровень логической «1» от 3,5 до 30,0 В. Выходной ток 0,5 мА. Нагрузочный резистор

сопротивлением 10 кОм между входом и цепью питания +5 В. Счетчик событий: максимальная частота следования — 50 Гц; минимальная длительность импульса — 0,5 мс.

*Подсистема дискретного вывода.* Количество каналов — 2, транзисторный ключ с открытым коллектором. Максимальное коммутирующее напряжение — 30 В. Максимальный ток нагрузки 30 мА. Допускаемая рассеиваемая мощность — 300 мВт. Встроенный сторожевой таймер. Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 1,8 Вт.

#### **ADAM-4016. Модуль ввода сигнала тензодатчиков.**

*Вход сигнала тензодатчика.* Количество каналов — 1 дифференциальный. Тип входного сигнала: напряжение (мВ), ток (мА). Диапазоны входного сигнала: +15 мВ,  $\pm 50$  мВ,  $\pm 100$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 20$  мА. Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования — 100 мс. Полоса пропускания — 4 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,05\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 6$  мкВ/°С. Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/°С. Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 150 дБ. Коэффициент ослабления помехи нормального вида на частоте 50 Гц — 100 дБ.

*Выход напряжения возбуждения тензодатчика.* Количество каналов — 1. Диапазон выходного напряжения 0 ÷ 10 В. Нагрузочная способность — 30 мА. Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Основная погрешность — не хуже  $\pm 0,05\%$  полной шкалы. Коэффициент температурной нестабильности  $\pm 50$  PPM/°С.

Подсистема дискретного вывода. Количество каналов — 4 (см. ADAM-4012). Встроенный сторожевой таймер.

Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 2,2 Вт.

#### **ADAM-4017. Модуль аналогового ввода 8-канальный.**

*Подсистема аналогового ввода.* Количество и тип каналов аналогового ввода — 6 дифференциальных, 2 однополярных. Тип входного сигнала: напряжение (мВ), напряжение (В) или ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 150$  мВ,  $\pm 500$  мВ, +1В,  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В,  $\pm 20$  мА. Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Защита от перенапряжения по входу до  $\pm 35$  В. Время аналого-цифрового преобразования (для 8 каналов) — 100 мс. Полоса пропускания 13,1 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,1\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 6$  мкВ/°С. Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/°С. Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 92 дБ. Встроенный сторожевой таймер.

*Требование по питанию:* напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 1,2 Вт.

**ADAM — 4018. Модуль ввода сигналов термопар 8-канальный.**

*Подсистема аналогового ввода.* Количество и тип каналов аналогового ввода — 6 дифференциальных, 2 однополярных. Тип входного сигнала: напряжение термопары (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 15$  мВ,  $\pm 50$  мВ,  $\pm 100$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 2,5$  В,  $\pm 20$  мА. Типы термопар и диапазоны измерения температуры: J  $0 \div 760^\circ\text{C}$ ; K  $0 \div 1000^\circ\text{C}$ ; T  $-100 \div 400^\circ\text{C}$ ; E  $0 \div 1400^\circ\text{C}$ ; R  $50 \div 1750^\circ\text{C}$ ; S  $500 \div 1750^\circ\text{C}$ ; B  $500 \div 1800^\circ\text{C}$ . Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Защита от перенапряжения по выходу до  $\pm 35$  В. Время аналого-цифрового преобразования (для 8 каналов) 100 мс. Полоса пропускания 13,1 Гц. Основная погрешность измерений — не хуже  $\pm 0,01\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 0,3$  мкВ/ $^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$ . Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 92 дБ. Встроенный сторожевой таймер. Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 0,8 Вт.

**ADAM-4018M. Регистратор аналоговых сигналов 8-канальный.**

*Подсистема аналогового ввода.* Количество и тип каналов аналогового ввода — 6 дифференциальных, 2 однополярных. Тип входного сигнала: напряжение термопары (мВ), напряжение (В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 15$  мВ,  $\pm 50$  мВ,  $\pm 100$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 2,5$  В,  $\pm 20$  мА. Типы термопар и диапазоны измерения температуры: (см. ADAM-4018). Напряжение изоляции — 500 В постоянного тока. Время аналого-цифрового преобразования (для 8 каналов) — 100 мс. Полоса пропускания 13,1 Гц. Основная погрешность измерений — не хуже  $\pm 0,1\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 0,3$  мкВ/ $^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$ . Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 92 дБ.

*Подсистема хранения информации.* Информационная емкость (флэш — ПЗУ объемом 32 Кбайт): 10 000 отсчетов (общее количество). Алгоритм регистрации — непрерывная запись до заполнения. Интервал между записью соседних отсчетов от 2 секунд до 18 часов.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность 1,8 Вт.

**ADAM-4021. Модуль аналогового вывода.** Количество каналов — 1. Диапазон выходного сигнала:  $0 \div 20$  мА;  $4 \div 20$  мА;  $0 \div 10$  В. Напряжение изоляции 3000 В постоянного тока. Основная погрешность: в режиме формирования тока — не хуже  $\pm 0,1\%$  полной шкалы; в



режиме формирования напряжения — не хуже  $+0,2\%$  полной шкалы. Погрешность АЦП контроля выходного сигнала — не хуже  $\pm 1,0\%$  полной шкалы. Температурный коэффициент смещения нуля в режиме формирования тока  $\pm 0,2$  мкВ/°С. Скорость нарастания выходного сигнала (устанавливается программно): от 0,125 до 128,000 мА/с; от 0,0625 до 64,0000 В/с. Сопротивление нагрузки  $0 \div 500$  Ом. Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 1,4 Вт.

#### **ADAM-4050. Модуль дискретного ввода-вывода.**

*Подсистема дискретного ввода.* Количество каналов ввода — 7. Уровень логического «0» — не более 1 В. Уровень логической «1» от 3,5 до 30,0 В. Выходной ток — не более 0,5 мА. Нагрузочный резистор сопротивлением 10 кОм.

*Подсистема дискретного вывода.* Количество и тип каналов вывода — 8, «открытый коллектор». Коммутируемое напряжение до 30 В. Ток нагрузки до 30 мА при мощности 300 мВт. Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 0,4 Вт.

#### **ADAM-4052. Модуль гальванически изолированного дискретного ввода.**

Количество каналов и тип каналов ввода — 8, при этом 6 независимых изолированных каналов и 2 изолированных канала с общей «землей». Уровень логического «0» — не более 1 В. Уровень логической «1» — от 3,5 до 30,0 В. Напряжение изоляции 5000 В (среднеквадратичное значение). Сопротивление во входной цепи 3 кОм/ 0,5 Вт. Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания: от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность — 0,4 Вт.

#### **ADAM-4053. Модуль дискретного ввода 16-канальный.**

Количество каналов ввода — 16.

*Уровни входных сигналов.* При контроле положения коммутационных аппаратов с нулевым током утечки в разомкнутом состоянии (типа «сухой контакт») уровень логического «0» — вход, замкнутый с «землей» (GND); уровень логической «1» — вход, разомкнутый относительно земли (GND). При контроле положения коммутационных аппаратов с нулевым током утечки в разомкнутом состоянии уровень логического «0» — не более 2 В; уровень логической «1» — от 4 до 30 В. Расстояние между модулем и контролируемым «сухим» контактом — не более 500 м. Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность 1,0 Вт.

### **ADAM-4060. Модуль релейной коммутации.**

Количество и тип релейных контактов — 2 нормально-открытых (SPST), 2 переключающих (SPDT). Электрическая прочность контактов: по переменному току 125 В при токе 0,6 А; 250 В при токе 0,3 А; по постоянному току 30 В при токе 2 А; 110 В при токе 0,6 А. Разрывное напряжение 500 В переменного тока. Номинальное время включения (для SPST) 1 мс. Номинальное время переключения (для SPDT) 10 мс. Сопротивление изоляции — не менее 1000 МОм (при 500 В постоянного тока). Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность 0,8 Вт.

### **ADAM-4080. Модуль ввода частотных/импульсных сигналов.**

Режим ввода импульсных сигналов. Количество каналов — 2 независимых 32-разрядных счетчика. Максимальная частота следования импульсов 50 кГц. Режим ввода — гальванически изолированный или неизолированный. Уровни входного сигнала в режиме изолированного входа: уровень логического «0» — не более 1 В; уровень логической «1» — от 3,5 до 30,0 В. Напряжение изоляции 2500 В (среднеквадратичное значение). Уровни входного сигнала в режиме неизолированного ввода: программная установка пороговых значений, уровень логического «0» — от 0 до 5 В (0,8 по умолчанию); уровень логической «1» — от 0 до 5 В (2,4 В по умолчанию). Длительность импульсов — не менее 10 мкс. Цифровой фильтр с программируемой постоянной времени от 2 мкс до 65 мс. Оперативное дискретное управление — компаратор на каждый канал счета. Типы предварительной установки сдержимого счетчика: абсолютное или относительное значение.

*Режим ввода частотных сигналов.* Диапазон измеряемых частот — от 5 до 50 кГц, программно устанавливаемый интервал измерений — от 0,1 до 1,0 мс.

*Подсистема дискретного вывода.* Количество и тип каналов вывода — 2, «открытый коллектор». Коммутируемое напряжение до 30 В. Ток нагрузки до 30 мА при мощности 300 мВт. Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность 2,0 Вт.

### **ADAM-4080D. Модуль ввода частотных/импульсных сигналов с цифровым светодиодным индикатором.**

*Режим ввода импульсных сигналов.* Количество каналов — 2 независимых 32-разрядных счетчика. Максимальная частота следования импульсов 50 кГц. Режим ввода — гальванически изолированный или неизолированный. Уровни входного сигнала в режиме изолированного ввода: уровень логического «0» — не более 1 В; уровень ло-

гической «1» — от 3,5 до 30,0 В. Напряжение изоляции 2500 В (среднеквадратичное значение). Уровни входного сигнала в режиме неизолированного ввода: программная установка пороговых значений. Уровень логического «0» от 0 до 5 В (0,8 В по умолчанию); уровень логической «1» от 0 до 5 В (2,4 В по умолчанию). Длительность импульсов — не менее 10 мкс. Цифровой фильтр с программируемой постоянной времени от 2 мкс до 65 мс. Оперативное дискретное управление — компаратор верхней и нижней уставок на канале счета 1. Типы предварительной установки содержимого счетчика: абсолютное или относительное значение.

Режим ввода частотных сигналов (см. технические данные модуля ADAM-4080).

*Подсистема дискретного вывода* (см. технические данные модуля ADAM-4080).

*Индикатор.* Цифровой светодиодный индикатор: 5 цифр, отображение показаний по каналу «0» или «1». Встроенный сторожевой таймер.

*Требования по питанию.* Напряжение питания от 10 до 30 В (постоянное нестабилизированное). Потребляемая мощность 2,0 Вт.

## **10.6. СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ (ADAM-5000)**

Серия ADAM-5000 представляет собой программно-технический комплекс (ПТК), предназначенный для сбора информации о территориально распределенном контролируемом объекте, первичной обработки данных путем фильтрации и нормализации аналоговых и дискретных сигналов, выдачи управляющих воздействий на контролируемый объект, а также для обмена данными с центральной вычислительной системой посредством объединения устройств серии в многоточечную сеть на основе двухпроводной симметричной линии связи.

Устройства распределенного сбора данных и управления выполняют следующие основные функции: аналого-цифровое преобразование (АЦП); цифро-аналоговое преобразование (ЦАП); дискретный ввод (ввод логических «1» или «0» сигналов); дискретный вывод (вывод логических «1» или «0» сигналов); счетчик/таймер (измерение частоты, подсчет числа событий, вывод импульсных сигналов, отсчет заданного интервала времени); внешние платы (аналого-цифровое преобразование с использованием внешних плат); блочный режим (одновременное аналого-цифровое преобразование для группы сигналов).

С разработкой семейства коммуникационных протоколов Fieldbus появилась возможность существенных изменений в

структуре управления производством и в получении более точных функциональных характеристик средств управления технологическими процессами. Благодаря многочисленным достоинствам промышленных шин Fieldbus выявляются тенденции к снижению затрат на кабельную сеть, монтаж и пусконаладочные работы, а также к существенному увеличению надежности функционирования систем.

Новые серии компактных устройств распределенного сбора данных и управления ADAM-5000 предназначены для реализации систем с использованием протоколов Fieldbus. Устройства серий ADAM-5000 подсистемы обмена данными базируются на стандарте EIA RS-485 и протоколе CAN (Kontroller Area Network), позволяют организовать многоточечные сети, управляемые центральным компьютером.

Устройства ADAM-5000 обеспечивают возможность решения различных задач сбора данных и управления технологическими процессами. Серия ADAM-5000/485 разработана для реализации больших распределительных систем, в которых не требуется мгновенной реакции на события, связанные с контролируемым объектом, а серия ADAM/CAN ориентирована на применение в системах реального времени с малым временным интервалом отклика на события.

Изделия серии ADAM-5000 обеспечивают возможность реализации систем различной степени сложности, отвечающих требованиям сбора данных и управления технологическими процессами пищевых производств. Встроенные программные средства позволяют настраивать диапазоны входных сигналов и устанавливать условия выдачи управляющих воздействий по достижении измеряемыми параметрами предварительно заданных величин, обеспечивают пользователю максимальную гибкость при создании системы. Для обмена данными с управляющим компьютером могут использоваться различные линии связи: симметричная витая пара, волоконно-оптическая линия связи и радиоканал.

В устройствах серии ADAM-5000 для выявления неисправностей используются аппаратно-программные средства самодиагностики, а для автоматического перезапуска при непредвиденной остановке исполнения встроенного программного обеспечения блок процессора ADAM-5000 оснащен сторожевым таймером. Сетевой идентификатор (ID) каждого устройства может быть легко установлен с помощью специально предусмотренного микропереключателя.

Изделия серии ADAM-5000 можно устанавливать на DIN-рейку или на панель, что обеспечивает простое подключение источников сигналов, последующую модификацию и техни-

ческое обслуживание системы. Для создания многоточечной сети на базе устройств данной серии требуется только прокладка двухпроводной симметричной линии связи.

Устройства серии ADAM-5000 сохраняют работоспособность в диапазоне температур от  $-10$  до  $70^{\circ}\text{C}$ . Электрическое питание устройств осуществляется нестабилизированным постоянным напряжением от 10 до 30 В, при этом изделия оснащены средствами защиты от повреждения при изменении полярности напряжения питания. Трехуровневая гальваническая развязка (по питанию, со стороны модулей ввода-вывода и со стороны интерфейса последовательной передачи данных) обеспечивает устойчивость к помехам и позволяет устранить гальваническую связь с оборудованием на контролируемом объекте.

Изделия серии ADAM-5000 имеют средства интеграции с большинством стандартных средств разработки программного обеспечения сбора данных и управления. Для создания приложений, используемых в среде Windows 3.x и Windows 95, имеется набор драйверов с виде библиотек динамической компоновки (DLL). Специальные серверы динамического обмена данными (DDE) обеспечивают возможность интеграции с такими программными средствами, как In Touch, FIX DIMAC, Genie, Genesis, Paragon, Excel и др. Система разработки программного обеспечения предоставляет пользователю возможность создания систем на базе устройств серии ADAM-5000.

## **10.7. УСТРОЙСТВА СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ СЕРИИ ADAM-5000**

Изделия серии ADAM-5000 являются устройствами, которые предназначены для создания территориально распределенных систем сбора данных и управления. Устройства серии ADAM-5000 состоят из двух компонентов: блока процессора и модулей ввода-вывода. Каждый блок процессора может содержать до 4 модулей ввода-вывода (до 64 каналов дискретного ввода-вывода или до 32 каналов аналогового ввода). Имеется возможность гибкого конфигурирования системы в зависимости от количества и вида контролируемых параметров, а также от расположения контролируемых объектов.

Блок процессора ADAM-5000 содержит модуль центрального процессора, преобразователь постоянного напряжения, порты последовательной связи. Блок процессора выполняет следующие функции: прием и дешифрацию команд от центрального управляющего компьютера по последовательному каналу связи; управление модулями ввода-вывода; ввод, предварительную обработку и

преобразование аналоговых и дискретных сигналов; сравнение величин аналоговых сигналов с предварительно заданными значениями (уставками); вывод аналоговых и дискретных сигналов; автоматическую проверку работоспособности; формирование и передачу данных по последовательному каналу связи. Модернизацию системы можно осуществить простой заменой блока процессора без изменения конфигурации имеющихся модулей ввода-вывода.

Изделия серии ADAM-5000 имеют трехуровневую гальваническую изоляцию, в том числе: по цепям питания и для модулей ввода-вывода с напряжением изоляции 2500 В. Наличие гальванической развязки позволяет снизить влияние на систему электромагнитных помех, устранить гальваническую связь с электрооборудованием контролируемого объекта, а также предотвратить неисправности, которые могут быть вызваны случайными выбросами напряжения питания и переходными процессами при коммутации силового оборудования.

Блок процессора снабжен сторожевым таймером, который предназначен для автоматического сброса в случае непредвиденной остановки исполнения встроенного программного обеспечения. Данная функция реализована для сокращения общих временных и материальных затрат на техническое обслуживание системы.

В устройствах серии ADAM-5000 реализованы нижеследующие средства проверки работоспособности, позволяющие пользователю быстро обнаруживать и идентифицировать неисправности: автоматическое аппаратное тестирование и программное выявление неисправностей.

Системные параметры изделий серии ADAM-5000 могут быть изменены программным способом, что позволяет настраивать диапазон входных аналоговых сигналов и их размерность, параметры обмена по последовательному каналу связи, за исключением сетевого идентификатора. Кроме того, имеется возможность настройки аварийных уставок и параметров шкалы измерительных каналов. Гибкость исполнения устройств устраняет необходимость аппаратного регулирования множества каналов аналогового ввода. Системные параметры изделий ADAM-5000 сохраняются в энергонезависимом ПЗУ с электрическим стиранием/записью, что обеспечивает их целостность при отключении и сбоях питания.

Блок процессора ADAM-5000 содержит 16-разрядный микропроцессор и коммуникационный буфер типа ПРО, благодаря которым имеется возможность обмена данными по последовательному каналу со скоростью до 115200 бит/с. Структурная схема блока процессора ADAM-5000/485 представлена на рис. 10.5.

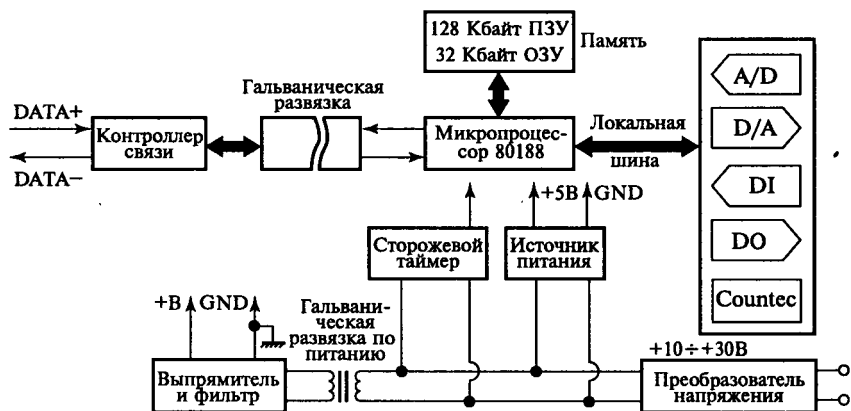


Рис. 10.5. Структурная схема блока процессора ADAM-5000/485

Таким образом, создание изделий серии ADAM-5000 позволило достичь более высокой производительности системы, чем в традиционных реализациях сетей на базе стандарта RS-485.

В изделиях серии ADAM-5000 реализована возможность настройки каналов дискретного вывода в качестве выходов управления по достижении значениями измеряемых параметров предварительно заданных величин. Каждому каналу модулей аналогового ввода могут быть программно поставлены в соответствие верхняя и нижняя уставки. После каждого очередного аналого-цифрового преобразования измеренное значение сравнивается с верхней и нижней уставками. Изменение логического состояния назначенного канала дискретного вывода осуществляется в зависимости от результата сравнения, поэтому в системах на базе ADAM-5000 имеется возможность локального двухпозиционного управления, выполняемого независимо от центрального компьютера.

### 10.7.1. ФОРМИРОВАНИЕ СЕТЕЙ СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ СТАНДАРТА RS-485

Устройства ADAM-5000/485 объединяются в сеть на базе стандарта EIA RS-485, который является одним из наиболее распространенных промышленных стандартов двунаправленной последовательной передачи данных по симметричной двухпроводной линии связи. Стандарт EIA RS-485 ориентирован на применение в промышленных условиях высокоскоростной передачи информации на большие расстояния. Структурная схема сети на базе стандарта RS-485 представлена на рис. 10.6.

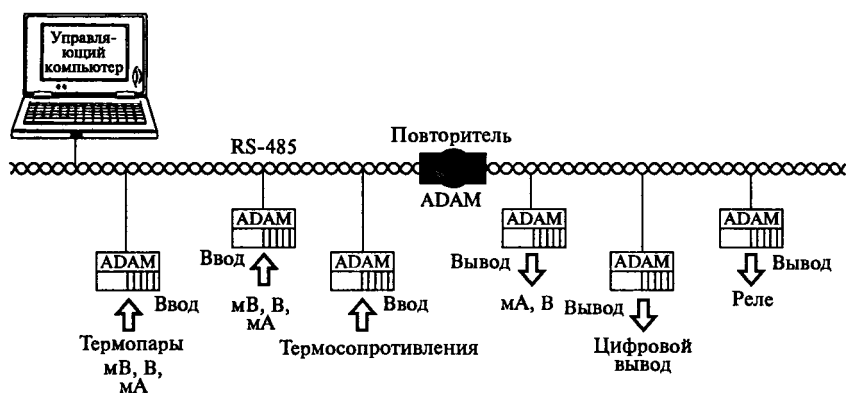


Рис. 10.6 Структурная схема двухпроводной сети на базе стандарта RS-485

Для обмена данными в системах на базе устройств ADAM-5000/485 используется единственная витая пара. Для обеспечения качественной, надежной связи в устройствах серии ADAM-5000/485 реализованы специальные цепи подавления и защиты от помех. Это упрощает монтажные и пусконаладочные работы, а также позволяет снизить общую стоимость системы за счет сокращения затрат на кабельную сеть, разъемные соединения, повторители и дополнительные фильтры.

Для защиты устройств от атмосферных разрядов, наводок и электромагнитных помех высокой интенсивности в подсистему последовательной связи блоков процессора ADAM-5000/485 введены высокоскоростные цепи подавления выбросов напряжения и защиты от перегрузок.

При увеличении протяженности линии связи, на основе которой формируется сеть устройств ADAM-5000/485, а также для включения в состав сети более 32 устройств необходимо применение повторителя ADAM-4510, предназначенного для усиления сигналов интерфейса RS-485. Каждый повторитель обеспечивает возможность организации очередного сегмента сети длиной до 1200 м, содержащего до 32 устройств ADAM-5000/485. Общее количество устройств, образующих сеть и обслуживаемых через один последовательный порт главной вычислительной системы, может составлять 256.

### **Преобразование электрических параметров интерфейса RS-232C в RS-485**

Последовательные порты интерфейса RS-232C входят в состав большинства компьютеров промышленного назначения. Однако для интерфейса RS-232C характерны существенные ограничения



на скорость передачи данных, протяженность линии связи и возможность создания многоточечных систем передачи информации. Стандарт EIA RS-485 позволяет преодолеть указанные ограничения за счет использования симметричной линии связи и дифференциальной схемы включения приемопередатчиков.

Преобразователь ADAM-4520 электрических параметров интерфейса RS-232C в RS-485 обеспечивает возможность использования преимуществ стандарта RS-485 в системах последовательной передачи информации. При этом программное обеспечение полудуплексного обмена данными на основе интерфейса RS-232C может применяться без каких-либо изменений. Устройство ADAM-4520 позволяет создавать промышленные сети последовательной передачи данных с линией связи большой протяженности.

Стандарт EIA RS-485 поддерживает полудуплексный обмен данными. Поэтому для приема и передачи данных требуется симметричная двухпроводная линия связи. Как правило, для управления направлением потока передаваемых данных в системах последовательной передачи информации применяются дополнительные линии синхронизации, подобные RTS (запрос передачи). Для этого в устройствах ADAM-4510 и ADAM-4520 используются специальные цепи, предназначенные для автоматического определения направления потока и переключения приемопередатчика без дополнительных линий синхронизации. Таким образом, управление линией передачи RS-485 для пользователя и прикладной программы не требуется.

При этом имеется возможность организации до 64 каналов сбора данных и управления на базе устройства ADAM-5000, подключаемого непосредственно к последовательному порту ПЭВМ с интерфейсом RS-232C. Это позволяет создавать простые комплексы сбора данных и управления на основе ПК и одного устройства ADAM-5000.

Протокол обмена с устройствами серий ADAM-5000/485, а также ADAM-4000 представляет собой набор символьных данных в формате ASCII. Опрос устройств прикладными программами состоит из простых операций записи и чтения символьных строк из последовательного порта, что легко реализуется на любом языке программирования. Поддержка символьного протокола в формате ASCII означает, что существует возможность создания сети устройств ADAM на базе вычислительных систем практически любых типов.

### **Устройство распределенного сбора данных и управления ADAM-5000/485**

*Общие характеристики.* Тип процессора: 80188, 16-разрядный. Объем ОЗУ 32 Кбайт. Объем флэш-ПЗУ — 128 Кбайт. Количество

обслуживаемых модулей ввода-вывода — до 4. Сторожевой таймер встроен. Мощность, потребляемая блоком процессора, — 1,0 Вт. Дополнительный порт последовательной связи RS-232C.

**Гальваническая развязка.** Напряжение изоляции интерфейса RS-485 2500 В постоянного тока.

**Средства проверки работоспособности:** светодиодная индикация состояния подсистем питания, коммуникационной и процессора, автоматическая самопроверка при включенном питании, удаленная программная проверка.

**Подсистема последовательной связи.** Физическая среда: двухпроводная симметрическая, RS-485. Скорости обмена данными: от 1200, 2400, 4800, 9600, 19 200, 38 400, 57 600, 115 200 бит/с. Максимальная протяженность линии связи 1200 м. Сетевой протокол — полудуплексный, символьный ASCII. Проверка наличия ошибок с использованием контрольной суммы. Формат асинхронной передачи 1 старт-бит, 8 бит данных, 1 стоп-бит, без контроля четности. Максимальное количество устройств ADAM-5000/485 на один последовательный порт управляющего компьютера — до 256. Защита портов последовательной связи — подавление импульсных помех в линии связи.

**Требования по питанию.** Питание устройств осуществляется нестабилизированным постоянным напряжением от 10 до 30 В. Обеспечена защита от непредвиденного изменения полярности напряжения питания.

**Механические характеристики:** материал ABS (пластик), извлекаемые клеммные колодки с винтовой фиксацией, сечение жил проводников от 0,5 до 2,5 мм<sup>2</sup>.

**Условия эксплуатации:** диапазон рабочих температур от —10 до 70°С. Диапазон температур при хранении от —25 до 85°С. Относительная влажность воздуха от 5 до 95% без конденсации влаги.

## **10.8. СРЕДСТВА СВЯЗИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ СЕРИИ ADAM-5000**

Изделие ADAM-4500 является функционально законченным автономным IBM PC совместимым контроллером связи и используется для реализации распределенных систем сбора данных и управления на основе устройств серии ADAM-5000. Контроллер ADAM-4500 содержит встроенную операционную систему ROM-DOS, совместимую с MS-DOS, за исключением поддержки стандартного сервиса системы BIOS. При этом пользователь имеет возможность создания программного обеспечения для ADAM-4500 на языках высокого уровня с использованием персональных IBM PC совместимых ЭВМ. Возможности и технические характеристики ADAM-4500 даны ранее.

## **ADAM-5510 — IBM PC совместимый программный микроконтроллер**

Интеллектуальные компактные устройства серии ADAM-5510 специально разработаны для надежного автономного функционирования в промышленных условиях. Эти изделия выполнены в упроченном пластиковом корпусе и обеспечивают выполнение следующих функций: прием и выдачу аналоговых и дискретных сигналов; первичное преобразование сигналов по программам заданным пользователем; обмен информацией по последовательному каналу на базе интерфейса.

Микроконтроллеры ADAM-5510 имеют встроенную операционную систему ROM-DOS, которая совместима с MS-DOS на уровне базовых функций, за исключением ВЮЗ, что обеспечивает возможность исполнения приложений, написанных на языках высокого уровня типа Си, Си++. Для хранения прикладных программ в микроконтроллерах отведено 170 кбайт флэш-ПЗУ. Объем оперативной памяти, доступной для исполнения прикладной программы, составляет 234 кбайта. Перед записью программы в ПЗУ ADAM-5510 необходимо предварительно выполнить ее преобразование в коды процессора 80188 с помощью специальной программы. В комплект поставки ADAM-5510 входит также утилита записи программы во флэш-ПЗУ.

Настройка микроконтроллера ADAM-5510 может осуществляться удаленно с использованием последовательного канала связи, что позволяет легко адаптировать диапазоны и типы входных сигналов модулей ввода-вывода. Пользователи могут также программировать микроконтроллеры, поэтому они способны выполнять широкий круг задач без применения специализированных модулей ввода-вывода, что существенно упрощает разработку и техническое обслуживание.

Управление многоточечной сетью микроконтроллеров ADAM-5510 осуществляется центральным компьютером с использованием двухпроводной симметричной линии связи, по которой передаются символьные команды в формате ASCII. Таким образом, сеть последовательной передачи данных, содержащая микроконтроллеры ADAM-5510, может управляться ПЭВМ практически любого производителя и с любой архитектурой.

Блок процессора ADAM-5510 выполнен на базе 16-разрядного процессора 80188 и имеет буферы приема/передачи типа FIFO, что обеспечивает существенное увеличение скорости обмена данными по последовательному каналу связи. Максимальное значение скорости обмена значительно выше, чем в традиционных сетях на базе интерфейса RS-485, и составляет 115200 бит/с.

В микроконтроллерах ADAM-5510 обеспечена гальваническая развязка коммуникационной подсистемы, модулей ввода-вывода, а также цепей питания, что существенно повышает устойчивость системы к электромагнитным помехам и опасным выбросам напряжения, характерным для промышленных условий эксплуатации.

Для обеспечения максимального удобства эксплуатации и обслуживания в микроконтроллерах ADAM-5510 применен модульный принцип включения в состав системы периферийных устройств. При этом микроконтроллеры могут устанавливаться на DIN-рейку или на панель, что обеспечивает непосредственный доступ к интерфейсам ввода-вывода за счет использования разъемных соединений и извлекаемых клемм, расположенных на передних панелях модулей. Все модули имеют одинаковое конструктивное исполнение в большинстве контроллеров промышленного назначения. Это качество, свойственное контроллерам с программирующей логикой (ПЛК), позволяет значительно упростить проводной монтаж и техническое обслуживание.

Микроконтроллеры ADAM-5510 применяются в территориально-распределенных системах сбора данных и управления, в автоматизированных системах технологического контроля, системах диспетчеризации, безопасности и комплексах автоматизации испытаний и контроля качества продукции.

*Функциональные возможности ПЛК серии ADAM-5510:* встроенная операционная система ROM-DOS; встроенные часы реального времени; возможность автономного питания от батареи ОЗУ и часов реального времени в течение 96 часов; до 64 каналов дискретного ввода-вывода или 32 канала аналогового ввода на один блок центрального процессора ADAM-5510; светодиодные индикаторы диагностики состояния модулей ввода-вывода и коммуникационных портов; возможность удаленной программной настройки типа и диапазона входных сигналов; трехуровневая гальваническая развязка и сторожевой таймер; возможность организации многоточечной сети на базе RS-485 с использованием симметричной двухпроводной линии связи; символьный ASCII — протокол обмена данными, скорость передачи данных до 115200 бит/с.

### **10.9. ADAM-5000/CAN — УСТРОЙСТВО СВЯЗИ С ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ШИНЫ CAN**

В устройствах серии ADAM-5000/CAN для организации сетевого взаимодействия реализован один из наиболее популярных стандартов промышленных сетей — CAN (Controller Area Network —

сеть уровня контроллеров), который устанавливает правила обмена данными между контроллерами, датчиками и исполнительными механизмами. CAN относится к системе последовательной передачи данных, в которой обмен информацией между узлами осуществляется в широкополосном режиме. В настоящее время CAN является одним из наиболее широко распространенных стандартов в сфере промышленной автоматизации (рис. 10.7).

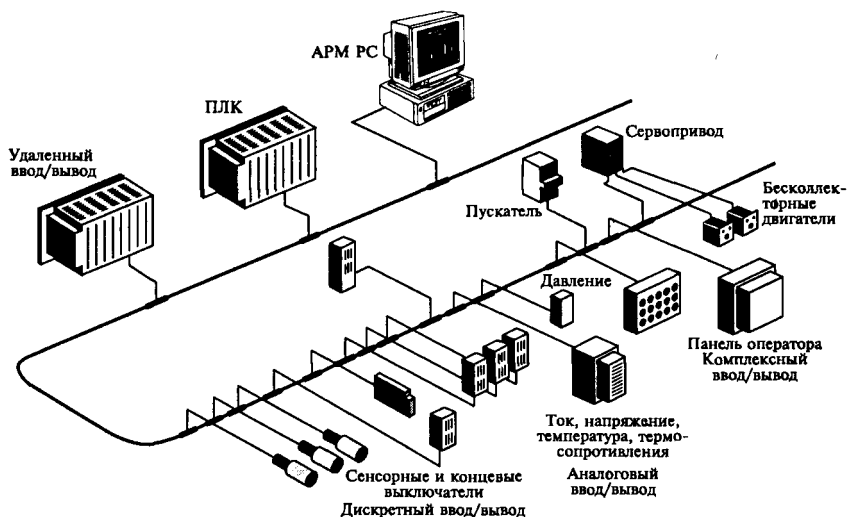


Рис.10.7. Схема промышленной сети CAN на базе модулей серии ADAM-5000.

Для обмена данными между устройствами серии ADAM-5000/CAN используется двухпроводная симметричная линия связи. Специальные схемные решения гарантируют высокую надежность и достоверность передаваемой информации, а также подавление помех, воздействующих на канал связи. Применение двухпроводной линии связи обеспечивает существенное снижение затрат на кабельный монтаж, а также легкость дальнейшего расширения системы.

В устройствах серии ADAM-5000/CAN реализована функция немедленной реакции на изменение состояния контролируемого объекта путем использования механизма обработки прерываний. Основное назначение этой функции состоит в увеличении эффективности обмена информацией за счет того, что передача данных инициируется устройством только при возникновении predefinedных пользователем событий.

Для разрешения конфликтов, когда два или более узлов сети пытаются одновременно получить доступ к каналу связи, в уст-

ройствах серии ADAM-5000/CAN реализован метод поразрядного неразрушающего арбитража. Применение данного метода не приводит к потере передаваемых данных и не ограничивает пропускную способность канала связи. Метод доступа к каналу связи, известный под названием Ethernet, в котором используются детекторы коллизий, подразумевает сокращение пропускной способности канала и потерю передаваемой информации за счет того, что все узлы сети, из-за которых возник конфликт, должны освободить канал связи, после чего повторить передачу данных по истечении интервала времени, выбранного случайным образом. В интерфейсе CAN используется уникальный метод поразрядного неразрушающего разрешения конфликтных ситуаций, при котором определение «победителя» в состязании за канал связи осуществляется без потери пропускной способности путем использования многоуровневой схемы приоритетов передаваемых сообщений. Узел, сообщение которого имеет наивысший приоритет, получает право первоочередного владения каналом связи. Таким образом, высокоприоритетные данные будут гарантированно доставлены адресату в первую очередь, что позволяет отнести интерфейс CAN к системам реального времени.

Высокие надежность и достоверность передаваемой информации являются одними из наиболее значимых характеристик системы на базе интерфейса CAN. Указанное свойство обеспечивается применением пяти механизмов обнаружения ошибок, с помощью которых гарантируется достоверность передаваемых данных, определяются многократные ошибки, а также выявляются неисправности узлов сети.

Устройства серии ADAM-5000/CAN поддерживают следующие коммуникационные протоколы прикладного уровня: Denice Net фирмы Allen-Bradley; CANopen, основанный на протоколе CAL, который разработан ассоциацией CIA (CAN in Automation).

Device Net является простым сетевым решением, которое позволяет сократить материальные и временные затраты на монтаж и пусконаладку устройств, применяемых в системах промышленной автоматизации. Данный протокол обеспечивает возможность организации сетевого взаимодействия между устройствами различных производителей, имеющими единый сетевой интерфейс и сходное функциональное назначение.

CANopen позволяет реализовать недорогие децентрализованные системы управления, системы с распределенным вводом-выводом информации, а также сети, объединяющие интеллектуальные датчики и исполнительные механизмы.

Открытость коммуникационного протокола обеспечивает возможность использования в рамках одной системы и (или) сети устройств независимых производителей.

Одним из дополнительных достоинств протокола CANopen является возможность организации многоточечной сети, в которой каждый узел может быть инициатором передачи информации. Это свойство обеспечивает высокую гибкость систем на базе устройств серии ADAM-5000/CAN. Разработчик системы может устанавливать логические связи между модулями (каналами) ввода-вывода, принадлежащими любым двум блокам процессора ADAM-5000/CAN. Предопределяемые логические связи включают в себя возможность установления соответствия между каналами аналогового ввода и каналами аналогового вывода, между каналами аналогового ввода и каналами дискретного вывода для реализации дискретного управления, а также между каналами дискретного ввода и дискретного вывода для реализации взаимных блокировок и временных задержек. Схема многоточечной сети на основе промышленной шины CAN представлена на рис. 10.8.



Рис. 10.8. Схема передачи данных в широковещательном режиме и фильтрации получаемых сообщений

### Возможности расширения сети на базе ADAM-5000/CAN

Повторитель ADAM-4515 можно использовать для усиления или буферизации сигнала, передаваемого по сети CAN. Каждый повторитель позволяет включить в состав сети очередные 64 блока процессора ADAM/CAN либо увеличить протяженность линии связи без снижения скорости обмена. Система, в которой ис-

пользуется протокол прикладного уровня Device Net, может объединить до 64 устройств в рамках одной сети. При использовании протокола CANopen количество устройств в одной сети может достигнуть 256.

Для осуществления взаимодействия между устройствами ADAM-5000/CAN и IBM PC совместимой ЭВМ можно использовать изделия ADAM-4525, PCL-841, PCL-845 и PCM-3680. Схема устройств связи с объектом на основе промышленной шины CAN представлена на рис. 10.9.

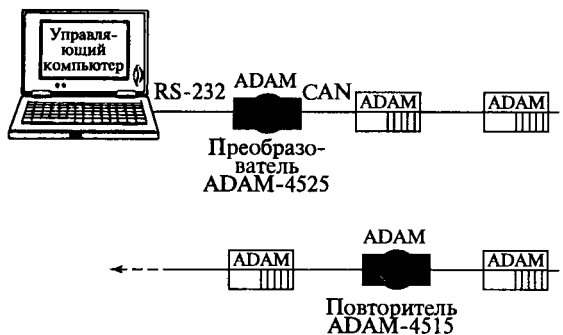


Рис. 10.9. Схема устройств связи с объектом на основе промышленной шины CAN

Преобразователь ADAM-4525 позволяет организовать сеть на базе интерфейса CAN в вычислительных системах, имеющих интерфейс последовательной связи RS-232C. Он обеспечивает возможность работы интерфейсов RS-232C и CAN с использованием отличных друг от друга значений скорости обмена.

Изделие PCL-841 является 2-канальным модулем гальванически изолированного интерфейса CAN, который может функционировать в составе IBM PC совместимых ЭВМ с 16-разрядной магистралью ISA.

Изделие PCL-845 является интеллектуальным 2-канальным модулем интерфейса CAN, предназначенным для работы в составе IBM PC совместимых ЭВМ с 16-разрядной магистралью ISA и имеющим собственный микропроцессор. Обмен данными между модулем PCL-845 и ЭВМ осуществляется с использованием двухпортовой памяти.

Изделие PCM-3680 является 2-канальным модулем гальванически изолированного интерфейса CAN, который выполнен в формате PC/104 и предназначен для применения во встраиваемых IBM PC совместимых вычислительных системах.



## Программная поддержка

Устройства серии ADAM-5000/CAN поддерживаются большинством стандартных программных пакетов разработки программного обеспечения сбора данных и управления.

Для разработки приложений, работающих в среде Windows, с использованием стандартных инструментальных средств, таких, как Си и Паскаль, разработаны и поставляются специальные драйверы, представляющие собой библиотеки динамической компоновки (DLL). Обмен данными между устройствами ADAM-5000/CAN и стандартными приложениями Windows, такими, как Excel, Access, Genesis и Genie, может осуществляться с использованием соответствующего сервера динамического обмена данными (DDE-сервера).

## Спецификация интерфейса CAN

*Физический уровень.* Среда обмена: симметричная двухпроводная линия связи. Питание устройств осуществляет либо локально либо централизованно по дополнительной паре проводов, входящей в стандартный кабель связи. Топология сети: линейная. Скорость обмена: при использовании протокола Device Net составляет 125 Кбит/с, 250 Кбит/с, 500 Кбит/с; при использовании протокола CANopen соответственно: 20 Кбит/с, 125 Кбит/с, 500 Кбит/с, 1 Мбит/с. Максимальное количество узлов: 64 (DeviceNet), 256 (CANopen).

*Канальный уровень.* Метод доступа к каналу связи: модифицированный CSMA/CD, управление доступом на основе механизма приоритетов сообщений, разрешение конфликтов на основе поразрядного контроля канала, доставка сообщений с наивысшим приоритетом без нарушения целостности. Кадр сообщения: 11-разрядный идентификатор пакета (ID), до 8 байт данных в информационном пакете.

Достоверность передачи данных: обнаружение ошибок проверкой контрольной суммы длиной 15 бит, вставкой битов и непрерывным контролем канала связи; обработка ошибок с использованием сегментов подтверждения и механизма проверки кадров. Возможности системы реального времени: максимальное время ожидания сообщения при скорости обмена 500 Кбит/с не более 94 мкс.

*Прикладной уровень. Протокол Device Net.* Обмен данными — по схеме с ведущим узлом, управляющим подчиненными узлами. Использование явных сообщений (explicit messages) для реализации функций клиент — сервер, таких, как конфигурирование системы. Использование сообщения ввода-вывода (I/O messages) для обмена данными, требующими немедленной доставки.

*Протокол CANopen.* Обмен данными по схеме с ведущим узлом, управляющим подчиненными узлами. Функции предопределенного обмена данными между несколькими ведущими узлами. Использование управляющих сообщений (administration data messages) для инициализации сети. Использование служебных сообщений (service data messages) для конфигурирования устройств. Использование информационных сообщений (process data messages) для передачи данных в масштабе реального времени. Использование предопределенных сообщений (predefined data messages) для синхронизации узлов сети и получения единых меток времени.

### **ADAM-5000/CAN — устройство распределенного сбора данных и управления**

*Общие характеристики.* Тип процессора: 80188, 16-разрядный. Объем ОЗУ 32 кбайт. Количество обслуживаемых модулей ввода-вывода — до 4. Сторожевой таймер встроен. Мощность, потребляемая блоком процессора, — 1,0 Вт. Дополнительный порт последовательной связи RS-232C.

*Гальваническая развязка.* Напряжение изоляции интерфейса CAN — 2500 В постоянного тока. Напряжение изоляции цепей питания — 3000 В постоянного тока.

*Средства проверки работоспособности.* Светодиодная индикация состояния подсистем питания, коммуникаций и процессора. Автоматическая самопроверка при включении питания. Удаленная программная проверка.

*Интерфейс связи.* CAN: два соединителя ДВ-9, один клеммный соединитель. Физическая среда: двухпроводная симметричная, CAN. Максимальная протяженность линий связи: для Device Net составляет при 500 м — 125 Кбит/с, при 200 м — 250 Кбит/с, при 100 м — 500 Кбит/с; для CANopen: при 1000 м — 25 Кбит/с, при 500 м — 125 Кбит/с, при 100 м — 500 Кбит/с, при 40 м — 1 Мбит/с. Максимальное количество устройств ADAM-5000/CAN на один порт CAN ведущего звена — до 64. Сетевой протокол: DeviceNet или CANopen. Формат асинхронной передачи данных: 1 стар-бит, 11-разрядный идентификатор (ID); 1 бит удаленного запроса передачи, 6-разрядное поле управления; 8 байт данных в 15-разрядном поле контрольной суммы, поле подтверждения размером 1 бит. Проверка наличия ошибок: с использованием 15-разрядной контрольной суммы, покадровая проверка, проверка ошибок в поле подтверждения, непрерывное прослушивание канала связи, вставка битов. Возможности систе-

мы реального времени: максимальное время ожидания сообщения при скорости обмена 500 кбит/с — не более 94 мкс.

*Требования по питанию.* Питание устройств осуществляется нестабилизированным постоянным напряжением от 10 до 30 В. Обеспечена защита от непредвиденного изменения полярности, напряжения питания.

*Механические характеристики.* Материал: ABS (пластик). Извлекаемые клеммные колодки с винтовой фиксацией: сечение жил проводников от 0,5 до 2,5 мм<sup>2</sup>.

*Условия эксплуатации.* Диапазон рабочих температур: от —10 до +70°С. Диапазон температур при хранении: от —25 до +85°С. Относительная влажность воздуха: от 5 до 95% без конденсации влаги.

### **ADAM-4525/4515 — преобразователь RS-232C/CAN с гальванической развязкой и повторитель сигналов интерфейса CAN**

Интерфейс передачи данных CAN обладает свойствами систем реального времени и позволяет создавать многоточечные сети с возможностью передачи данных по инициативе каждого из входящих в них узлов. CAN является наиболее эффективным и экономичным стандартом промышленной сети для создания распределенных систем автоматизации технологических процессов.

Преобразователь с гальванической развязкой ADAM-4525 позволяет использовать преимущества интерфейса CAN в вычислительных системах, оснащенных портами последовательной связи RS-232C. Это устройство выполняет сквозное преобразование сигналов интерфейса RS-232C в гальванически изолированные сигналы интерфейса CAN, что позволяет применять ранее созданное программное обеспечение обмена данными без каких-либо модификаций. Преобразователь ADAM-4525 обеспечивает осуществление реализации коммуникационных систем реального времени на базе стандартных IBM PC совместимых аппаратных средств.

Повторитель ADAM-4515 обеспечивает усиление электрических сигналов, передаваемых по каналу связи интерфейса CAN. Применение повторителя позволяет увеличить протяженность линий связи от 40 до 1000 м без снижения скорости обмена или увеличить сеть на 64 узла.

Преобразователь ADAM-4525 имеет в своем составе микропроцессор, который выполняет обработку данных перед их передачей по каналу RS-232C. Другая функция микропроцессора состоит в управлении двумя асинхронными приемопередатчиками (УАПП) и настройке коммуникационных параметров портов RS-232C и CAN. Поэтому имеется возможность одновременного

использования разных скоростей обмена по каналам связи RS-232C и CAN.

*Функциональные возможности:* встроенный микропроцессор; программная настройка скоростей обмена для интерфейсов RS-232C и CAN; напряжение изоляции интерфейса CAN — не менее 3000 В (только для ADAM-4525); подавление импульсных помех в линиях интерфейса CAN; скорость обмена для интерфейса RS-232C до 115200 бит/с, для интерфейса CAN — 1Мбит/с; протяженность линии связи до 1000 м; место для установки согласующих резисторов; индикаторы наличия питания и передачи данных для облегчения поиска неисправностей; питание нестабилизированным постоянным напряжением от 10 до 30 В; возможность монтажа на панель и DIN-рейку.

*Условия эксплуатации.* Диапазон рабочих температур: от -10 до +70°C. Диапазон температур при хранении: от -25 до +85°C.

### **Характеристика повторителя ADAM-4515**

Входные линии CAN: CAN\_H, CAN\_L. Выходные линии CAN: CAN\_H, CAN\_L. Скорость обмена до 1 Мбит/с. Соединитель интерфейса CAN — извлекаемые клеммные колодки с винтовой фиксацией жил проводников. Напряжение изоляции (по специальному заказу) — 3000 В. Потребляемая мощность — 1 Вт.

Характеристики преобразователя интерфейса RS-232C/CAN с гальванической развязкой. Входной интерфейс RS-232C. Скорость передачи по каналу RS-232C до 115200 бит/с. Тип соединителя интерфейса RS-232C — розетка DB-9. Выходной интерфейс CAN\_H, CAN\_L. Скорость обмена до 1 Мбит/с. Соединитель интерфейса CAN: извлекаемые клеммные колодки с винтовой фиксацией жил проводников. Напряжение изоляции 3000 В. Потребляемая мощность — 2 Вт.

## **10.10. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ WINDOWS УСТРОЙСТВ СЕРИИ ADAM-5000. БИБЛИОТЕКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ**

Интерфейс прикладного программирования с устройствами серии ADAM в среде операционной системы Windows 3.1/95 выполнен в виде 16- и 32-разрядных библиотек динамической компоновки (DLL). В указанных драйверах обмен данными с устройствами организован через коммуникационные порты COM1 — COM4. Библиотеки динамической компоновки содержат набор функций, который может использоваться при создании приложений на языках программирования Си, Си++ и Visual Basic. Данные функции позволяют выполнять ввод-вывод анало-

говых и дискретных сигналов, а также использовать счетные выходы устройств и проводить прямые измерения температуры. Программный пакет, содержащий библиотеку динамической компоновки, также включает вспомогательные сервисные программы отображения информации, получаемые от устройств эмуляции терминала и удаленной настройки параметров устройств для обеспечения повышенных удобств конфигурирования системы и поиска неисправностей (см. рис. 10.3).

### **Сервер DDE**

В сервере, специально разработанном для устройств серии ADAM, использованы все преимущества встроенного в Windows механизма динамического обмена данными (DDE). Сервер DDE выполняет опрос устройств серии ADAM и передает данные приложениям Windows, обладающим способностью выполнять функции клиента DDE, по предварительно организованному и поддерживаемому программному каналу динамического обмена. Приложения Windows также могут передавать в адрес устройств серии ADAM команды управления и конфигурации с использованием протокола DDE (см. рис. 10.4 — блок-схема сервера DDE). Таким образом, можно использовать устройства серии ADAM совместно с большинством приложений Windows, поддерживающих функции динамического обмена данными (DDE). В качестве примера можно назвать такие приложения, как Access, Excel корпорации Microsoft и Genensis фирмы Iconics.

## **10.11. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ СЕРИИ ADAM-5000**

### **ADAM-5013 — 3-канальный модуль ввода сигналов термосопротивлений**

Количество каналов — 3. Эффективное разрешение АЦП — 16 разрядов. Типы поддерживаемых термосопротивлений: Pt, Ni. Типы термометров и диапазоны измерения температуры: Pt  $-100 \div 100^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $0 \div 100^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $0 \div 200^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $0 \div 600^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00385$ ; Pt  $-100 \div 100^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00392$ ; Pt  $0 \div 100^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00392$ ; Pt  $0 \div 200^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00392$ ; Pt  $0 \div 600^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 0,00392$ ; Ni  $-80 \div 100^\circ\text{C}$ ; Ni  $0 \div 100^\circ\text{C}$ .

Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Частота выборки: 10 отсчетов в секунду (для 3 каналов). Входное сопротивление — 2 МОм. Схема подключения: 2-, 3- и 4-проводная. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,1\%$ . Температурный коэффициент

циент смещения нуля  $\pm 0,015$  мкВ/°С. Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/°С. Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50/60 Гц — не менее 150 дБ. Коэффициент ослабления помехи нормального вида на частоте 50/60 Гц — не менее 100 дБ. Потребляемая мощность — 1,2 Вт.

ADAM-5017 — 8-канальный модуль аналогового ввода. Количество и тип каналов аналогового ввода — 8 дифференциальных. Диапазоны входного сигнала  $\pm 150$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В,  $\pm 20$  мА. Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Защита от перенапряжения до  $\pm 35$  В. Время аналого-цифрового преобразования: 100 мс (для 8 каналов). Входное сопротивление — 2 МОм. Полоса пропускания — 13,1 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,1\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 1,5$  мкВ/°С. Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/°С. Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 92 дБ. Потребляемая мощность — 1,2 Вт.

### **ADAM-5017H — 8-канальный быстродействующий модуль аналогового ввода**

Количество и тип каналов аналогового ввода — 8 дифференциальных. Эффективное разрешение — 12 разрядов + знак. Типы входного сигнала: напряжение (мВ, В), ток (мА). Диапазоны входного сигнала:  $\pm 250$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 5$  В,  $\pm 10$  В,  $0 \div 250$  мВ,  $0 \div 500$  мВ,  $0 \div 1$  В,  $0 \div 5$  В,  $0 \div 10$  В,  $0 \div 20$  мА,  $4 \div 20$  мА. Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Частота выборки зависит от типа используемого блока центрального процессора; для ADAM-5000/485 — 1000 отсчетов в секунду при одном установленном модуле ADAM 5017H и использовании формата представления данных в дополнительном коде, 600 отсчетов в секунду при одном установленном модуле ADAM-5017H и использовании формата представления данных в инженерных единицах; для ADAM-5510 — 8000 отсчетов в секунду (максимум) для 8 каналов при одном установленном модуле ADAM-5017H. Входное сопротивление: 20 МОм при измерении напряжения; 125 Ом при измерении силы тока. Полоса пропускания — 1000 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,1\%$ . Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 92 дБ. Потребляемая мощность — 1,8 Вт. Показательная установка диапазона входного сигнала.

### **ADAM 5018 — 7-канальный модуль ввода сигналов термодатчиков**

Количество и тип каналов аналогового ввода: 7 дифференциальных. Диапазоны входного сигнала:  $\pm 15$  мВ,  $\pm 50$  мВ,  $\pm 100$  мВ,  $\pm 500$  мВ,  $\pm 1$  В,  $\pm 2,5$  В,  $\pm 20$  мА. Типы термодатчиков и диапазоны из-

мерения температуры: J  $0 \div 760^\circ \text{C}$ ; K  $0 \div 1000^\circ \text{C}$ ; T  $-100 \div 400^\circ \text{C}$ ; E  $0 \div 1400^\circ \text{C}$ ; R  $500 \div 1750^\circ \text{C}$ ; B  $500 \div 1800^\circ \text{C}$ . Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Защита от перенапряжения до  $\pm 35$  В. Время аналого-цифрового преобразования — 100 мс (для 7 каналов). Входное сопротивление — 2 МОм. Полоса пропускания — 13,1 Гц. Основная погрешность измерения — не хуже  $\pm 0,1\%$ . Температурный коэффициент смещения нуля  $\pm 0,3$  мкВ/ $^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$ . Коэффициент ослабления помехи общего вида на частоте 50 Гц — не менее 92 дБ. Потребляемая мощность — 1,2 Вт.

### **ADAM-5024 — 4-канальный модуль аналогового ввода**

Количество каналов: 4. Диапазоны выходного сигнала:  $0 \div 20$  мА;  $4 \div 20$  мА;  $0 \div 10$  В. Напряжение изоляции — 3000 В постоянного тока. Основная погрешность: в режиме формирования тока — не хуже  $\pm 0,1\%$  полной шкалы; в режиме формирования напряжения не хуже  $\pm 0,2\%$  полной шкалы. Температурный коэффициент смещения нуля: в режиме формирования тока  $\pm 0,2$  мкА/ $^\circ\text{C}$ ; в режиме формирования напряжения  $\pm 30,0$  мкВ/ $^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент смещения шкалы  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$ . Скорость нарастания выходного сигнала (устанавливается программно): от 0,125 до 128,000 мА/с; от 0,0625 до 64,0000 В/с. Сопротивление нагрузки:  $0 \div 500$  Ом. Потребляемая мощность — 2,5 Вт.

### **ADAM-5050 — 16-канальный универсальный модуль дискретного ввода/вывода**

Количество каналов ввода/вывода — 16. Режим работы каналов устанавливается поразрядно с помощью VIP-переключателя. Дискретный ввод: уровень логического «0» — не менее 2В, уровень логической «1» — от 4 до 30 В. При контроле цепей типа «сухой контакт»: уровень логического «0» — вход, замкнутый с «землей» (GND); уровень логической «1» — вход, разомкнутый относительно «земли» (GND). Дискретный вывод («открытый коллектор»): коммутируемое напряжение до 30 В, ток нагрузки до 1000 мА при мощности 450 мВт. Потребляемая мощность — 0,5 Вт.

### **ADAM-5051 — 16-канальный модуль дискретного ввода**

Количество каналов — 16. Уровень логического «0» — не более 1 В. Уровень логической «1» — от 3,5 до 30,0 В. Выходной ток — не более 0,5 мА. Потребляемая мощность — 0,3 Вт.

### **ADAM-5052 — 8-канальный модуль дискретного ввода с гальванической изоляцией**

Количество каналов — 8. Уровень логического «0» — не более 1В. Уровень логической «1» — от 3,5 до 30,0 В. Напряжение изоляции — 5000 В (действующее значение). Токоограничивающий резистор — 3 кОм, 0,5 Вт. Потребляемая мощность — 0,4 Вт.

### **ADAM-5056 — 16-канальный модуль дискретного вывода**

Количество и тип каналов вывода — 16, «открытый коллектор». Коммутируемое напряжение — от 30 В. Ток нагрузки: до 100 мА при мощности 450 мВт. Потребляемая мощность: 0,25 Вт.

### **ADAM-5060 — 6-канальный модуль релейной коммутации**

Количество и тип релейных контактов: 2 нормально-открытых (SPST), 4 переключаемых (SPDT). Электрическая прочность контактов: по переменному току — 125 В при 0,6 А; 250 В при 0,3 А; по постоянному току — 30 В при 2 А; 110 В при 0,6 А. Напряжение пробоя — 500 В переменного тока. Номинальное время включения (для SPST) — 1 мс. Номинальное время выключения (для SPST) — 1 мс. Номинальное время переключения (для SPDT) — 10 мс. Сопротивление изоляции — не менее 1000 МОм.

### **ADAM-5068 — 8-канальный модуль релейной коммутации**

Количество и тип каналов: 8 нормально-разомкнутых (SPST) типа А. Электрическая прочность контактов: по переменному току составляет 120 В при 0,5 А; по постоянному току соответственно 30 В при 1А. Напряжение пробоя — 500 В переменного тока (50/60Гц). Время замыкания — 7 мс. Время размыкания — 3 мс. Общее время переключения — 10 мс. Сопротивление изоляции — не менее 1000 МОм (при 500 В постоянного тока). Потребляемая мощность — 2,0 Вт.

### **ADAM-5080 — 4-канальный модуль ввода частотных/импульсных сигналов**

Количество каналов: 4 независимых 32-разрядных счетчика. Емкость счетчиков — 4 294 967 295 (32 разряда). Максимальная частота следования импульсов: 1000 Гц в режиме измерения частоты, 5000 Гц в режиме счета импульсов. Режим ввода (по выбору): гальванически изолированный или неизолированный. Уровни входного сигнала в режиме изолированного ввода: уровень логического «0» — не более 1 В, уровень логической «1» — от 3,5 до 30 В.



Напряжение изоляции — 500 В (действующее значение). Уровни входного сигнала в режиме неизолированного ввода: TTL, совместимые. Режимы работы счетчиков: реверсивный счет, циклический счет, установка порогового значения, предустановка значения счетчика. Цифровой фильтр с программируемой постоянной времени от 8 мкс до 65 мс. Потребляемая мощность — 2,5 Вт.

## **10.12. GENIE — ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Пакет разработки GENIE, поставляемый Advantech, является средой разработки и исполнения программного обеспечения сбора данных, с помощью которого можно решать разнообразные задачи автоматизации практически технологических объектов любого уровня сложности.

GENIE является также инструментальной средой разработки приложений сбора, обработки и графического представления данных и управления, которая содержит множество встроенных функциональных блоков и графических элементов отображения, позволяющих сократить затраты на разработку программного обеспечения для систем промышленной автоматизации. Разработка приложений состоит в выборе соответствующих функциональных блоков, установлении логических связей между ними, создании графического интерфейса оператора и настройке форм отчетов (рис. 10.10).

Кроме традиционных средств создания интерфейса оператора GENIE включает в себя встроенную среду программирования на языке сценариев, совместимом с Visual Basic для приложений (VBA). Visual Basic является одним из наиболее популярных языков программирования. Для обеспечения идентичности методов программирования с Microsoft Visual Basic (VB) и Visual Basic для приложений (VBA) в систему разработки и исполнительную среду GENIE встроена среда программирования Basic-сценариев фирмы SUMMIT. Эта среда программирования значительно облегчает процесс реализации сложных алгоритмов обработки и анализа данных, являясь мощным и универсальным средством адаптации пакета к требованиям прикладной задачи.

*Функциональные возможности:* центр обработки данных с открытой архитектурой; программирование на языке сценариев, совместимом с Visual Basic для приложений (VBA); использование мультизадачности при реализации алгоритмов сбора данных и управления; объектно-ориентированная графика; стандартный интерфейс пользователя, принятый в Windows; разработка приложения с использованием функциональных блоков; настраиваемый редактор отчетов; отображение, управление и обработка данных в масштабе реального

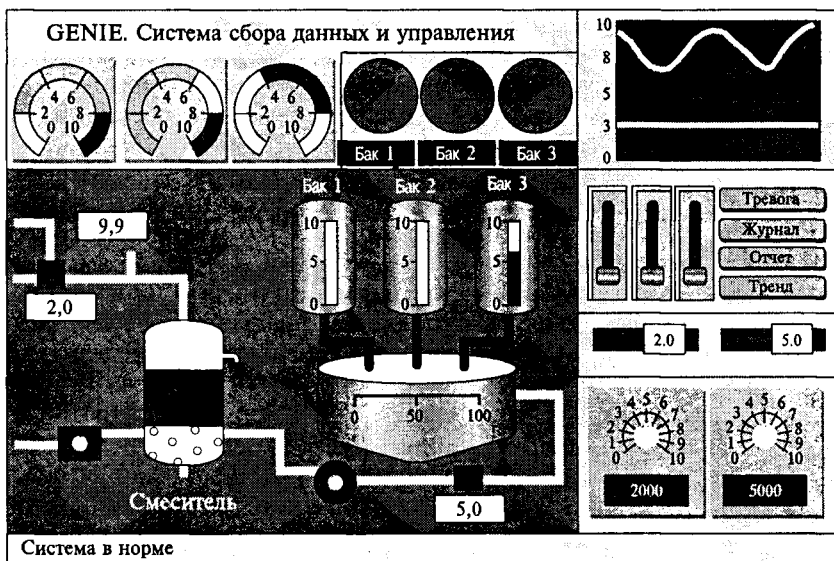


Рис. 10.10. Схема устройства для отслеживания и контроля параметров технологического процесса

времени; построение графиков контролируемых параметров в масштабе реального времени; управление доступом к системной информации и органам управления; обработка событий/тревог; связь с другими приложениями Windows посредством механизма обмена данными (DDE); интерфейс прикладного программирования посредством механизма связывания и внедрения объектов (OLE Automation); библиотеки динамической компоновки, создаваемые пользователем; возможность организации сетевого взаимодействия; поддержка протоколов DeviseNet и CANOpen.

*Области применения:* системы сбора данных и диспетчерского управления, автоматизации производственных участков; создание автоматизированных рабочих мест технолога; автоматизация лабораторных измерений; измерительные комплексы; системы и комплексы автоматизации испытаний.

### **Особенности и разрешающая способность GENIE**

Программные пакеты разработки интерфейса оператора достаточно сложны. Встроенная среда разработки программных сценариев, совместимая с Microsoft VB и VBA, обеспечивает разработчика системы большим набором инструментов, который называется «редактор сценариев» (Script Designer). Редактор сценариев содержит

множество функций VBA, включает ряд методов сбора и обработки данных, которые позволяют реализовать прикладные алгоритмы практически любого уровня сложности. В VBA реализована и постоянно расширяется поддержка многих функций операционной системы Windows (DDE, OLE Automation, ODBC). VBA-совместимый редактор сценариев пакета GENIE существенно упрощает разработку, модификацию и сопровождение приложений пользователя.

В состав GENIE входит большое количество различных средств организации взаимодействия с корпоративными программными комплексами обработки данных, включая механизмы динамического обмена данными (DDE), связывания и внедрения объекта (OLE Automation) и обмен информацией по локальной вычислительной сети с использованием протокола IPX. Для реализации связи между базами данных через SQL-запросы в GENIE встроены функции открытого взаимодействия баз данных (ODBC). Доступ в масштабе реального времени к данным, собираемым GENIE, может осуществляться при помощи интерфейса прикладного программирования на языке Си (Си API) путем непосредственного обращения к центру обработки данных GENIE (OEME Data Center). Блок-схема GENIE представлена на рис. 10.11.

Открытость архитектуры GENIE гарантирует пользователю возможность интеграции пакета с корпоративной информационной системой, внедренной или внедряемой на предприятии.

В GENIE имеются специальные графические средства разработки и представления данных, которые называются «Редактор задач» (Task Designer) и «Редактор форм отображения» (Display Designer). В Редакторе задач используется информационно-поточная модель программирования, которая удобна для восприятия и

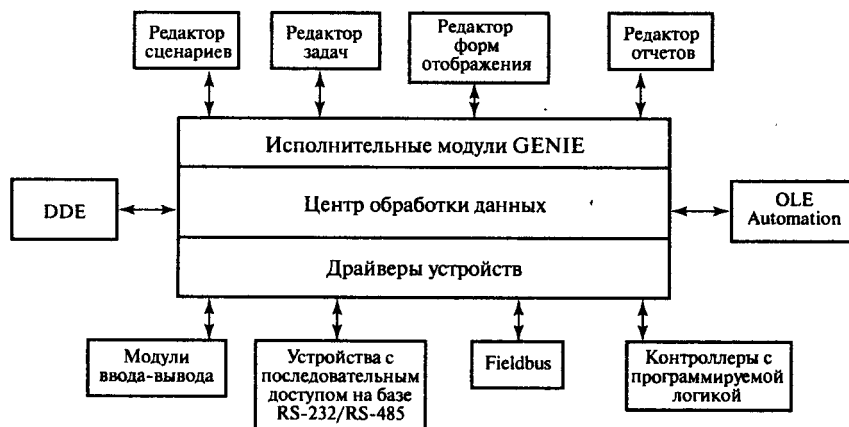


Рис. 10.11. Блок-схема программы GENIE

алгоритмической интерпретации в сравнении с традиционной линейной архитектурой текстовых языков программирования.

При разработке пользователем приложения создается блок-схема стратегии без акцентирования внимания на различных логических и синтаксических соглашениях, характерных для стандартного программирования. Объекты (пиктограммы функциональных блоков) выбираются из панели инструментов редактора задач и соединяются между собой для передачи данных от одного блока к другому. При создании графического интерфейса оператора редактор форм отображения позволяет осуществить разработку удобных для восприятия экранных форм отображения, причем достаточно быстро, посредством стандартных элементов отображения, входящих в пакет. Этот графический интерфейс оператора можно усовершенствовать с помощью специальных инструментов рисования и элементов отображения, определяемых пользователем. Библиотеки встроенных функциональных блоков и элементов отображения содержат наиболее часто используемые в промышленной автоматизации функции сбора, обработки и графического представления данных.

### **Редактор сценариев**

Редактор сценариев GENIE является VBA-совместимым средством разработки программных модулей (сценариев) на языке Basic. Он содержит мощный набор инструментов, предназначенных для решения множества задач промышленной автоматизации, а также управления процессом исполнения задач стратегического плана, созданных средствами редактора задач и редактора форм отображения GENIE. Функции, реализующие механизмы динамического обмена данными (DDE), связывания и внедрения объектов (OLE), а также открытого взаимодействия баз данных (ODBC SQL), обеспечивают возможность интеграции GENIE с другими приложениями Windows путем использования встроенных языков Visual Basic.

Редактор сценариев представляет собой текстовый редактор с рядом удобных возможностей для редактирования кода сценария. Исходный текст сценария будет компилироваться в псевдокод сразу после редактирования, при этом не будет необходимости компилировать его снова при запуске программы. Синтаксис Basic-сценария совместим с Microsoft VBA (Visual Basic for Application, используемый в Excel, Access и т. п.) и Microsoft Visual Basic. При использовании в Basic-сценарии базовых функций имеется возможность компиляции и исполнения программ, написанных на языке Visual Basic без каких-либо изменений. Эти две среды разработки имеют много общего. На стадии разработки исходных текстов выполнимы функции вырезания, копирования и вставки.

Разрабатываемая стратегия может выполняться в режиме отладки, при этом программа исполняется построчно с возможностью наблюдения каждой сканируемой задачи блок за блоком. Это достоинство позволяет пользователям разрабатывать и отлаживать сложные стратегии в редакторе, прежде чем запускать программу на исполнение. При этом программа во время выполнения требует меньшего объема памяти и имеет лучшую производительность.

Редактор сценариев предназначен для редактирования основного сценария и Basic-сценариев внутри задач. Основной сценарий полностью контролирует процесс выполнения задачи, включая ее запуск и/или останов. Кроме управления задачами GENIE предоставляет разнообразные команды для ввода-вывода данных, включая операции открытия, чтения, записи, закрытия последовательного порта, операции доступа к информации в центре обработки данных.

Основной сценарий используется для контроля и управления задачами: GetScan Task присваивает начальные значения всем данным, связанным с задачей; возвращает объект типа Scan Task (сканируемая задача); Single Scan выполняет однократный проход (сканирование) определенной задачи; Start/Stop используется для запуска задачи и завершения ее выполнения.

Предварительный сценарий задачи используется для определения параметров задачи и инициализации ее данных до начала ее исполнения.

Пост-сценарий задачи (Post-task-Script) используется для очистки данных, связанных с задачей, после ее завершения.

Функциональный блок «Basic-сценарий» (Basic Script) панели инструментов редактора задач используются для получения, анализа и установки входных и выходных данных.

## **Редактор задач (Task Designer)**

Редактор задач пакета GENIE использует информационно-точную модель программирования, которая удобнее для восприятия и алгоритмической интерпретации, чем традиционная линейная архитектура тестовых языков программирования. При разработке приложения сбора данных и управления пользователем создается блок-схема стратегии без концентрации внимания на различных логических и синтаксических соглашениях, характерных для стандартного программирования. Следует просто выбрать объекты (пиктограммы функциональных блоков) из панели инструментов редактора задач и соединить их между собой для передачи данных от одного блока к другому.

Редактор задач пакета GENIE позволяет редактировать множество задач одновременно. Каждая задача изображается в своем

поле и имеет собственные параметры: период сканирования, методы запуска/останова и др. Для сохранения всех задач, относящихся к одной управляющей стратегии, используется один файл стратегии. Для простой стратегии, содержащей одну задачу, это делается так же, как и в предыдущих версиях пакета. Для сложной стратегии, состоящей из большого количества задач, управление их выполнением должно осуществляться основным сценарием. GENIE 3.0 поддерживает до 8 задач. Большая сложная задача может быть разбита на несколько простых задач меньшего объема. Это упрощает процесс разработки и увеличивает производительность при выполнении, так как при каждом сканировании должно быть обработано меньшее количество функциональных блоков.

Редактор задач пакета GENIE имеет функции упорядочения блоков и последовательности, которые показывают очередность выполнения на пиктограммах всех блоков задачи. Применяя порядковые номера исполнения, пользователь может устанавливать необходимый порядок, основанный на приоритете выполняемой операции.

### **Редактор форм отображения (Display Designer)**

При необходимости создания графического интерфейса оператора редактор форм отображения пакета GENIE 3.0 обеспечивает разработку удобных для восприятия экранных форм отображения, причем достаточно быстро, посредством входящих в пакет стандартных элементов отображения. При этом этот графический интерфейс оператора можно усовершенствовать с помощью специальных инструментов рисования, определяемых пользователем.

Средства рисования GENIE — это дополнение к имеющимся стандартным элементам отображения, которые предоставляют разработчику инструментальные средства для рисования пользовательских графических элементов, таких, как насосы, клапаны, прямоугольники, круги, сегменты, многоугольники и т. п. Кроме этого пользователь может конфигурировать цвета и размеры данных рисунков. Пользовательские инструментальные средства рисования включают овал, прямоугольник, скругленный прямоугольник, многоугольник и линию. При этом GENIE содержит команды «Сгруппировать» и «Разгруппировать», позволяющие объединять рисованные компоненты в единое изображение.

В GENIE 3.0 реализована поддержка многооконного интерфейса оператора, что позволяет просматривать данные о контролируемом процессе в различном графическом представлении. При этом возможно разделение процесса на логические сегменты, каждый из которых имеет графическое представление в собственном окне.

## **Редактор отчетов (Report Designer)**

Редактор отчетов пакета GENIE предоставляет конфигурируемую среду разработки, в которой пользователи могут определять требуемое содержание отчета, представляющего необходимые данные в установленные моменты времени с последующей автоматической печатью в заданное время. Интерфейсы, предоставляемые редактором отчетов, могут использоваться для выбора и печати отчетов вручную.

Редактор отчетов обеспечивает выполнение пяти основных функций: сбор данных, конфигурирование формата отчета, составление расписания отчета, генерацию отчета событий и генерацию отчета тревог.

Функция сбора данных в заданное пользователем время создает файлы базы данных (с расширением DBF) для каждого тэга (объекта обрабатываемых данных), определенного пользователем при конфигурировании отчета. Минимальный временной интервал сбора данных, используемый указанной функцией при получении информации о заданном тэге, равен 10 минутам. Для высокоскоростного сбора данных следует использовать другие функции сбора данных.

Функция конфигурирования формы отчета предоставляет пользователю диалоговые панели, которые позволяют установить формат отчета и время печати отчета. Записи отчета формируются в табличной форме, а пользователи вводят текст или задают ключевые слова для определения каждого столбца таблицы. Информация о каждой форме отчета сохраняется в файле формата и извлекается из него при генерации отчета.

Планировщик отчета устанавливает время, в которое должны генерироваться отчеты. В определенное пользователем время планировщик отчета инициирует процесс генерации отчета. При этом планировщик отчета информирует пользователя о выполнении и результате печати отчета.

Функция генерации отчета тревог служит для создания отчетов об отказах оборудования, которые содержат информацию о времени отказа, о подтверждении его оператором и о восстановлении работоспособности оборудования.

### **Представление данных о контролируемом процессе**

*Сбор данных.* Механизм исполнения и синхронизации задач, реализованный в пакете GENIE, обеспечивает возможность полного контроля за выполнением функции сбора данных. Сбор данных может начаться сразу после запуска стратегии на исполнение. При этом сбор данных может быть инициирован или остановлен при достижении каких-либо параметров (группы параметров) предвари-

тельно заданных значений, при фиксации определенного события или при достижении предварительно заданной скорости изменения какого-либо параметра. Встроенная функция масштабирования, которая имеется у функционального блока «Аналоговый вход», позволяет выполнять преобразование шкал контролируемых параметров к требуемым единицам и диапазонам изменений. Для получения требуемого диапазона изменения параметра на выходе функционального блока «Аналоговый вход» достаточно указать имеющийся диапазон входного сигнала и требуемый диапазон выходного сигнала.

### **Регистрация данных**

В пакете GENIE реализованы функции вывода системной информации на печатающее устройство или в файл в различных форматах. Хранение данных осуществляется в нескольких широко распространенных форматах файлов, используемых в большинстве систем анализа и управления базами данных, а также в текстовых процессорах. Поддерживаются следующие форматы представления данных: символьный ASCП, двоичный с плавающей точкой, двоичный байтовый и двоичный длинный целый.

### **Вычисления в масштабе реального времени**

GENIE предоставляет набор стандартных математических операций, выполнение которых осуществляется в процессе исполнения стратегий. В пакет включены арифметические операции и логарифмические функции. Результат выполнения математической операции можно передать для последующей обработки в другой функциональный блок, он может быть выведен в окно формы отображения, либо сохранен на диске.

### **Отображение информации в масштабе реального времени**

Редактор форм отображения пакета GENIE позволяет создавать графические формы пользовательского интерфейса путем выбора встроенных элементов отображения. Для выбора параметра в поле элемента отображения достаточно с помощью мыши установить связь между соответствующим функциональным блоком и элементом отображения. При этом имеется возможность прикрепления битовых изображений (bitmap) к каждой форме отображения для использования в качестве фона окна. Широкий выбор встроенных элементов отображения включает в себя двумерные и одномерные графические представления контролируе-



мых параметров, графические зависимости параметров от времени, поля условного вывода текстовых сообщений и битовых изображений, цифровых индикаторов, стрелочных приборов и регуляторов (рис. 10.12).

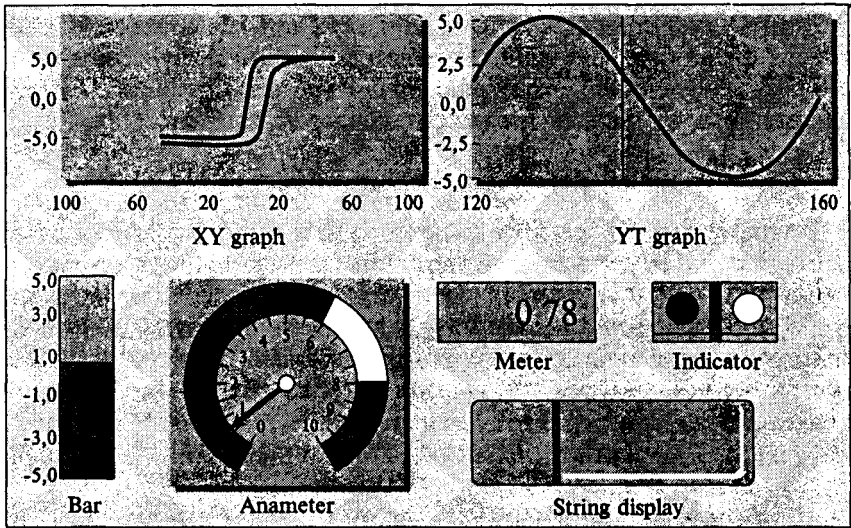


Рис. 10.12. Примеры отображения информации в масштабе реального времени

## Графическое представление данных исторического архива

Информация о ходе контролируемого технологического процесса позволяет принимать оперативные решения, анализировать и прогнозировать его ход. Она может быть получена в виде текущего тренда (графическая зависимость параметра от времени на интервале, предшествующем текущему моменту) и исторического тренда (графическая зависимость параметра от времени в произвольный момент в прошлом).

### 10.13. GENIE. ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

#### Исполнительная среда GENIE (GENIE Runtime)

Исполнительная среда GENIE позволяет выполнять стратегию в режиме реального времени, с осуществлением сбора и обработки данных, сохранения данных на диске, просмотра накоплен-

ных данных и различных операций над данными с использованием стандартных функций GENIE, а также функций, созданных пользователем. Она обеспечивает возможность одновременного выполнения управляющих алгоритмов, заложенных в стратегии, отображения информации на экране монитора в удобной для восприятия форме, построения графиков контролируемых параметров, накопления информации о контролируемом объекте и взаимодействия с несколькими драйверами устройств ввода-вывода. Таким образом, исполнительная среда GENIE предназначена для исполнения стратегии, созданной с помощью редактора задач GENIE.

### **Регистрация системных и аварийных событий**

Подсистема регистрации событий пакета GENIE позволяет проводить непрерывный контроль состояния технологического процесса и системы сбора данных, а также заранее предупреждать о возможных отклонениях в ходе технологического процесса и функционирования аппаратно-программных средств системы. Гибкие возможности конфигурирования пороговых и предельных значений параметров позволяют реализовать многочисленные условия, по которым идентифицируются аварийные и предаварийные ситуации. К ним можно отнести следующие типы уставок аналоговых параметров: верхнее (hi-hi) и нижнее (low-low) пороговые значения, верхнее (high) и нижнее (low) предельные значения. Аварийные значения могут быть отображены, зарегистрированы, сохранены в архиве с добавлением метки времени, а также подтверждены оператором в масштабе реального времени. При этом протокол аварийных событий можно отобразить на экране монитора или вывести на печатающее устройство для получения твердой копии. Отчеты, формируемые с помощью редактора отчетов, могут содержать общее количество аварийных событий за отчетный период, комментарии с описанием аварийных ситуаций, переходные процессы, вызвавшие аварийную ситуацию, а также дату, время и наличие подтверждений восприятия информации об аварийных событиях оператором.

### **Использование графических элементов управления в процессе исполнения стратегии**

Набор элементов управления обеспечивает оператора графическими интуитивно понятными органами управления контролируемым процессом при исполнении стратегии. При этом имеется

возможность использования кнопок, переключателей, движковых и поворотных регуляторов, а также полей счетчиков и других стандартных органов управления Windows для изменения значений переменных, включения/выключения каналов дискретного вывода и выполнения других операций управления. С помощью клавиатуры или мыши можно осуществить активизацию органов управления.

### **ПИД-регулятор**

Встроенный функциональный блок редактора задач «ПИД-регулятор» способствует быстрой реализации алгоритма пропорционально-интегрально-дифференциального управления при регулировании температуры, расхода, уровня и других параметров. Функциональный блок может динамически управлять любой переменной системы.

### **Двухпозиционное дискретное управление**

Алгоритм двухпозиционного управления обеспечивает выдачу одного из двух дискретных управляющих воздействий при попадании значения сигнала обратной связи в заданные пределы вблизи уставки.

### **Связывание и внедрение объектов (OLE Automation)**

Пакет GENIE поддерживает объективную технологию, разработанную корпорацией Microsoft, известную как механизм связывания и внедрения объектов (OLE Automation), что обеспечивает наличие универсального протокола обмена данными с любыми приложениями Windows, способными выполнять функции клиента — сервера OLE. В дальнейшем можно использовать имеющийся OLE-интерфейс GENIE для реализации взаимодействия пакета с драйверами аппаратуры, выполненными с требованиями спецификации OPC (OLE of Process Control — связывание и внедрение объектов для управления процессами).

### **Программируемый блок пользователя (User Programmable Block)**

Программируемый блок пользователя разработан для придания пакету еще большей гибкости и универсальности. Данный функциональный блок может применяться пользователем для

реализации различных логических, вычислительных и условных операций над переменными стратегии посредством создания требуемой алгоритмической процедуры на языке программирования, синтаксис которого подобен принятому в языке Си. В программируемом блоке пользователя реализованы логические и арифметические функции, а также операции формирования временных задержек.

## **Интерфейсы связи**

### ***Многоточечное сетевое взаимодействие***

Сетевые функции GENIE обеспечивают возможность отображения информации о технологических параметрах, собираемой несколькими промышленными компьютерами в пределах отделения, цеха или предприятия, на экране монитора одной рабочей станции автоматизированного рабочего места оператора. Для оперативного контроля территориально-распределенного технологического процесса может использоваться локальная вычислительная сеть IBM PC-совместимых контроллеров и/или промышленных компьютеров. Функциональные блоки редактора задач «Сетевой ввод» и «Сетевой вывод» позволяют передавать данные и сигналы управления между узлами локальной вычислительной сети без непосредственного использования сложного программного интерфейса сетевого обмена операционной системы Windows. Подсистему сетевого взаимодействия, входящую в состав пакета GENIE, можно использовать в сетях, поддерживающих протокол IPX.

### **Динамический обмен данными в масштабе реального времени**

В GENIE поддерживается механизм динамического обмена данными (DDE), который можно применять для передачи данных между GENIE и другими приложениями Windows. С помощью DDE возможно создавать отчеты и сводки произвольной формы для подразделений предприятия, участвующих в управлении, планировании и анализе производственного процесса, путем передачи данных, собираемых GENIE, в системы управления базами данных и в единую автоматизированную систему управления предприятием. С помощью двунаправленного механизма динамического обмена можно осуществлять передачу информации между GENIE и приложениями Windows, подобными Microsoft

Excel, которые могут выполнять функции клиента/сервера DDE. Таким образом, множество специализированных приложений Windows, предназначенных для сложной обработки и графического представления данных, целесообразно использовать совместно с GENIE.

### **Поддержка интерфейса RS-232C**

Функциональный блок RS-232 обеспечивает возможность взаимодействия между компьютером, на котором выполняется стратегия GENIE, и устройствами, подключенными к его последовательному порту. Данные в двоичном или строковом представлении могут передаваться через один из функциональных блоков RS-232 в адрес устройств и приниматься через другой как в ручном, так и в автоматическом режиме.

### **Библиотечный блок пользователя**

Для реализации сложных прикладных алгоритмов и связи с аппаратными средствами, не поддерживаемыми стандартным набором драйверов GENIE, предназначен функциональный блок «Библиотечный блок пользователя» (User Defined DDL), который представляет собой библиотеку динамической компоновки (DDL), разработанную пользователем и включенную в панель инструментов редактора задач GENIE с помощью специальной команды меню построителя стратегии. Примеры исходных текстов указанных библиотек динамической компоновки входят в комплект поставки GENIE.

*Требования к аппаратно-программной платформе:* IBM PC/AT-совместимый ПК с процессором не хуже 1486; объем оперативной памяти не менее 8 Мбайт; объем свободного пространства на жестком диске (НЖД) не менее 100 Мбайт; один накопитель на гибком магнитном диске (НГМД); видеоадаптер и монитор, совместимые с VGA; манипулятор типа «мышь»; рекомендуется наличие арифметического сопроцессора; операционная система DOS версии не ниже 3.3 с графической оболочкой Windows 3.x или операционная система Windows 95. Эти требования необходимы для обеспечения АРМ технолога.

*Поддерживаемые аппаратные средства:* устройства удаленного сбора данных и управления серии ADAM-4000; устройства распределенного сбора данных и управления ADAM-5000; все модули ввода-вывода и платы вспомогательного назначения, производимые фирмой Advantech (Prosoft).

#### 10.14. ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТНО-ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Целесообразно использовать панельные компьютеры серии IPPC-950 с 15" TFT-дисплеем, специально разработанным для построения интерфейсов человек — машина в промышленных условиях. Варианты установки и крепления панельных ПК: настольная подставка; поворотный кронштейн; настенное крепление; монтаж на панель. Особенности конструкции (шасси панельного компьютера выполнено из нержавеющей стали, а экран защищен прочным стеклом) обеспечивают возможность работы IPPC-950 в самых неблагоприятных условиях. Надежная и недорогая архитектура Socket 7 и возможность установки привода СД-РОМ и дополнительного жесткого диска позволяют использовать IPPC-950 для решения широкого круга задач по управлению.

*Технические данные IPPC-950.* Процессор: Pentium MMX до 233 МГц; АМД К5, К6, К611; Cyrix М1, М2. BIOS: Award с поддержкой спецификации Plug and Play. Набор системных микросхем SiS 5582. Кэш-память (2 уровня) объемом 512 кбайт. Память ОЗУ: 1 DIMM — модуль (3,3 В) от 16 до 128 Мбайт (SDRAM). Контроллер EIDE НЖМД: на шине PCI, поддерживает режим bus master; 1-й канал поддерживает 2 устройства, работает в режимах PIO 0 ÷ 4, UDMA 0 ÷ 2; 2-й канал предназначен для подключения привода CD-ROM. Параллельный порт поддерживает режимы SPP/ EPP/ECP, конфигурируется как LPT1...LPT3. Последовательные порты — 4: COM1, 3, 4 — RS-232, COM2 — RS-232/422/485. Сенсорный экран (по заказу): резистивный, контроллер с интерфейсом RS-232, ресурс — 35 миллионов касаний. Контроллер Ethernet: совместим с Novell NE 2000 100.10Base-T. Порты USB — 2. Отсек для платы расширения: допускает установку платы половинного размера с шиной ISA или PCI. Батарея литиевая, 3 В (190 мА). Сторожевой таймер 63-уровневый, при останове программы генерирует сигнал сброса или IRQII.

*ЖК-дисплей.* Размер экрана — 15". Тип дисплея: цветной TFT. Разрешающая способность — 1024 × 768. Яркость — 200 кд/м<sup>2</sup>. Размер пикселя — 0,29 × 0,29 мм. Угол обзора 110°. Видимый размер изображения — 308 × 232 мм. Диапазон рабочих температур: 0 ÷ 50° С. Диапазон температур хранения: -20 ÷ 60° С. Время отклика дисплея 70 мс.

PPC-140T/120T-панельный ПК с 13.8/12,1" TFT-дисплеем на базе процессора Pentium MMX предназначен для пультов управления и построения интерфейсов человек — машина в различных

отраслях, в том числе при производстве продукции пищевой промышленности. Комплексы такого типа имеют широкие функциональные возможности, что позволяет использовать их для решения широкого круга задач.

*Технические данные.* Конструкция: внутри — высокопрочная сталь; снаружи — огнестойкий пластик. Система охлаждения: один вентилятор, обеспечивающий приточную вентиляцию с производительностью 26,88 м<sup>3</sup>/ч. Гнездо для дисководов — место для одного 2,5" НЖМД. Габаритные размеры: 375 × 289 × 93 мм. Масса 5,2 кг. Степень защиты передней панели — IP65. Тип процессора: до Pentium MMX 233 МГц. НЖМД — EIDE-интерфейс (отсек для 2,5" НЖМД). Привод CD-ROM, 24-скоростной. Память ОЗУ объемом до 128 Мбайт CDRAM. НГМД: один 3,5" НГМД 1,44 Мбайт. Контроллер Ethernet совместим с Novell NE2000, 100/10 Base-T. Порты ввода/вывода: 4 последовательных порта, причем — три RS-232 и один RS-232/422/485; 1 параллельный порт; PCMCIA: 2 гнезда Type II или 1 гнездо Type III; 1 порт для подключения PS/2 мыши и один — для подключения клавиатуры; вход микрофона, выход громкоговорителя, линейный вход/выход звука, игровой порт; 2 порта USB. Совмещенный слот ISA/PCI для платы расширения половинного размера.

*ЖК-дисплей.* Модель: PPC-140T и PPC-120T. Тип дисплея TFT (цветной). Разрешающая способность: 1024 × 768 и 800 × 600. Число цветов — 256К. Размеры пиксела: 0,27 × 0,27 и 0,31 × 0,31. Яркость — 200 и 250 кд/м<sup>2</sup>. Угол обзора — 120°. Рабочий диапазон температур 0 ÷ 50°C. Наличие регулировки яркости, одновременного режима. Среднее время наработки на отказ (MTBF) дисплея — 50 000 ч.

*Источник питания.* Выходная мощность — 80 Вт (макс.). Входное напряжение — 85 ÷ 264 В переменного тока частотой 47 ÷ 63 Гц. Выходное напряжение: + 5 В, 12 А; +12 В, 1 А. Нормы безопасности PСС/СЕ класс В.

*Условия эксплуатации.* Диапазон рабочих температур — 0 ÷ 45°C. Относительная влажность — 10 ÷ 95%, без конденсации влаги при 40° С. Удар: максимальное ускорение 10g (длительность — мс). Нормы безопасности соответствуют UL, CSA, CE. Электромагнитная безопасность: FCC/CE/CNS, класс В. Сертификат CE, FCC, класс В.

PPC-100 — панельный ПК с 10.4" TFT/DSTN-дисплеем на базе процессора 586-133. Плоский панельный компьютер, обладающий всеми функциями стандартного персонального компьютера и оснащенный ярким TFT/DSTN-дисплеем с разрешением 640x480 пикселей. Он может устанавливаться на панель, стенку или на настольный поворотный кронштейн. Имеет набор портов

ввода/вывода. НГМД: поддерживает один внешний НГМД 1,2/1,44/2,88 Мбайт. Ethernet: 10 Вазе-Т, NE2000-совместимый. Имеет 4 последовательных порта: три RS-232 и один RS-232/422/485. Один параллельный порт с поддержкой SPP/EPP/ECP. Один порт для подключения PS/2 и один для подключения клавиатуры. Один порт VCA для подключения дисплея.

*Технические данные.* Тип процессора: 586-133 МГц. Память ОЗУ объемом до 32 Мбайт, 1-DIMM-модуль. НЖМД: EIDE — интерфейс (отсек для 2,5" НЖМД). Флэш-память: встроенная 512 кбайт (по заказу). Батарея: литиевая для CMOS. Сто-рожевой таймер: 1,6 с. Корпус: огнестойкий пластик, степень за-щиты передней панели — IP65. Система охлаждения: один венти-лятор с производительностью 26,88 м<sup>3</sup>/ч на задней панели. Габаритные размеры: 342 × 265 × 61 мм. Масса 2,7 кг.

*ЖК-дисплей.* Модель: PPC-100T и PPC-100S. Тип дисплея: 10,4" цветной DSTN. Разрешающая способность 640 × 480. Число цветов: 256 и 64. Размер пиксела: 0,33×0,33. Яркость 250 и 130 кд/м<sup>2</sup>. Угол обзора — 90°. Наличие регулировки контраст-ности. Одновременный режим. Среднее время наработки на отказ (MTBP) дисплея 50 000 ч.

*Источник питания.* Выходная мощность — 50 Вт (макс.). Вход-ное напряжение — 90 ÷ 240 В переменного тока частотой 50/60 Гц. Выходное напряжение: +5 В, 4,5 А; +12 В, 2 А; -12 В, 0,3 А. Среднее время наработки на отказ (MTBP) — 50 000 ч. Нормы безопасности соответствуют UL, CSA, TUV.

*Условия эксплуатации.* Диапазон рабочих температур: 0...45°С. Относительная влажность: 10 ÷ 95% без конденсации влаги при 40°С. Удар: максимальное ускорение 10g (длительность — 11 мс). Электромагнитная безопасность: FCC, класс В. Сертификат CE.

## 10.15. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАБОЧИЕ СТАНЦИИ

По сравнению с традиционными операторскими пультами ра-бочие станции, безусловно, являются шагом вперед по мощности, производительности и разрешающей способности. Они позволяют:

- автоматически передавать данные как оператору, так и от оператора;
- хранить и анализировать информацию;
- представлять информацию в удобном формате;
- предоставлять возможность оператору непосредственно управлять производственным процессом;



- сокращать издержки производства, увеличивать производительность труда и эффективность управления технологическим процессом;

- самостоятельно управлять технологическим процессом.

Рабочие станции заменяют сложно монтируемые пульты управления, обеспечивая значительное увеличение гибкости производства. Ход процессов управления отображается в графическом виде, позволяя оценить состояние системы с одного взгляда. Рабочие станции обеспечивают безопасность, реагируя на определенные ситуации подачей многократных сигналов тревоги. Сигналы тревоги могут быть поданы быстро с помощью графики и автоматических сообщений оператору. Рабочая станция может быть полезным средством для сокращения времени простоев предприятия до минимума.

Информация с различных этапов технологического процесса может быть отображена в реальном времени, сохранена или сделана доступной для управления через сеть. Рабочая станция может организовать взаимодействие с любым оборудованием, от ПЛК до универсальных вычислительных машин.

**AWS-825B — промышленная рабочая станция с монитором на 15" ЭЛТ и объединенной платой со слотами PCI**

Станция предназначена для использования в жестких промышленных условиях и представляет собой 15" монитор с ЭЛТ с низким уровнем электромагнитного излучения, шасси промышленного компьютера и полнофункциональную защищенную клавиатуру, конструктивно объединенные в один прочный компактный блок. Конструкция корпуса рабочей станции позволяет устанавливать ее на 19" стойку или на панель. Объединенная плата с 8 слотами ISA/PCI, источник питания, НГМД и НЖМД установлены в специальном выдвижном отсеке для облегчения сборки и обслуживания. Рабочая станция может также оснащаться сенсорным экраном.

### *Технические данные*

*Лицевая панель:* алюминиевая, степень защиты соответствует NEMA4 или IP65. Отсек для дисководов содержит один 3,5" НГМД, один 3,5" НЖМД и один малогабаритный CD-ROM (CD-ROM и НЖМД устанавливаются по заказу). *Система охлаждения:* вентилятор с производительностью 54 м<sup>3</sup>/ч на источнике питания, вентилятор с производительностью 48,72 м<sup>3</sup>/ч для монитора и вентилятор с производительностью 60 м<sup>3</sup>/ч для выдвижного отсека. *Мембранные клавиатуры:* одна с 39 клавишами для ввода данных, одна с 10 функциональными и 10 программируе-

мыми функциональными клавишами макрокоманд. *Соединитель клавиатуры*: 5-контактный соединитель типа DIN на лицевой и задней панелях. *Выключатели*: питание и RESET. *Индикаторы*: светодиод включения питания, светодиод доступа к НЖМД. *Сенсорный экран* (по заказу): аналоговый резистивный с контроллером, установленным на системной магистрали, ресурс 35 млн касаний. Диапазон рабочих температур  $0 + 50^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность:  $5 \div 85\%$  при  $50^{\circ}\text{C}$  без конденсации влаги. Диапазон температур хранения:  $-40 + 60^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность (в нерабочем состоянии):  $5...95\%$  без конденсации влаги. Габаритные размеры:  $485 \times 450 \times 356$  мм. Масса — 38 кг. Вибрация (в рабочем состоянии): смещение с двойной амплитудой в диапазоне  $5 \div 17$  Гц и 1 g в диапазоне  $17 + 500$  Гц.

*Нормы безопасности*: CE, FCC, BCIQ, CUL

*Пассивная объединенная плата PCA-6107P2*: 4 ISA, 2PCI, 1 CPU-слот. HCF-6108C: S ISA-слотов.

*Дисплей*. Размер: 15" по диагонали. Максимальная разрешающая способность:  $1280 \times 1024$ . Размер точки — 0,28 мм. Частота развертки по горизонтали: 30...60 кГц. Частота развертки по вертикали — 44...100 Гц построчная развертка. Соответствует MPR II. Размагничивание при включении питания. Цифровая подстройка параметров видеоизображения на задней панели.

*Источник питания* с входом переменного тока, выходная мощность — 260 Вт. Входное напряжение — 85—130 В переменного тока или 180—260 В переменного тока, диапазон переключаемый. Выходное напряжение: +5 В, 25 А; +12 В, 9 А; -5 В, 0,5 А; -12 В, 2 А. Средняя наработка на отказ — 100 000 ч. Нормы безопасности: UL/CSA /TUV.

**AWS-842 — промышленная рабочая станция с 10,4" ЖК-дисплеем и объединительной платой с шиной PCI**

Представляет собой промышленную рабочую станцию с ярким цветным DSTN или TFT-дисплеем (диагональ 10,4", разрешение  $640 \times 480$  пикселей), специально разработанную для применения в промышленных условиях. Конструкция корпуса рабочей станции позволяет устанавливать ее на 19" стойку или на панель. Эта станция может поставляться с объединительной платой с 8 слотами ISA или ISA/PCI.

### *Технические данные*

*Лицевая панель*: алюминиевая, степень защиты соответствует NEMA 4 или IP65. *Конструкция*: высокопрочное шасси из нержавеющей стали. Отсек для дисководов содержит один малога-

баритный 3,5" НГМД, один 3,5" НЖМД и один малогабаритный CD-ROM (CD-ROM и НЖМД устанавливаются по заказу). Видеоплата: PCA-6653 (ISA) с видеопамятью в 1 Мбайт на плате и БИС CHIPS 65545 с одновременной поддержкой ЭЛТ и плоских панелей. Система охлаждения: один вентилятор на задней панели с производительностью 82 м<sup>3</sup>/ч и источник питания. Мембранные клавиатуры: одна с 60 клавишами для ввода данных, одна с 10 функциональными и 10 программируемыми функциональными клавишами макрокоманд. Соединитель клавиатуры: 5-контактный соединитель типа DIN с пыленепроницаемой заглушкой. Индикаторы: светодиоды включения питания и доступа к НЖМД. Сенсорный экран (по заказу): аналоговый резистивный с контроллером, подключенным через порт RS-232, ресурс — 35 млн касаний. Диапазон рабочих температур — 0 ÷ 50° С. Относительная влажность — 5 ÷ 85% при 50° С без конденсации влаги. Диапазон температур хранения — -40 ÷ +60°С. Относительная влажность (в нерабочем состоянии): 5 ÷ 95% без конденсации влаги. Габаритные размеры: 482 × 307 × 266 мм. Масса — 15 кг. Нормы безопасности: UL/CSA/TUV, CE, FCC, BCIQ.

*Пассивные объединительные платы.* PCA-6108P3: 4ISA, 3PCI, ICPU-слот. PCA-6108C: 5 ISA-слотов.

*Источник питания* с входом переменного тока, выходная мощность — 260 Вт (стандартное исполнение). Входное напряжение: 85 ÷ 130 В постоянного тока или 180 ÷ 260 В переменного тока, частота 47 ÷ 63 Гц, диапазон напряжений переключаемый. Выходное напряжение: +5 В, 25 А; +12 В, 10 А; -5 В, 1,0 А; -12 В, 5 А. Средняя наработка на отказ: 50 000 ч. Нормы безопасности: UL /CSA /TUV.

*Источник питания* с входом 24 В постоянного тока, выходная мощность (номинальная) 250 Вт. Входное напряжение — +19...32 В постоянного тока. Выходные напряжения — +5 В, 25 А; +12 В, 10 А; -5 В, 1,0 А; -12 В, 1,0 А. Средняя наработка на отказ 100 000 ч. Нормы безопасности: UL/CSA /TUV.

**МІРС-50СТ** — малогабаритная рабочая станция с 10,4" ЖК-дисплеем, выполненная в виде компактного блока, отвечает всем требованиям промышленного человеко-машинного интерфейса. Станция допускает возможность установки до 4 плат расширения половинного размера с шиной ISA и имеет глубину всего 151 мм, что позволяет встраивать ее в самое разнообразное оборудование. МІРС-50СТ может также оснащаться сенсорным экраном и устанавливаться на транспортных средствах, обеспечивая полнофункциональный человеко-машинный интерфейс.

## Технические данные

*Лицевая панель:* алюминиевая, степень защиты соответствует NEMA4 или IP65. Отсек для дисководов содержит один 3,5" НГМД и один 3,5" НЖМД, который устанавливается по заказу. Система охлаждения: один вентилятор на задней панели с производительностью 60 м<sup>3</sup>/ч. Слоты расширения: 4 ISA-слота. Диапазон рабочих температур 0 ÷ 50° С. Относительная влажность 10 ÷ 95% при 40° С, без конденсации влаги. Габаритные размеры 344 × 260 × 152 мм. Масса 7,5 кг. Вибрация: смещение с двойной амплитудой 2,54 мм в диапазоне частот 5 ÷ 17 Гц и 1,5g в диапазоне 17 ÷ 500 Гц. Соответствует требованиям CE.

*Источник питания.* Выходная мощность 65 Вт. Входное напряжение — 85 ÷ 132 В постоянного тока или 180 ÷ 264 В переменного тока частотой 50/60 Гц, автоматический выбор диапазона. Выходные напряжения: +5 В, 5 А; +12 В, 1,7 А; -5 В, 0,5 А; -12 В, 1А. Средняя наработка на отказ 50000 ч. Нормы безопасности: UL/CSA /TUV. Электромагнитная безопасность: FCC /VDE, класс А.

*ЖК-дисплей.* Тип дисплея: 10,4" цветной TFT. Максимальная разрешающая способность: 640 × 480. Максимальное количество цветов — 256. Размер точки растра — 0,33 × 0,33 мм. Яркость — 250 кд/м<sup>2</sup>. Угол обзора — 90°. Рабочий диапазон температур 0 ÷ 50° С. Среднее время наработки на отказ: 50 000 ч. Среднее время наработки на отказ системы заданной подсветки 20 000 ч. Видеоплата: с шиной ISA (PCA-6653) с ОЗУ 1 Мбайт, БИС 65545 поддерживает одновременно дисплей на ЭЛТ и плоских панелей.

*Сенсорный экран* (по заказу). Тип аналоговый резистивный с непрерывным разрешением. Передача света — 75%. Контроллер RS-232 интерфейс. Потребляемая мощность — +5 В 200 мА. Программный драйвер — поддержка DOS, Windows 3.1/95/NT.

MIPС-50СТ-Т — это MIPС-50СТ с сенсорным экраном (RS-232 интерфейс).

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Серия устройств системы удаленного сбора данных и управления ADAM-4000.
2. Одноканальные и многоканальные модули аналогового ввода/вывода ADAM-4000.
3. Многоточечные сети на базе модулей серии ADAM-4000.
4. Средства связи и преобразования сигналов для модулей серии ADAM-4000.

5. Программирование и программное обеспечение устройств серии ADAM-4000.
6. Технические характеристики модулей серии ADAM-4000.
7. Серия устройств системы распределенного сбора данных и управления ADAM-5000.
8. Модули сбора данных и управления серии ADAM-5000.
9. Формирование сетей сбора данных и управления для серии ADAM-5000.
10. Средства связи и программирования устройств серии ADAM-5000.
11. Устройства связи с объектом на основе промышленной шины CAN.
12. Программное обеспечение для Windows устройств серии ADAM-5000.
13. Технические характеристики модулей серии ADAM-5000.
14. Прикладное программное обеспечение сбора данных и управления для устройств серий ADAM.
15. Формы представления данных о контролируемом процессе.
16. GENIE. Элементы управления технологическим процессом.
17. Аппаратно-программное обеспечение систем управления технологическими процессами. АРМ технолога.
18. Промышленные рабочие станции.
19. Что является основой всех систем управления?
20. Что включают в понятие «информация» при управлении производством?
21. Как необходимо рассматривать информацию, циркулирующую на предприятии, при построении систем управления ТП?
22. Поясните назначение основных элементов структурной схемы модуля аналогового ввода серии ADAM-4000.
23. Как осуществляется расширение сети на основе применения модулей ADAM?
24. Что представляет собой универсальный протокол обмена?
25. Какие языки программирования можно использовать для создания прикладных программ, взаимодействующих с модулями серии ADAM-4000?
26. Каково назначение сервисной программы, входящей в комплект поставки модулей серии ADAM?
27. Для чего используется сервер, специально разработанный для устройств серии ADAM?
28. Каковы основные функции устройств распределенного сбора данных и управления ADAM-5000?
29. Что представляют собой изделия серии ADAM-5000?
30. Что содержит блок процессора ADAM-5000?
31. Каковы функциональные возможности ПЛК серии ADAM-5510?
32. Каковы возможности расширения сети на базе ADAM-5000/CAN?
33. Особенности и разрешающая способность пакета разработки GENIE.

## Глава 11. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Определяющим фактором эффективной деятельности предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности является *стандартное качество* производимой ими продукции.

**Под качеством пищевого продукта следует понимать совокупность биологических, пищевых и технологических свойств и признаков, определяющих пригодность его к потреблению.**

Согласно ГОСТ 15467 под качеством продукции понимают совокупность свойств, составляющих качество, а также способность продукции удовлетворять потребности в соответствии с ее назначением.

Качество — понятие объективное и не изменяется от правильности или ошибочности его оценки. Показатель качества продукции — это количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество.

Для достижения оптимального качества продукции необходимо обеспечить наиболее благоприятное соотношение факторов и условий, его определяющих. Эти факторы можно подразделить на субъективные и объективные.

К *субъективным* факторам относят группу факторов, обусловленных производственной деятельностью человека. Они зависят от квалификации и способности людей к выполнению производственных функций, определяющих качество продукции посредством качественного труда. К ним относятся: профессиональное мастерство, общеобразовательный уровень, психологический склад человека, личная заинтересованность в результатах труда.

К *объективным* факторам следует отнести: технический уровень производства, уровень механизации и автоматизации производства, организация подготовки производства для выпуска новой продукции, создание технологий и средств объективного контроля, метрологическое обеспечение предприятия, технический уровень эксплуатационной базы, степень стандартизации и т. д.

Решение проблемы повышения качества продуктов питания требует дальнейшего совершенствования и обеспечения достоверности получения информации средствами измерений, систе-

мами контроля и управления параметрами технологических процессов производства. При этом основной задачей является предотвращение технологического брака в процессе формирования качества продукции. Для этого необходимо объективно и достоверно оценивать ее качество в ходе производства и хранения.

Это возможно на основе сбора, обработки, анализа и хранения информации о состоянии контролируемого объекта (продукта) при качественном метрологическом обеспечении.

### **11.1. ОРГАНИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Метрологический надзор во всех отраслях хозяйства страны, в том числе системы Министерства пищевой промышленности, осуществляет Единая метрологическая служба России, состоящая из Государственной метрологической службы Госстандарта России и ведомственных метрологических служб министерств и ведомств. Нормативным документом является МИ 2357—95 «ГСИ. Порядок разработки и реализации программ метрологического обеспечения отраслей народного хозяйства, важнейших научно-технических проблем». Научно-методическое руководство метрологической службой предприятия, объединения и министерства осуществляет Российский научно-исследовательский институт метрологии и стандартизации (РНИИМС).

Основным средством получения информации о состоянии контролируемого объекта являются измерения, качество которых зависит от точности используемых измерительных средств и уровня их метрологического обеспечения (МО).

Индикатором эффективности контроля и управления качеством продуктов питания являются достоверность измерительной информации и качество МО.

Структура и функции измерительных средств однозначно согласованы, но измерительная функция является определяющей. Информационные функции, связанные с отображением результатов измерений, рассматриваются как вспомогательные.

Качество измерительной информации определяется ее основными свойствами: оперативностью, полнотой, точностью, достоверностью и сопоставимостью.

Метрологическое обеспечение измерений — это комплекс нормативно-технических документов, устанавливающих правила и положения, относящиеся к обеспечению точности измерений.

На основании постановлений Правительства СССР «О мерах по коренному повышению качества продукции» от 12.05.86 г., «Об административной ответственности за нарушения правил метрологии и стандартизации» от 18.04.86 г. и других решений значительно повысилась ответственность руководителей предприятий пищевой промышленности за качество выпускаемой продукции, ее сертификацию.

МО измерительных средств, систем контроля и управления параметрами технологических процессов пищевых производств требуют непрерывного совершенствования и развития метрологии, метрологического обеспечения ее технической и нормативной базы на предприятиях и объединениях.

### **Технические основы МО предприятия**

1. Система государственных эталонов.
2. Обязательные государственные испытания измерительных средств.
3. Система государственной поверки и аттестации измерительных средств.
4. Система передачи размеров физических величин от эталонов к рабочим измерительным средствам с использованием поверочных схем.
5. Система стандартных образцов состава и свойств вещества и материалов.

### **Нормативные задачи МО предприятия, ее метрологической службы**

1. Анализ состояния измерительной базы на предприятии, разработка на ее основе мероприятий по совершенствованию МО измерений. Участие в разработке и выполнение заданий, предусмотренных программами МО объединения и отрасли.
2. Установление рациональной номенклатуры измерительных параметров и определенных норм точности на данном предприятии.
3. Обеспечение единства и требуемой точности измерений, а также повышение уровня МО на предприятии.
4. Внедрение государственных и отраслевых стандартов, разработка стандартов предприятия (СТП) и других документов по вопросам МО.
5. Разработка и внедрение (по рекомендации РНИИМС) специальных измерительных средств и методик проведения измерений.



6. Проведение метрологической экспертизы нормативно-технической документации.

7. Поверка и метрологическая аттестация (МА) измерительных средств.

8. Аттестация методик проведения измерений.

9. Контроль за производством, состоянием и ремонтом измерительных средств, а также совершенствованием метрологической службы предприятия.

10. Участие в аттестации продукции на знак качества (сертификация).

Применяемые средства испытаний, измерений, контроля и управления, а также методики их проведения должны подлежать поверке и соответствовать нормативно-технической документации по МО.

Поверкой средства измерений называется совокупность действий, выполняемых для определения и оценки погрешностей измерительного средства с целью выявить, соответствует ли их точностные характеристики регламентированным значениям и пригодно ли измерительное средство к применению.

**Вид поверки определяется в зависимости от того:**

- какой метрологической службой она проводится (государственная или ведомственная);
- на каком этапе работы измерительного средства ее нужно проводить (первичная, периодическая, внеочередная);
- каков у нее характер (инспекционная, экспертная).

Организацию и проведение поверки измерительного средства регламентируют ГОСТ 8.002—86 и ГОСТ 8.153—84, ПР 50.2.006—94 «ГСИ. Порядок проведения поверки измерительного средства».

**Государственной поверке подлежат измерительные средства:**

а) применяемые в качестве исходных образцовых при проведении государственных испытаний и метрологической аттестации, при градуировке и поверке на предприятиях (организациях);

б) рабочие измерительные средства — для измерений при учете материальных ценностей, топливно-энергетических ресурсов, при экспертных измерениях по требованию судебных и следственных органов, государственного арбитража и органов контроля по заявлениям предприятий (организаций).

Ведомственной поверке подлежат измерительные средства, предназначенные для выполнения измерений, не указанных в перечне измерительных средств, подлежащих обязательной государственной поверке, например средства контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, приборы и оборудо-

вание при проведении биофизических и биохимических анализов и др.

Первичную поверку проводят при выпуске измерительных средств из производства и после ремонта. Она бывает государственной и ведомственной.

Периодическую поверку измерительных средств проводят при их эксплуатации и хранении через определенные межповерочные интервалы, установленные при проведении их государственных приемочных испытаний или при метрологической аттестации на основе показателей надежности для обеспечения соответствия метрологических характеристик нормированным значениям за период между поверками. Межповерочные интервалы для измерительных средств, подлежащих обязательной государственной поверке, устанавливаются Госстандартом.

Внеочередную поверку проводят при эксплуатации и хранении измерительных средств вне зависимости от сроков и периодической поверки. Осуществляют ее органы государственной и ведомственной метрологических служб при повреждении поверительного клейма, пломбы или при утере документов, подтверждающих прохождение измерительным средством периодической или первичной поверки; вводе измерительного средства в эксплуатацию после длительного хранения, в течение которого оно не подвергалось периодической поверке, чтобы удостовериться в его исправности.

Экспертную поверку проводят органы государственной метрологической службы при метрологической экспертизе измерений по требованию суда, прокуратуры, милиции, государственного арбитража, органов контроля, по письменному заявлению предприятия, а также отдельных граждан при возникновении спорных вопросов.

Инспекционную поверку проводят при осуществлении на предприятиях метрологического контроля за состоянием и применением измерительных средств для установления их исправности, правильности результатов последней поверки, соответствия принятых межповерочных интервалов условиям эксплуатации.

### **Порядок составления графиков поверки измерительных средств**

1. График составляется в соответствии с требованиями ГОСТ 8.513—84.

2. Межповерочные интервалы измерительных средств, не вошедших в перечни ГОСТ 8.002—86, определяются предприятием

в зависимости от условий и интенсивности их эксплуатации с учетом их постоянной готовности.

3. На предприятии составляется график проверки по всем видам измерений, в графике указываются также измерительные средства, не обеспеченные поверкой или поверяемые другими организациями Госстандарта.

4. Предприятия, организации и институты согласовывают эти графики с лабораторией государственного надзора (ЛГН) или центральной станцией метрологии (ЦСМ).

5. Согласование графиков на предстоящий год проводится с 16 ноября по 15 января.

6. Графики составляются в двух экземплярах.

### **Поверочные схемы**

Создание и реализацию поверочных схем регламентирует ГОСТ 8.061—80. Поверочная схема — это утвержденный в установленном порядке документ, реализующий средства, методы и точность передачи размера единиц физических величин от государственного эталона или исходного образцового измерительного средства рабочим измерительным средствам. Роль поверочных схем в МО выходит за рамки их законодательного аспекта, поэтому поверочную схему необходимо рассматривать как:

— отражение научного и технического потенциала метрологии в измерительной технике;

— один из главных объектов метрологии, так как разработка и реализация поверочных схем — одна из главных функций метрологической службы;

— руководящий принцип организации и управления деятельностью метрологической службы.

Различают государственные, ведомственные и локальные поверочные схемы органов государственной или ведомственной метрологической службы.

Поверочные схемы оформляют в виде чертежа, дополняя его текстовой частью, в которой указывают наименование измерительного средства и метода поверки, номинальные значения или диапазоны значений физических величин, точность измерительных средств и методов поверки. Чертеж состоит из полей, расположенных друг над другом и разделенных штриховыми линиями, число которых зависит от структуры поверочной схемы. Поля должны иметь наименования, указываемые в левой части чертежа, отделенной вертикальной чертой.

Погрешности эталонов характеризуют в соответствии с требованиями ГОСТ 8.057—80, погрешности образцовых измерительных

средств — пределами допускаемой погрешности измерительного средства при соответствующей доверительной вероятности 0,90, 0,95 и 0,99; метрологические характеристики, в частности, погрешности рабочих измерительных средств, устанавливают в соответствии с ГОСТ 8.009—84.

В поверочных схемах наименования измерительных средств, их номинальные значения или диапазоны значений физических величин и погрешности соответствуют: для эталонов требованиям ГОСТ 8.372—80; для образцовых измерительных средств — государственным стандартом на технические требования или свидетельству об их метрологической аттестации; для рабочих измерительных средств — государственным стандартом на технические требования к этим средствам. Наименования и обозначения физических величин и их единиц указывают в соответствии с ГОСТ 8.417—81. На поверочной схеме также указывают один из методов поверки измерительного средства: непосредственное сличение или сличение при помощи компаратора или других средств сравнения; прямые или косвенные измерения.

На чертеже поверочной схемы наименование государственного эталона заключают в прямоугольник, образованный двойной линией, а вторичные эталоны, образцовые и рабочие измерительные средства — в прямоугольники, образованные одинарной линией. Наименования методов поверки помещают в горизонтальные овалы между наименованиями поверяемого и образцового измерительных средств. Форма чертежа поверочной схемы должна соответствовать требованиям ГОСТ 8.301—68. Пример оформления элементов поверочной схемы приведен на рис. 11.1.

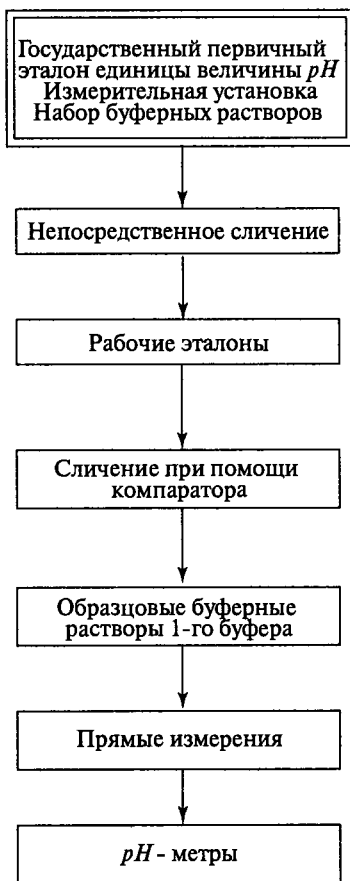


Рис. 11.1. Фрагмент общегосударственной поверочной схемы для средств измерений величины  $pH$

## 11.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОВЕРОЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВЕДОМСТВЕННЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ

Организация поверочных подразделений Министерства пищевой промышленности построена по ведомственному принципу «отрасль — объединение (корпорация) — предприятие».

Поверочные подразделения на предприятии создаются в составе метрологической службы предприятия, если технико-экономически целесообразно обеспечить поверку всей или части номенклатуры измерительных средств, подлежащих ведомственной поверке:

- Соотношения финансовых затрат предприятия (организации) на проведение поверки измерительных средств в органах Госстандарта и на создание и содержание поверочных подразделений метрологической службы предприятия соизмеримы.

- Должна быть обеспечена требуемая оперативность поверки измерительных средств.

- Существуют реальные возможности обеспечения поверочных подразделений метрологической службы помещением, образцовым и поверочным оборудованием.

- Проведение работ по обеспечению контроля правильности выполнения контрольно-измерительных операций на данном производстве необходимо.

Численность поверителей определяется исходя из номенклатуры и количества применяемых на предприятии измерительных средств, подлежащих ведомственной поверке, пригодности их поверке и среднегодовых норм времени на поверку одного измерительного средства.

Порядок расчета потребности подразделений поверки измерительных средств в основных производственных ресурсах устанавливает МИ 670—84, которая включает следующие методики расчета:

- требуемого для поверочного подразделения числа рабочих мест;

- срока пребывания в подразделении поверочных измерительных средств;

- производственных площадей поверочного подразделения;

- технико-экономическое обоснование вариантов оснащения поверочного подразделения производственными ресурсами, а также созданием в нем новых рабочих мест.

Поверка конкретных измерительных средств должна выполняться на основании нормативно-технической документации на методы и средства поверки этих измерительных средств. На рис. 11.2 приведен обобщенный алгоритм операции поверки, а на рис. 11.3 — алгоритм проведения поверки.

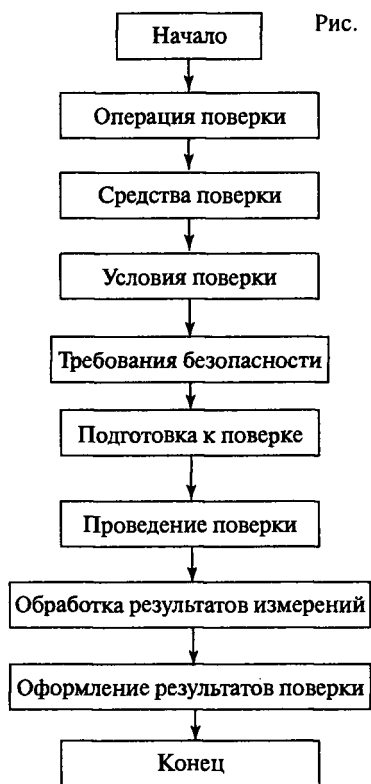


Рис. 11.2. Обобщенный алгоритм поверки измерительных средств

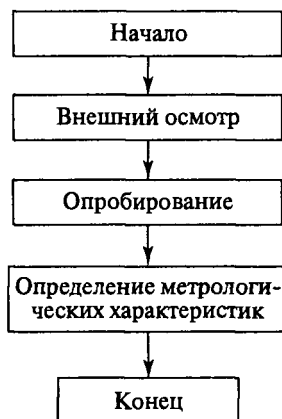


Рис. 11.3. Алгоритм проведения поверки

### Автоматизация МО измерительных средств пищевых производств

Широкое внедрение вычислительной техники в производственную и хозяйственную деятельность человека обуславливает ее применение в метрологическом обеспечении измерительных средств, систем контроля и управления на пищевых производствах.

Решение задач с использованием МП и ЭВМ (ПЭВМ) должно включать следующие этапы:

1. Формализация условий задачи.
2. Выбор метода решения.
3. Выбор способа решения задачи (составление алгоритма).

Алгоритм решения задачи можно осуществить тремя способами:

- а) дать словесно-формулирующее описание;
- б) построить схему;
- в) написать программу.

## Автоматизация метрологических работ

Применение программно-метрологического комплекса при автоматизации метрологических работ и задачи по МО можно подразделить:

- на аналитические;
- по обработке информации программно-метрологическим комплексом;
- по обработке данных по служебным обязанностям исполнителя на ПЭВМ;
- по обработке данных по всем основным показателям МО предприятия на ЭВМ.

### Информационная модель МО

*Информационная модель* — это информационное отображение процесса или объекта при помощи его показателей. Эти показатели отображают оригинал посредством символов.

В основе информационной модели процессов МО лежат структура и содержание документов, которые применяются при оформлении работ по МО согласно действующим нормативно-техническим документам.

Для автоматизации управления МО требуется объединить в единую информационную базу документы, составляющие основу деятельности метрологической службы. Для этого необходимо:

- проанализировать и отобрать документы и показатели МО;
- формализовать показатели работ по МО, т. е. упорядочить их в виде формул и матриц ранжирования;
- установить терминологию для показателей по МО;
- составить словарь данных для документов по МО и их реквизитов.

Состояние системы МО можно оценить:

- 1) по характеристикам состояния системы (относительная и номинальная оценки);
- 2) по виду состояния системы (фактическая и нормативная);
- 3) по степени оценки состояния (единичная и комплексная).

Единичная оценка состояния системы (относительный показатель).

Единичный показатель качества системы МО  $r_{ki}$  определяется как:

$$r_{ki} = x_{fi} / x_{pi}, \quad (11.1)$$

где  $x_{fi}$  — фактическое значение  $i$ -показателя;  $x_{pi}$  — значение регламентирующего показателя в нормативно-технических документах.

$$x_{ji} = x_{pi} / x_{bi}, \quad (11.2)$$

где  $x_{bi}$  — величина показателя, соответствующая базисному значению.

### Комплексный показатель качества системы МО

$$R = \sum r_i w_i, \quad (11.3)$$

где  $w_i$  — коэффициент весомости показателя  $r_i$ .

### Реализация алгоритма оценки качества системы МО

Для анализа путей совершенствования системы МО необходимо ввести качественную оценку каждого показателя — указанием, как правило, не менее трех уровней: низкий (н); средний (с); высокий (в).

Наполнение каждого уровня интерпретируется в соответствии с содержанием решаемой задачи, причем наиболее целесообразно разбиение  $N = 7$ . Показатель матрицы предпочтительности или ряд единичных показателей определяет  $i$ -показатель качества.

*Низкий уровень* организации метрологической службы — это отсутствие утвержденного в стандарте предприятия (СТП) регламента работ по данному виду деятельности метрологической службы, закрепленному в ГОСТ, ОСТ или РД.

*Средний уровень* — регламент работ по данному виду деятельности закреплен в СТП.

*Высокий уровень* (средний уровень +) — проведена и утверждена оценка экономической эффективности работ по данному виду.

Следующим этапом после детализации и укрупнения показателей работ МО является проведение их ранжирования, путем применения формул и составления матриц ранжирования.

## 11.3. ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Управление объектом* — это целенаправленное воздействие на него. Объектом управления на пищевом предприятии является обеспечение качества (сертификата) готовых изделий.

*Качество продукции* — это такой признак готовой продукции, который отражает ее способность удовлетворять общественные потребности согласно ее назначению.

*Управление качеством продукции* — это действие, осуществляемое при создании, эксплуатации, потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.



Цель управления формируется в виде достижения совпадения признаков и свойств объекта с признаками и свойствами допустимой или плановой его модели.

Система управления объекта включает систему контроля и систему обратной связи.

#### Этапы подготовки оптимального управляющего решения

1. Проблемный этап — выявление объективных показателей системы, имеющих несоответствие с плановыми.

2. Причинный этап — выявление источников и условий несоответствия.

3. Формализация решения — нахождение логической взаимосвязи между плановыми и фактическими показателями системы.

4. Ранжирование — нахождение весовых коэффициентов отдельных показателей системы.

5. Упрощение и расчет — укрупненные расчеты уровня МО.

6. Стимулирование — установление материального поощрения за достижение оптимального уровня показателей системы.

7. Оптимальность — оценка уровня эффекта при располагаемых средствах, или получение максимального эффекта при минимальных затратах.

*Формула ранжирования* — расположение в порядке убывания веса (весомости), комплексных и единичных показателей качества:

РД	СТП	МЭ	МВИ	НСИ	Поверка	Ремонт
1	2	3	4	5	6	7
1	2	6	7	4	5	3

На основе формулы ранжирования составляется матрица ранжирования, в которой порядок чередования строк определяется весом наименьших показателей, а порядок чередования граф, столбцов — весом единичных показателей. Пример матрицы ранжирования приведен на рис. 11.4, а матрицы фактического состояния — на рис. 11.5.

В матрице фактического состояния отражается состояние работ по каждому показателю, зафиксированному в матрице ранжирования путем проставления соответствующего индекса.

#### Расчетный алгоритм определения метрологических работ

$$r_{ki} = 1 - (k_{mi} \sum W_{Hi} + k_{ci} \sum W_{ci}); \quad (11.4)$$

$$R_i^1 = r_i^1 w_i \quad R_i^0 = r_i^1 \sum W_{ci}; \quad (11.5)$$

$$K_{Hi} = r_i k_{ci} \quad K_{ci} = \frac{1}{2} \sum W_{ci} + \sum W_{Hi}, \quad (11.6)$$

1,2	1,4	1,1	1,3	1,7	1,5	1,6
2,4	2,5	2,7	2,3	2,6	2,1	2,2
6,1	6,5	6,6	и	т.	д.	
7,4	7,5	7,6	д.			
4,2	4,4	4,3	т.			
5,3	5,1	5,4	и			
3,3	3,2	3,4				

Рис. 11.4. Матрица ранжирования

С	С	С	С	С	С	С
С	С	Н	Н	С	С	Н
С	С	Н	С	Н	Н	С
Н	С	С	С	С	С	С
С	С	С	Н	С	С	С
Н	С	С	Н	С	С	Н
Н	Н	С	С	С	С	С

Рис. 11.5. Матрица фактического состояния

где  $r_i$  — количественная оценка  $i$ -го укрупненного показателя качества;  $\sum W_{hi}$  — сумма весовых коэффициентов показателей низкого уровня  $i$ -го укрупненного показателя;  $\sum W_{ci}$  — сумма весовых коэффициентов показателей среднего уровня  $i$ -го укрупненного показателя;  $K_{hi}$ ,  $K_{ci}$  — коэффициенты, обеспечивающие выполнение графических условий.

Все показатели низкого уровня  $r_i = 0$ . Все показатели среднего уровня равны 0,5. Все показатели высшего уровня равны 1,0.

Для нахождения величин  $\sum W_{hi}$ ,  $\sum W_{ci}$  составляются матрицы оценки.

### Использование ПЭВМ в МО предприятия

*Автоматизация учета и контроля состояния измерительных средств на предприятии.* Для информационного обеспечения процесса контроля состояния измерительных средств необходимо знать:

- учетный и заводской номер изделия;
- наименование изделия;
- его основные технические и метрологические параметры;
- наименование завода-изготовителя;
- месяц и год изготовления;
- дату приобретения;
- дату ввода в эксплуатацию;
- стоимость;
- содержание драгоценных металлов;
- категорию изделия;
- дату выдачи абоненту;

- фамилию абонента;
- дату поверки;
- результаты поверки;
- срок очередной поверки.

**Пример.** На 5 тыс. измерительных средств должна быть в наличии:

- сводная ведомость измерительных средств в порядке возрастания учетных номеров — 2600 шт. (поквартально);
- сводная ведомость измерительных средств по типам — 3000 шт. (ежеквартально);
- инвентаризационная ведомость (1 раз в год) — 2000 шт.;
- инвентаризационная ведомость драгоценных металлов — 3000 шт.;
- сводная ведомость вывоза на поверку (ежемесячно) — 1000 шт.;
- сводная ведомость измерительных средств вызова на поверку по типам (ежемесячно) — 1000 шт.;
- извещение о сроках поверки (ежемесячно) — 200 шт.;
- годовой план поверочных работ (1 раз в год) — 1000 шт.;
- сводная ведомость измерительных средств по подразделениям — 1200 шт.

#### **11.4. СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ МО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

Информационная база МО ИС создается на основе МИ 646—84 «Методические указания ГСП», а типовые проектирования по созданию автоматизированных систем управления МО предприятий и организаций — на основе МИ 2266—93 «ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Создание и использование баз данных о метрологических характеристиках измерительных средств».

Основная задача — снижение трудоемкости обработки информации, повышение производительности труда работников метрологических служб и т. д.

Оперативная информация о наличии измерительных средств на рабочих местах и их метрологические характеристики должны обеспечить учет наличия всех измерительных средств на предприятии, в отделениях, подразделениях, по видам измерений. Осуществляют:

- учет ввода в эксплуатацию и списание измерительных средств;
- учет измерительных средств по признаку текущего состояния;

- учет измерительных средств по техническим характеристикам и областям применения;
- учет содержания драгоценных металлов в измерительных средствах;
- анализ состояния измерительных средств по результатам поверки.

Основой создания информационной базы МО ИС являются:

1. Определение и подбор источников входной информации.
2. Анализ и выбор всеобъемлющего перечня реквизитов измерительных средств.
3. Разработка формы машинных документов, содержащих полный перечень реквизитов измерительных средств.
4. Разработка инструкций по заполнению машинно-оперативного документа.
5. Разработка инструкций по переносу данных с машинно-оперативных документов в память ЭВМ.

### **Информационно-программное обеспечение учета и контроля состояния измерительных средств**

Данное информационное обеспечение состоит из информационной базы и данных, периодически поступающих от подразделений.

В качестве носителя информации, как правило, используется накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД).

Рекомендуется использовать 11 признаков, по которым классифицируются измерительные средства:

- тип прибора;
- инвентаризационный номер;
- заводской номер;
- место эксплуатации;
- месяц следующей поверки;
- дата ввода в эксплуатацию;
- дата инвентаризации;
- дата предыдущей поверки;
- место поверки;
- баланс.

#### **Структурная схема программного обеспечения:**

1. Рабочая программа.
  2. Организация базового массива данных.
  3. Загрузка справочного каталога.
  4. Программа формирования и выдачи выходных форм.
- Блок-схема рабочей программы приведена на рис. 11.6.

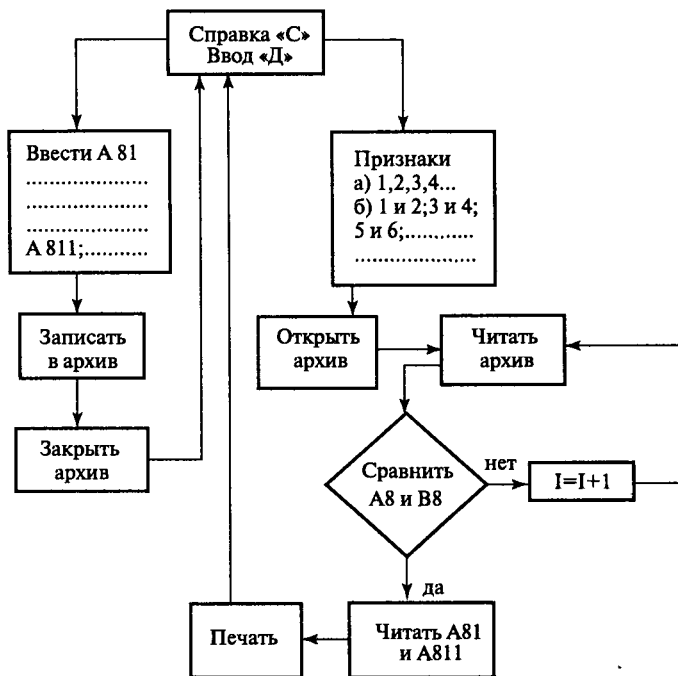


Рис. 11.6. Блок-схема рабочей программы

## Автоматизация обработки фонда НТД на предприятии

При автоматизации обработки фонда НТД на предприятии используются следующие нормативные документы:

1. РД-50-208—80 «Методические указания по заполнению машинно-ориентируемого стандарта».

2. *Графов М. Ф., Золотов Л. Н., Герасима Г. Ф.* Автоматизация обработки фонда стандартов и ТУ на предприятии. М.: Изд-во стандартов, 1980.

База данных:

1. Выявление НТД на продукцию, подлежащую пересмотру, продлению срока действия.

2. Выявление НТД на материалы и комплектующие изделия, срок действия которых истекает через определенный период времени.

3. Получение данных о наличии НТД в фондах предприятия.

4. Получение перечня НТД, в которых имеются ссылки на данный конкретный НТД.

5. Получение перечня НТД, относящихся к одной группе по классификатору ГОСТов.

6. Получение перечня ссылочных НТД, используемых в конструкторских или технических документах.

### **Порядок решения задачи**

1. Разработка ТЗ, предусматривающего:
  - а) разработку задачи;
  - б) сбор исходных данных;
  - в) определение структуры и формы входных и выходных данных;
  - г) определение требований к техническим средствам.
2. Разработка задания для программирования:
  - а) цель решения задачи;
  - б) блок-схема решения задачи;
  - в) описание входных документов;
  - г) инструкция оператору;
  - д) описание массивов;
  - е) процедура получения выходных документов;
  - ж) описание выходных документов;
  - з) состав используемых документов.
3. Разработка программы.
4. Испытание программы и ее отладка.
5. Внедрение задачи, подготовка приказа об итогах работы.

### **Нормативная основа МО**

Основные документы — Государственная система обеспечения единства измерения (ГСИ); ГОСТ 1.25—76 ГСС. Основные положения ГСИ (принцип стандартизации):

- 1) назначить объекты стандартизации;
- 2) исследовать объекты стандартизации.

Выбраны следующие объекты стандартизации:

- 1) единицы физических величин, допускаемые к применению в РФ;
- 2) воспроизведение, хранение единиц физических величин путем создания эталонов;
- 3) передача размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим измерительным средствам с наименьшей потерей точности при наименьших экономических затратах;
- 4) номенклатура, способы выражения и оценка метрологических характеристик;
- 5) контроль выпуска в обращение новых измерительных средств;

б) контроль состояния измерительных средств, находящихся в обращении;

7) методика выполнения измерений (формы регламентации, требования к ним в виде стандартизации и аттестации);

8) нормы точности измерений;

9) показатели точности измерений и представления результатов измерений для их оценки и совместного использования.

Содействовать обеспечению единства измерений могут также нижеследующие объекты стандартизации:

1. Термины и определения в области метрологии.

2. Требования к стандартным образцам состава и свойств веществ и материалов.

3. Требования к стандартным и справочным данным о физических константах и свойствам веществ и материалов.

4. Организация и порядок проведения метрологической экспертизы.

5. Нормирование технических, технологических, проектных и конструкторских документов.

## **11.5. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

Кроме общих стандартных подходов МО измерительных средств как отдельных компонентов систем управления для них, исходя из концепции целостности, специфичен ряд характерных подходов в МО согласно назначению и целевым функциям управления.

В метрологическом обеспечении систем управления выделяют два этапа, которые обусловлены включением в их состав вычислительной техники. На первом этапе структура и функции системы согласованы и измерительная функция является определяющей, а информационные функции рассматриваются как вспомогательные. На втором этапе система становится в определенной степени информационной, т. е. реализует не только измерительную, но и информационные функции. Результатом большой работы было создание измерительно-информационных систем (ИИС), которые предназначены для выполнения на основе измерительных систем функций контроля, испытаний, диагностики, обнаружения, распознавания образов и др.

Включение в состав ИИС и АСУТП современных средств вычислительной техники имело два важных последствия, которые коренным образом изменили традиционный взгляд на системы как объект МО. Были значительно расширены и усложнены функции систем, что сопровождалось усложнением обработки ре-

зультатов измерений. При этом изменилось соотношение между числом задач преобразования сигналов, решаемых с помощью аппаратных и программных средств, в пользу последних. Поэтому трудно, а зачастую и невозможно разграничить измерительные и неизмерительные функции, реализуемые с помощью систем, так как граница между ними в основном проходит через программное средство.

Специалисты, создающие и эксплуатирующие системы, заинтересованы в обеспечении эффективности достижения целей, ради которых она создана, в частности для ИИС — для контроля, обнаружения, распознавания и др., а для АСУТП — для управления технологическими процессами. Однако лишь для одной функции (естественно, подсистемы, см. рис. 14.2) — измерительной (являющейся базовой, но «внутренней», а не итоговой) — создана система обеспечения эффективности, т. е. система обеспечения единства измерений (система МО).

Другие функции систем, включая целевые функции (системы в целом), пока не имеют такой мощной методической организационно-правовой и технической поддержки. Учитывая, что качество функционирования ИИС и АСУТП можно охарактеризовать точностью или аналогичными ей показателями, целесообразно было распространить методы МО на ИИС и АСУТП в целом и на их целевые (неизмерительные) функции. Эти соображения были положены в основу концепции целостности МО измерительных информационных и управляющих систем.

Сущность концепции состоит в том, что в качестве объекта МО рассматриваются системы в целом, включая не только измерительные подсистемы и функции. Методической основой концепции являются два фундаментальных положения. Во-первых, выделены функции контроля, испытаний и диагностики, обнаружения и распознавания, во-вторых, то, что измерительная функция есть по сути функция классифицирования.

Технический контроль осуществляют на основании измерений совокупности параметров объекта (технологического процесса). При этом необходимо принять решение об отнесении состояния объекта к одному из двух классов: нормальное (параметры которого соответствуют нормам), либо «ненормальное», т. е. о решении элементарной классификационной задачи, в которой пространство возможных состояний объектов (значений параметров объектов) разбивается на два разнообразных класса.

Техническая диагностика представляет собой двухуровневую классификационную процедуру: вначале объект относят к одному из двух классов — работоспособных или неработоспособных (неисправных), а затем — к одному из подклассов, которые характе-



ризуют степень (запас) работоспособности или характер (степень) неисправности.

Распознавание образов также сводится к классифицированию, так как требуется установить признаки объектов, определяющие образы, разбить пространство признаков на области, характеризующие классы состояний объектов и отнести конкретные объекты, на основании измерения их признаков, к соответствующим классам. При этом если классы разбивают пространство состояний на две области, то распознавание становится дважды альтернативным, т. е. сводится к обнаружению объекта.

### **Процедура измерения**

Известно, что измерение — это процедура, в основе которой лежит сравнение измеряемой величины с однородной величиной, принятой за единицу (или со шкалой) в системе СИ. Основой сравнения служит выбор модели измеряемой величины, включая проверку адекватности модели объекту. По сути — это классификационная задача, так же, как сравнение с единицей измерения, поскольку система единиц и схема передачи единиц (их размеров) носят дискретный характер и описываются с помощью характерных (классификационных) признаков. Результат измерения определяет измеряемую величину и позволяет отнести ее к конкретной области значений по шкале. Критерием различия смежных областей является погрешность результата измерений. При ее оценке снова решают классификационную задачу выбора модели погрешности и параметрической идентификации этой модели. При этом имеет место разделение шкалы на области (ее классификация) и отнесение измеряемой величины (свойства объекта) к конкретной области на основе сравнения (идентификации).

Согласно вышеизложенному, управляющую подсистему подразделяют на две подсистемы: классификационную (анализатор) и подсистему, вырабатывающую информацию (синтезатор) (см. рис. 14.2).

Фундаментальным положением является то, что важнейшим фактором, обеспечивающим целостность системы, является информация об объекте, с которым система взаимодействует, т. е. функционирование системы есть процесс преобразования информации.

В АСУ, как наиболее сложной из рассматриваемых систем, включающей в себя ИИС, где информация «возникает» (как измерительная) на выходе преобразователя (датчика), передается неизменной по измерительному каналу (включающему в себя

средство обработки результатов измерения), преобразуется в классификационную информацию (в соответствующей подсистеме АСУТП) и «исчезает» (превращается в определенное воздействие на объект управления) в исполнительной подсистеме. Следовательно, в соответствии с концепцией целостности ИИС и АСУТП (в том числе автоматизированные системы для научных исследований) следует рассматривать как информационные системы, предназначенные для решения задач классифицирования объектов (принятия решений) и управления объектами. При этом компоненты систем являются информационными преобразователями.

## 11.6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МО СИСТЕМ

Развитие теоретических основ МО ИИС и АСУТП будем рассматривать во взаимосвязи с традиционными направлениями развития МО измерительных средств и в соответствии с принятыми положениями общей теории измерений, которая представлена стандартной структурой (см. теоретическую метрологию).

В ней последовательно рассмотрены все разделы общей теории измерений, согласно ее основным разделам: методология, общая теория единства измерений и общая теория точности измерений, состоящая в свою очередь из общей теории точности измерительных средств и общей теории измерительных процедур. Здесь под измерительными средствами понимают любые измерительные системы, начиная от ограниченной совокупности измерительных средств, функционирующей независимо друг от друга, заканчивая системами со сложной структурой и организацией взаимодействующих процедур. Компоненты и элементы систем, т. е. измерительные средства, рассматриваются как единое целое (как система).

Однако в рамках концепции целостности представления об ИИС и АСУТП как объектах МО следует учесть специфику постановки и решения методологических проблем их МО. Эта специфика нашла отражение в определении исходных понятий МО систем. Так, ИИС определена как «информационная система, состоящая из информационных средств (в том числе и измерительных) и вспомогательных технических средств, в которых измерительная информация преобразуется в другие виды классификационной информации».

Метрологическое обеспечение ИИС определяется как «система научной, технической, правовой и организационной деятельности, направленной на обеспечение соответствия характеристик информации установленным нормам путем достижения единства

процессов преобразования информации (информационных процессов), осуществляемых с помощью ИИС, включая единство измерений».

Аналогично под **метрологическим обеспечением АСУТП пищевой промышленности** понимается «система научной, технической, правовой и организационной деятельности», направленной на обеспечение, путем управления, соответствия характеристик качества пищевых продуктов установленным нормам (знаку качества, сертификату) на основе достижения единства в процессах преобразования информации (информационных процессов) в АСУТП.

Формирование фундаментальных принципов, аксиом и постулатов общей теории информационных процессов неразрывно связано с положениями теории познания. Концепция целостности МО систем позволяет решать проблему классификации ИИС и АСУТП системно, на основе современной теории.

В общем случае классификация состоит из трех взаимосвязанных систем:

- системы классов (классификаторов), предназначенной для характеристики объектов, однородных в определенном отношении;
- системы классификационного построения (совокупности операций построения системы классов), основанной на определенных правилах;
- системы объектов, распределенных по классам.

*Классификатор* обеспечивает возможность узнавать объекты, т. е. относить к известным классам объекты, ранее не встречающиеся или вновь возникшие, или выделять неузнанные объекты, для которых необходимо уточнить или изменить классификацию. Одновременно классификатор представляет собой перечень имен (кодов), используемых для обозначения классифицируемых объектов. Система классификационного построения позволяет изменять или строить классификатор, который бы соответствовал поставленным целям и не противоречил имеющимся сведениям. Система объектов, распределенных по классам, дает возможность обучать классифицированию объектов на небольшом количестве их представителей без использования всех возможных классификационных признаков.

Для метролога выбор классификации зависит от метрологической цели и соответствующего набора метрологических классификационных признаков. Цели классифицирования объектов в ходе научной, организационно-правовой и технической деятельности в рамках МО систем являются метрологическими. В каждом конкретном случае цель классифицирования — выявление особенностей и характеристик объектов, образующих классы. Характеристики и особенности объектов, установленные в классификации с

различными метрологическими целями, называются метрологическими классификационными признаками, а подобная классификация — классификацией по метрологическим признакам.

В рамках концепции целостности МО моделирование систем приобретает и новое назначение; модели должны быть информационно-методологическими, т. е. отражать процесс преобразования информации в системах и их компонентах, при этом качество проводимых преобразований должно определяться в основном с помощью метрологических характеристик. Реализация этого подхода должна выражаться в построении обобщенной метрологической модели системы, в которой используется единообразное описание компонентов и систем в целом. При этом метрологической является формализованная (математическая) модель преобразования информации в ИИС (или АСУТП), включающая в себя метрологически значимые факторы, которые оказывают влияние на результат функционирования системы и ее точностные характеристики.

Метрологическая модель ИИС строится на основе двухуровневого представления: на верхнем уровне — неструктурированное средство (аналогичное измерительному прибору или преобразователю), на нижнем — совокупность взаимосвязанных компонентов, метрологические модели которых имеют тот же вид, что и модель ИИС на верхнем уровне. Метрологическая модель системы в целом (неструктурированная компонента) может быть представлена определенной совокупностью соотношений сигналов на информативном и неинформативном входах системы и выходных источниках этих сигналов.

Метрологическая модель АСУТП строится по трехуровневой структуре. Первые два уровня идентичны ИИС, на нижнем (третьем) уровне классификационная информация «исчезает» (превращается в определенное воздействие на объект управления) в управляющей подсистеме. При этом большое внимание уделяют разработке метрологических моделей типовых компонентов (элементов) систем и систем с типовыми структурами, а также способам построения метрологических моделей систем с заданными нетиповыми структурами из типовых метрологических моделей.

### **11.7. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ИНФОРМАЦИИ**

Учение о физических величинах при измерениях, осуществляемых ИИС и АСУТП, целесообразно развивать и применять в двух направлениях. Во-первых, при определении технико-экономических показателей объектов управления в АСУТП, чтобы характе-

ризовать любые особенности физических объектов (величин), которые подлежат количественному оцениванию. Во-вторых, при оценке качества результатов контроля, диагностики и других классификационных процедур, а также количественного выражения информации, содержащейся в принимаемых решениях, которые характеризуют цель осуществления указанных процедур.

Таким образом, развитие положений об ИИС и АСУТП как о целостных объектах МО приводит к необходимости создания общей теории достоверности (адекватности) информации, получаемой с помощью технических систем на основе измерений. Эта теория должна быть расширением теории точности измерений, когда предметом анализа являются измерения и процессы функционирования измерительных систем.

Общая теория информационных преобразований, по аналогии с теорией измерений, включает в себя теорию информационных процедур и теорию адекватности информационных средств. Информационная процедура — это совокупность действий, направленных на получение информации о состоянии физических объектов (источников информации). Так как информация понимается как отраженное многообразие объекта, то информационная процедура предполагает установление указанного разнообразия и последующий выбор из него необходимой информации.

В основном установление разнообразия осуществляют с помощью единиц физической величины и соответствующей шкалы. Отражение установленного разнообразия осуществляется с помощью информационного средства (измерительного средства). Результат отражения представляется как информация (измерительная информация).

Метрологический подход к количественной оценке результатов классифицирования предполагает решение вопроса о мере информации и ее адекватности. Необходима мера, которая, во-первых, допускала бы очередную интерпретацию измерительной информации в принятых терминах оценки измерительной величины и погрешности этой оценки. Во-вторых, указанная мера должна определенным образом расширяться на неизмерительную информацию (классификационную, управляющую и т. п.). В-третьих, целесообразно рассмотреть существующие в современной семиотике разновидности количественного оценивания информации: синтаксическое, семантическое и прагматическое.

Наиболее развитым и распространенным является синтаксическое оценивание информации, начало которому положил К. Шеннон. Применительно к измерениям это направление было развито Г.И. Кавалеровым, С.М. Мандельштамом и П.В. Новицким.

Семантическое оценивание информации в настоящее время является точно сформулированным направлением. В аналогичном состоянии находится решение проблемы прагматического оценивания информации. Поэтому целесообразна разработка общей теории оценивания неопределенности информации (адекватности). Так, в работе<sup>1</sup> Ю. В. Тарбеева с соавторами приведены анализ состояния и перспектива создания этой теории. Здесь использован комплексный подход в развитии данной теории. Невозможно в рамках синтаксического направления решить проблему количественного оценивания неизмерительной классификационной информации, и необходим переход к семантическим мерам (применительно к результатам принятия решений) и к прагматическим решениям (применительно к результатам управления). Для реализации процедуры двухальтернативного контроля представляет интерес семантический подход.

Семантические количественные меры информации позволяют решать задачи оценивания при аттестации средств контроля, сравнении результатов контроля, определении характеристик множества объектов контроля, прошедших процедуру контроля. Эти результаты можно без изменения перенести на процедуру обнаружения, многоальтернативного контроля, диагностики и распознавания образов.

Теория адекватности информационных средств основана на представлении об информационном средстве как техническом устройстве, предназначенном для реализации информационной процедуры, т. е. для получения информации о физическом объекте. Она должна быть подчинена общей теории информационных процедур, поскольку свойства информационных средств представляют собой один из факторов оценки качества (достоверности) результата информационной процедуры при получении информации об объекте.

Свойства информационных средств должны быть выражены с помощью информационно-метрологических характеристик. Эти характеристики обусловлены обобщенными метрологическими моделями систем и их компонентов, а также принятыми количественными мерами (оценками) информации. Необходимы дальнейшие исследования свойств информационных средств в целях установления перечня информационно-метрологических характеристик и разработки способов их выбора и регламентации для конкретных средств.

Переход от традиционного МО к более перспективному — информационному — связывается с переходом от единства измере-

<sup>1</sup> См. список рекомендуемой литературы, п. 10.

ний к единству процессов преобразования информации (информационных процессов). Единство информационных процессов определяется как качество процессов преобразования информации, при котором их результаты количественно сопоставимы.

Термин «процесс преобразования информации» следует понимать в широком смысле, его содержание следующее:

1) процессы формирования информации (измерительной) в результате взаимодействия информационных средств (средства измерений) с объектом измерения, который следует обозначать первичным источником информации, т. е. объект реально существует и его разнообразие отображается при информационном процессе;

2) процессы восприятия информации от вторичных источников информации, когда информационное средство непосредственно взаимодействует с объектом, который является носителем уже выделенной информации;

3) процессы преобразования информации из одной формы в другую (измерительной — в классификационную, управляющую и т. п.);

4) процессы обработки, передачи и хранения информации;

5) процессы преобразования управляющей информации в физическое воздействие (состояние), например в исполнительной подсистеме (преобразование информации в реально существующее разнообразие).

Представления о преобразованиях информации и ее количественном оценивании в совокупности приведут к созданию теории единства информационных процессов.

В то же время концепция целостности неизбежно приведет к проблеме обеспечения адекватности (достоверности) получаемой информации. Решения этой проблемы настоятельно требуют распространение методов метрологии на области информатики и управления в технических системах.

При этом приоритетные направления по МО можно объединить в следующие группы соответственно объектам:

- метрологическое обеспечение ИИС, т. е. описание, определение и контроль информационно-метрологических свойств ИИС, их подсистем и компонентов;

- оценивание результата функционирования информационных (классификационных) подсистем ИИС и их компонентов, в том числе программных средств, а также оценивание адекватности классификационной информации, получаемой с помощью ИИС;

- метрологическое обеспечение АСУТП, т. е. описание, определение и контроль информационно-метрологических свойств

управляющих и исполнительных подсистем АСУТП и их компонентов;

- оценивание адекватности управляющей информации, вырабатываемой в АСУТП, а также оценивание точности управления технологическим процессом с помощью АСУ.

Теоретической и методологической основой этих направлений должны стать результаты работ, которые реализуют метрологический (целостный) подход в решении проблем информационных процедур, а именно:

- разработка методологии метрологического анализа информационных процессов, включая процессы управления;
- оценивание информации (и ее адекватности), полученной на основе измерений, в информационных системах и системах управления;
- разработка классификаций ИИС и АСУТП по информационным признакам.

Целенаправленная работа в этом направлении может привести к широкому применению методов метрологии в информационных процессах. При этом возможен и пересмотр фундаментальных положений метрологии, что в конечном счете станет необходимым для «включения» этой науки в рамки общей дисциплины о количественном оценивании процессов и объектов в природе и технике — гносеотехнике.

### **11.8. АТТЕСТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Важнейшей проблемой МО измерений является систематизация точностных и других свойств средств обработки информации, измерительных процедур, а также алгоритмов и программных средств, влияющих на результаты и погрешности измерений. Их целесообразно обозначить понятиями *«аттестация алгоритмов»* и *«метрологическая аттестация программных средств»* и отнести к разделам теоретической метрологии, т. е. к теориям методов измерений и их точности. Они касаются общей теории точности измерительных средств, поскольку программные средства, не являясь измерительными средствами, представляют собой значительную часть измерительных подсистем компонентов ИИС и АСУТП.

В последнее время с ростом задач, в которых выполняются сложные преобразования измерительной информации и обрабатываются экспериментальные данные, возросла значимость этапа обработки данных в измерительной процедуре в целом. К ней относятся следующие задачи:



- 1) прямые измерения с многократными наблюдениями;
- 2) косвенные измерения, при которых измерения аргументов выполняются с многократными наблюдениями;
- 3) совместные и совокупные измерения, при которых зависимости между ними находят путем решения системы уравнений;
- 4) измерение одной величины с использованием нескольких разнообразных средств измерений, что дает возможность выявить и частично компенсировать систематические погрешности измерительных средств;
- 5) расчетные задачи, когда результаты наблюдений являются исходными данными, например граничные или начальные условия для системы дифференциальных уравнений.

Это многообразие измерительных задач определяет необходимость использования разнообразных алгоритмов для обработки данных.

Как известно, алгоритм — система вычислений (программа вычислений), выполняемая по строго определенным правилам и приводящая к решению поставленной задачи.

Выбор алгоритмов и их параметров является затруднительным, что усложняет задачи обеспечения единства измерений. Поэтому целесообразно вводить количественную оценку (характеристику) свойств алгоритмов (точности, надежности и сложности), а также объективно сопоставлять их.

Важнейшей особенностью аттестации алгоритмов является многовариантность критериев качества алгоритмов и моделей исходных данных.

Модель — преобраз какого-либо объекта или системы объектов, используемый в определенных условиях в качестве их «заемителя» или «представителя», выражает идею «имитации» (описания) объекта.

Идеология аттестации основана на выявлении наилучшего алгоритма для заданного критерия качества алгоритма при фиксированной модели исходных данных. Однако аттестация не выделяет оптимальный алгоритм по всем критериям, для различных критериев или моделей, преимущества имеют разные алгоритмы. Свидетельства об аттестации алгоритмов в любой форме представляют пользователю исходную информацию для их сопоставления и выбора, что избавляет его от самостоятельного исследования свойств алгоритмов при их предварительном выборе.

Процедуры аттестации алгоритмов естественны для метрологии. Многообразие измерительных задач, использование многочисленных сложных алгоритмов обработки данных, повышение требований к точности результатов измерений, а также возмож-

ности обработки с применением вычислительной техники привели к необходимости определить аттестацию алгоритмов обработки данных как самостоятельную метрологическую задачу.

Аттестация алгоритмов, как одно из направлений теоретической метрологии, опирается на методы и результаты, накопленные в смежных областях математических и технических дисциплин. В современном анализе широко используются статистические алгоритмы обработки данных. При определении методических аспектов аттестации алгоритмов используются также общие положения теории алгоритмов и теоретического программирования относительно структуры вычислительных алгоритмов и взаимосвязей между алгоритмами и реализующими их программами. В целом аттестацию алгоритмов осуществляют как общеметрологическую задачу с учетом опыта разработки и исследования алгоритмов в различных научных областях, а также опыта метрологической аттестации различных объектов (средств измерений, методик выполнения измерений и т. д.).

На практике выделяют несколько подходов к аттестации алгоритмов в зависимости от целей и МО процесса обработки информации. Прежде всего это общая аттестация алгоритмов, которая является достаточно полным исследованием свойств точности, устойчивости и сложности алгоритмов. Ее результаты имеют в основном справочный характер и используются при выборе алгоритма для решения конкретной задачи. Метрологическая аттестация алгоритмов носит более конкретный характер и осуществляется в основном по определенной методике выполнения измерений или определенной измерительной системе. Она должна быть регламентирована нормативно-техническими документами, а ее результаты должны иметь ярко выраженный законодательный характер.

Большинство алгоритмов применяется при автоматической обработке информации с помощью ЭВМ. Поэтому, наряду с аттестацией исходного алгоритма обработки, нужно проводить аттестацию программы, его реализующей. При этом переход от алгоритма к программе приводит к появлению дополнительных погрешностей, обусловленных свойствами конкретной программы. Методическая составляющая погрешности при аттестации алгоритмов и инструментальные составляющие при переходе к программам зависят от характера реализации алгоритма, состава и свойств ЭВМ. Дополнительные погрешности можно оценить аналитическими методами, а также специальной программой, работающей параллельно с основной программой вычисления результата измерения по тем же исходным данным.

## 11.9. ТИПОВЫЕ МОДЕЛИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

При аттестации алгоритмов необходимо выбирать простые типовые модели исходных данных, чтобы обеспечить простые аналитические представления или несложное моделирование. При этом они должны быть разнообразны и в совокупности достаточно полно отражать различные свойства алгоритмов.

Выбор типовых моделей зависит от практических целей аттестации. При общей аттестации алгоритма типовые модели определяют на основе накопленных сведений и некоторых представлений о свойствах исходных данных для того, чтобы наиболее полно выявить свойства алгоритма и область его применения.

При метрологической аттестации, когда имеется априорная информация о конкретной измерительной задаче, выбирают типовые модели, наиболее адекватные свойствам реальных данных. Однако выбранные модели могут оказаться довольно сложными, поэтому при переходе от общей аттестации к метрологической может возникнуть следующая тенденция: число типовых моделей уменьшается, а их вид — уточняется (усложняется). Аттестацию алгоритма на типовых моделях необходимо дополнить изучением свойств алгоритма на реальных данных. В этих случаях записанные реальные данные заменяют моделью воздействия. На практике такой путь иногда используется вместо аттестации.

Конкретные типовые модели исходных данных формируются как совокупность моделей полезных сигналов и моделей погрешностей экспериментальных данных. При этом учитываются сравнения измерений и метрологические характеристики используемых средств измерений, а также сведения об условиях измерений, возможных изменениях величин и помехах. Модели представляются в виде аналоговых функций или последовательностей в зависимости от режима поступления данных — аналогового или дискретного, при этом функции или последовательности могут быть детерминированными или случайными.

Важным фактором является то, что модели погрешностей необходимо формировать отдельно для случайных и систематических составляющих. Для случайных составляющих в качестве типовых моделей выбирают случайные функции или последовательности, имеющие заданные вероятностные распределения и заданные корреляционные функции (например, спектральные плотности, уравнения связи с порождающими белыми шумами и т. п.).

Как правило, принимают следующие распределения: Гаусса, равномерное, экспоненциальное и засоренное распределения Гаусса, т. е. имеющее плотность вида

$$F(x) = (1 - \varepsilon)\varphi(x) + \varepsilon h(x), \quad (11.7)$$

где  $\varphi$  и  $h$  — плотности распределения Гаусса и засоряющего распределения;  $\varepsilon$  — доля засорения.

Можно принимать и другие распределения, вид которых обоснован спецификой алгоритма и условиями его применения.

По корреляционным свойствам типовые модели выбирают в основном стационарными, либо некоррелированными, с постоянной дисперсией  $\sigma^2$ , либо с корреляционной функцией

$$R(s, t) = \sigma^2 e^{-a(s-t)}. \quad (11.8)$$

В некоторых случаях используют также стационарные процессы с дробнорациональными спектральными плотностями, либо нестационарные процессы с некоррелированными приращениями, т. е. с корреляционной функцией:

$$R(s, t) = \sigma^2 \min(s, t) \text{ при } s, t \geq 0. \quad (11.9)$$

Для систематических погрешностей задают типовые модели в виде детерминированных функций или последовательностей, в основном постоянные, линейные и гармонические. Однако можно принимать и другие функции, вид которых обоснован спецификой алгоритма и условиями его применения. В некоторых случаях для описания неисключенных систематических погрешностей принимают статические модели.

### **Методы оценивания характеристик алгоритмов на типовых моделях исходных данных**

Наиболее важным этапом аттестации алгоритма является оценивание характеристик алгоритма на типовых моделях исходных данных:

$$P_{ij}(a) = P_i(a, U_j). \quad (11.10)$$

Способы оценивания могут быть различными. Это прежде всего численные, аналитические и математические методы (в частности, статическое моделирование). В простых способах используют аналитический подход, т. е. представляют значения характеристик  $P_{ij}(a)$  в виде явных функций от параметров исходных данных, применяя аналитические методы в рамках принятых моделей исходных данных. При этом характеристики представляют в общем и компактном виде. Этот подход применяют лишь для простых алгоритмов и в ограниченной области параметров.

В практической деятельности наибольшее применение нашли численные методы, два их варианта. В первом упрощают исходные типовые модели данных, а затем приближенно оценивают характеристики алгоритма как функции от параметров моделей. Во втором

варианте задают конкретные значения параметров моделей данных и приближенно оценивают значения характеристик алгоритма при заданных параметрах моделей, при этом получают оценки характеристик алгоритма при конкретных параметрах моделей.

При математическом моделировании выполняют следующие операции: задают конкретные значения параметров исходных данных, моделируют набор исходных данных (при заданных параметрах), применяют исследуемый алгоритм к полученным исходным данным и получают результат. Эти операции повторяют многократно — десятки, сотни раз, в итоге получают серию (совокупность) результатов измерений, далее обрабатывают и получают оценки искомым характеристик алгоритма (в частности, оценивают среднее квадратичное отклонение (СКО) или границы погрешностей результатов).

Метод моделирования имеет преимущество в том, что не зависит от сложности аналитических выражений и непосредственно определяет значения показателей алгоритмов. Однако процедура моделирования исходных данных весьма трудоемкая и требует быстроедействующих ЭВМ. При этом значения характеристик алгоритмов можно получить лишь в отдельных точках, т. е. в табличной форме при заданных исходных характеристиках  $P_i(a)$ .

При аттестации алгоритмов целесообразно применять эти подходы совместно, используя преимущества каждого из них. Во многих случаях асимптотические характеристики алгоритмов (при больших объемах исходных данных) можно приближенно определить аналитически или численно, а при небольших объемах чаще используется статическое моделирование.

При аттестации соответствующих программ практически реализуется только один метод — метод статистического моделирования исходных данных с последующей обработкой результатов серии измерений. В этом случае они признаются достоверными и убедительными.

Важным фактором является то, что для многих задач можно указать традиционные алгоритмы, которые наиболее часто используются для их решения. Например, для прямых измерений традиционным алгоритмом обработки данных является их усреднение, а при построении линейной зависимости — метод наименьших квадратов. В подобных случаях целесообразно представлять основные показатели точности остальных алгоритмов в относительной форме по отношению к соответствующим показателям традиционных алгоритмов. Так, при прямых измерениях целесообразно рассматривать относительное СКО алгоритма:

$$\tilde{\Pi}_1(a) = \frac{\sigma(a)}{\sigma_x} = \sqrt{n} \frac{\sigma(a)}{\sigma_0}, \quad (11.11)$$

где  $\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$  — среднее арифметическое результатов наблюдения;  
 $\sigma(a)$ ,  $\sigma\bar{x}$  — среднее квадратичное отклонение (СКО) оценок  $a$  и  $\bar{x}$ ;  
 $\sigma(a)$ ,  $\sigma_0$  — СКО результатов наблюдений.

### 11.10. ПРИМЕРЫ АТТЕСТАЦИИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Построение функциональных зависимостей алгоритмов данных  $x_1, \dots, x_n$  при прямых измерениях происходит в следующей последовательности.

В этом случае наиболее рационально простое усреднение данных:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (11.12)$$

Этот критерий оптимален по многим параметрам при гауссовом распределении погрешностей и их статистической независимости. Однако при отклонениях от него и при наличии грубых погрешностей точность оценки значительно снижается. При гауссовом распределении, но коррелированных погрешностях данных оптимально усреднение с различными весовыми коэффициентами, при этом крайним значениям придается больший вес.

Простейшими устойчивыми оценками среднего являются усеченные средние, которые получаются при отбрасывании заданной доли ( $0 < a < 0,5$ ) наименьших и наибольших членов упорядоченной выработки и усреднении оставшихся членов:

$$\bar{x}(a) = \frac{1}{n-2k} \sum_{i=1}^n x'_i, \quad (11.13)$$

где  $x'_1 < x'_2 < \dots < x'_n$ ,  $k = [na]$ .

При этом долю  $a$  можно выбирать малой (чаще  $\alpha = 0,05$ ) или значительной (например,  $\alpha = 0,25$ ). Предельным случаем усеченных средних является выборочная медиана, т. е. среднее значение в упорядоченной выборке:

$$\text{med} = \begin{cases} x'_k + 1 & \text{при } n = 2k + 1, \\ 1/2(x'_k + x'_{k+1}) & \text{при } n = 2k. \end{cases}$$

Однако медиана является устойчивой оценкой, но ее точность при гауссовом распределении невысокая. Ее следует рассматривать как эвристическую, она может быть получена как оптималь-

ная при экспоненциальном распределении погрешностей и критерий максимального правдоподобия.

Таким образом, основными характеристиками точности алгоритмов обработки данных при прямых измерениях могут быть:

$P_1(\alpha) = \sigma(\alpha)$  — СКО погрешности;

$P_2(\alpha) = B(\alpha)$  — смещение оценки;

$P_3(\alpha) = \Delta(\alpha)$  — граница систематической погрешности, основной показатель устойчивости  $P_n(\alpha) = \sigma^*(\alpha)$  — точка срыва.

Так как все приведенные оценки несмещенные, достаточно указать лишь СКО, причем следует записать его в относительной форме, по отношению к СКО среднего  $x$ :

$$\tilde{P}_1(a) = \sqrt{n} \frac{\sigma(a)}{\sigma_0}. \quad (11.14)$$

Задачи и алгоритмы построения зависимостей можно подразделить на две группы: регрессионные и конфлюентные.

В регрессионных задачах предполагается, что погрешности измерений аргументов  $x_i$  очень малы по сравнению с погрешностями измерений откликов  $y_i = f(x_i)$ . В конфлюентных задачах погрешностями измерений аргументов пренебрегать нельзя. В каждой из этих групп выделяются оптимальные, устойчивые и эвристические алгоритмы. Наиболее распространенным является метод наименьших квадратов (МНК), который оптимален при гауссовом распределении погрешностей и точно известных  $x_i$ . Из устойчивых алгоритмов простейшим является усеченный МНК, который аналогичен усеченным средним. Для конфлюентных методов характерно использование дополнительной информации: либо о дисперсиях погрешностей  $x_i$  или  $y_i$ , либо о группировке (упорядочении) значений  $x_i$ .

При аттестации обычно рассматривают однородные группы алгоритмов для построения зависимостей определенного вида, например:

$$y = \sum_{j=1}^k a_j \varphi_j(x), \quad (11.15)$$

где  $\varphi_1, \dots, \varphi_k$  — заданные функции.

Поэтому характеристики алгоритмов необходимо определять применительно к погрешностям оценивания коэффициентов  $a_j$ . Основными характеристиками точности алгоритмов являются: границы методической составляющей; СКО случайной составляющей трансформированной погрешности; границы систематической составляющей трансформированной погрешности.

Характеристики устойчивости определяются так же, как и в случае прямых измерений.

Наиболее распространенными из типовых моделей для аттестации алгоритмов следует считать регрессионные модели:

$$x_i - \text{точные}; y_i = \sum_{j=1}^n a_j \phi_j(x_i) + \theta_i \zeta_i. \quad (11.16)$$

Для традиционной регрессионной модели случайные погрешности  $\theta_i$  имеют гауссовы распределения, для расширенной регрессионной модели — засоренные гауссовы распределения.

Применяют и конфлюэнтную модель

$$x_i = x_i + \theta_{xi} + \zeta_{xi}; y_i = \sum_{j=1}^n a_j \phi_j(x_j) + \theta_{yi} + \zeta_{yi}, \quad (11.17)$$

причем распределения погрешностей  $\theta_{xi}$  и  $\zeta_{xi}$  — гауссовы.

Рассмотренные нами модели являются основными для сопоставления алгоритмов построения зависимостей.

### 11.11. ЗАДАЧИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И МЕТРОЛОГОВ ПРИ АТТЕСТАЦИИ АЛГОРИТМОВ

При реализации работ по аттестации алгоритмов необходимо знать организационную сторону этой проблемы. Следует определить роль исследователей (пользователей алгоритмов) и метрологов в обеспечении единообразия методов обработки данных.

При выборе алгоритма порядок действий метролога и пользователя может быть различным в зависимости от степени изученности и практического применения алгоритма для конкретной задачи. Метролог должен контролировать выбор алгоритма, требовать, чтобы были известны его показатели, характеризующие его пригодность для решения данной задачи. Однако не следует полностью полагаться на него при выборе методики алгоритмов обработки.

При использовании известного алгоритма, общепринятого для данной задачи, достаточно лишь ссылки на стандартный алгоритм или программу, которые содержатся в сборнике или банке (картотеке) стандартных алгоритмов.

Если пользователь не имеет необходимой информации об алгоритме, то он совместно с метрологом составляет запрос в центр, где находится информация об алгоритмах. Возможны два варианта решения: алгоритм известен и зарегистрирован в центре или алгоритм является новым, и сведения о нем в центре отсутствуют. При первом варианте (т. е. алгоритм зарегистрирован) по запросу метролога в центр высылаются ОТВОД, а в адрес пользователя по-



стует свидетельство о его аттестации, в котором указаны основные показатели алгоритма. На основании этих показателей пользователь, не проводя самостоятельных исследований свойств алгоритма, может оценить его пригодность для конкретной задачи и обоснованно выбрать параметры измерительной процедуры.

Если выбранный алгоритм необходимо использовать при условиях, не предусмотренных его аттестацией, то пользователь совместно с метрологом вносит предложение о дополнительной аттестации алгоритма, т. е. вводит новые показатели алгоритма и модели исходных данных для его аттестации. Расчет (оценивание) показателей выполняется пользователем, далее полученные результаты представляются в центр.

В случае когда алгоритм новый, необходима его аттестация. Метролог согласует с центром, к какой группе классификации относится данный алгоритм, при этом устанавливается схема аттестации, а именно указываются показатели качества алгоритма и типовые модели данных. Расчеты по заполнению свидетельства об аттестации выполняет пользователь (или разработчик алгоритма). Результаты аттестации оформляются в установленном порядке и высылаются в центр для регистрации. При необходимости изменения свидетельства об аттестации составляется обоснование, которое согласуется с центром.

Рассмотренная схема получения, накопления и использования данных о свойствах алгоритмов дает возможность обеспечить единообразие методов обработки данных при измерениях и значительно упрощает работы по исследованию и выбору алгоритмов. Этот подход обеспечивает организацию диалога в системе автоматизированного решения задач МО обработки информации при измерениях, обеспечивает единообразие обработки данных и оценивания их погрешностей.

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЙ**

1. Метрологическое обеспечение измерительных средств на предприятиях пищевой промышленности.
2. Организация метрологической службы на предприятии.
3. Организация МО на предприятии пищевой промышленности.
4. Цели и задачи, решаемые службами МО на предприятии.
5. Организация управления метрологической службой на предприятии.
6. Методика организации МО на предприятии.
7. Какие задачи решает вычислительная техника в организации МО на предприятии?
8. Теоретические основы метрологического обеспечения ИИС и АСУТП.
9. Цели и задачи МО систем.
10. Методика аттестации алгоритмов обработки данных.
11. Классификация типовых моделей исходных данных.
12. Задачи пользователя и метролога при аттестации алгоритмов.

## Раздел III. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

### Концепция построения систем управления

*Аппаратура:* модули ввода, вывода→локальный ПЛК→сетевой ПЛК или ПМК→промышленный ПТК+SCADA-система+коммуникации связи.

*Операционная система:* фирменная ОС→универсальная ОС РВ→Windows NT→Windows NT+расширение РВ→Unix→ОС РВ QNX и др.

*Программирование:* специальные средства→языки IES — 1131-3→VBA, C++, JAVA и др.

Цель создания и внедрения систем управления: обеспечение качества продукции, увеличение экономичности производства, повышение надежности функционирования оборудования, повышение производительности, обеспечение экологичности и безопасности условий труда обслуживающего персонала.

*Режим функционирования системы управления* — автоматизированный (человек (технолог) + ЭВМ).

*Система управления* — цифровая.

### Глава 12. АСУТП ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Современные многоуровневые РСУ строятся по объективному принципу: каждый уровень АСУТП соответствует некоторому уровню технологического объекта управления (ТОУ), а каждому элементу АСУТП — один или несколько элементов ТОУ соответствующего уровня. Установление такого соответствия значительно повышает надежность системы и уменьшает интенсивность сетевых обменов, так как ввод/вывод информации и ее обработка максимально локализируются.

Анализ требуемых характеристик следует начинать с анализа структуры объекта управления и информационных характеристик его элементов. Основная информационная характеристика объекта — число сигналов — главный фактор он всегда используется при выдаче задания на разработку АСУТП, однако многообразие типов сигналов является препятствием ее эффективного использования.

В мире информационных технологий невозможно представить себе современное производство без использования SCADA-систем. Каждое внедрение системы позволяет экономить средства, повышать эффективность и безопасность.

На рис. 12.1 приведена общая функциональная схема современного производства.

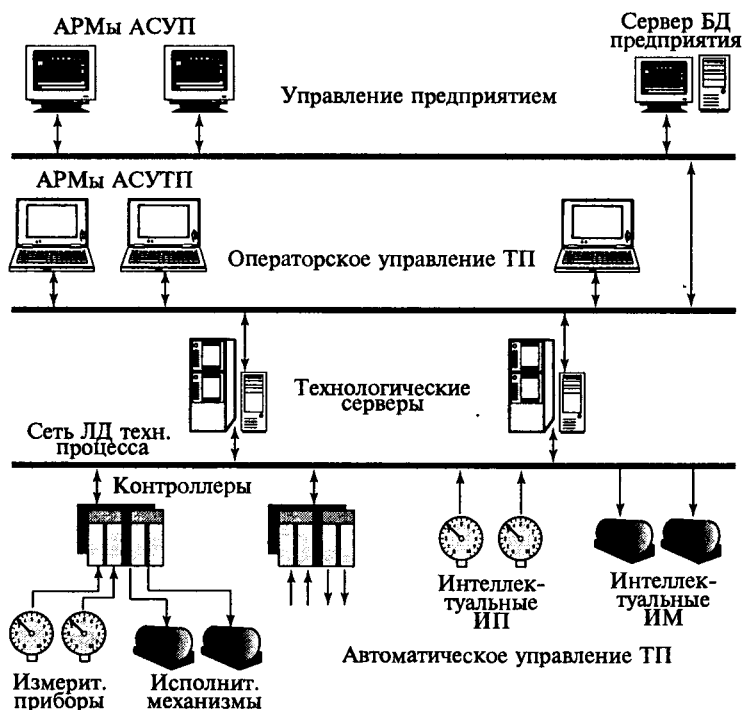


Рис. 12.1. Общая функциональная схема современного производства

Нижний уровень этой схемы составляют измерительные приборы и исполнительные механизмы. В настоящее время они могут быть аналоговыми или цифровыми (интеллектуальными). Аналоговые представляют измеренную величину в форме определенного значения напряжения или силы тока. Цифровые — это встроенные

логические схемы, они представляют измеренную величину в виде цифрового сигнала, соответствующего спецификации протокола передачи данных, определенного для этих устройств. Для обмена информацией с приборами первого вида необходимо использовать АЦП/ЦАП (аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи). С приборами второго типа можно обмениваться информацией непосредственно по сети передачи данных.

Следующий уровень — контроллеры. Они выполняют функцию автоматического управления технологическим процессом. Целью управления является выдача сигналов на исполнительные механизмы в результате обработки данных о состоянии технологических параметров, полученных посредством измерительных приборов, по определенным алгоритмам.

Серверы технологических данных обеспечивают обмен информацией между технологическими устройствами и сетью персональных компьютеров. Они поддерживают протокол работы с технологическими устройствами и протокол работы с сетью персональных компьютеров.

Данные о текущих параметрах технологического процесса могут быть использованы для контроля ее состояния и управления им с автоматизированных рабочих мест операторов; для архивирования истории изменения технологических параметров; для формирования суммарных отчетных форм в целях предоставления информации руководящему персоналу.

В данной схеме SCADA-система представлена серверами технологических данных и автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов.

Отметим функции SCADA-систем:

1. Сбор, первичная обработка и накопление информации о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования от промышленных контроллеров и других цифровых устройств, непосредственно связанных с технологической аппаратурой.

2. Отображение информации о текущих параметрах технологического процесса на экране ПЭВМ в виде графических мнемосхем. Отображение графиков текущих значений технологических параметров в реальном времени за заданный интервал.

3. Обнаружение критических (аварийных) ситуаций.

4. Вывод на экран ПЭВМ технологических и аварийных сообщений.

5. Архивирование истории изменения параметров технологического процесса.

6. Оперативное управление технологическим процессом.

7. Предоставление данных о параметрах технологического процесса для их использования в системах управления предприятием.

На верхнем уровне управления (производством в целом) основной задачей управления являются отдельные информационные сети, связывающие АРМ управляющего персонала на разных участках (мастеров, технологов, начальников цехов) с планируемыми подразделениями. Эти сети взаимодействуют (или совпадают) с корпоративной сетью всего предприятия. В настоящее время абсолютно доминирующим типом таких сетей является Ethernet (сеть шинной технологии, случайного метода доступа, длиной в несколько десятков км в зависимости от физической среды передачи информации, со скоростью передачи данных 10 Мбод). Она используется и как сеть, связывающая отдельные пульта операторов ТП между собой, и как сеть, объединяющая плановые, диспетчерские, оперативные органы управления производством, и как корпоративная сеть предприятия. Развитие информационных сетей (ИС) осуществляется в направлении создания все более высокоскоростных магистралей передачи информации. В настоящее время разработаны и все шире используются (особенно при построении корпоративных сетей крупных предприятий) три типа магистралей:

- Fast Ethernet — шинная топология, случайный метод доступа, скорость передачи данных — 100 Мбод;
- FDDI — топология типа «двойное кольцо», метод доступа — временный маркер, скорость передачи данных — 100 Мбод.
- АТМ — шинная топология, метод доступа — «точка к точке», скорость передачи данных — 155 Мбод.

Эти магистрали взаимодействуют с сетью Ethernet и постепенно заменяют ее при увеличении объемов информации, передаваемой по ИС в единицу времени. Последнее особенно актуально для корпоративных сетей, которые включают в себя ряд новых функций. Кроме информационной связи между различными производственными и хозяйственными подразделениями предприятия они обеспечивают работу местной АТС, охранно-пожарной сигнализации, видеосистем, инженерных обслуживающих систем. Сеть, интегрально обеспечивающая информационные связи этих служб, называют структурированной сетью предприятия. Узлы рассматриваемых сетей — АРМ управленческого персонала, серверы БД приложений, складов данных, Web-серверы (последние обеспечивают выход корпоративных систем в Ethernet).

Наряду с типизацией ИС происходит типизация сетевых ОС, которыми оснащены ПК — узлы ИС. Лидерами таких ОС, требующих минимальных объемов памяти, являются: Windows NT; Netware 4.1; OS/2 LAN Server 4.0; Vines 5.54.

Большинство российских предприятий ориентируется на ОС Windows NT, которая стала фактически типовой ОС ИВС предприятий. То же самое происходит и с большими сетевыми

СУБД, которыми оснащаются информационные (корпоративные) системы предприятий. Если раньше можно было говорить о лидирующем положении ряда конкурирующих СУБД: Oracle, Subase, Informix, MS SQL — Server, Netwage SQL, то в последнее время на роль типовых лидеров для крупных предприятий все более явно претендует СУБД Oracle, которая, несмотря на сравнительно высокую стоимость, имеет преимущества перед другими большими СУБД в виде важных для предприятий приложений.

Все большее внимание уделяется открытости различных программных продуктов, используемых на рабочих станциях в узлах ИС и/или на отдельных ПК, являющихся пультами операторов. Это свойство реализуется через универсальные программные взаимосвязи, которыми оснащаются программы разных фирм. Наиболее распространенными видами таких взаимосвязей являются:

- типовой интерфейс общения ПрП друг с другом — OLE;
- межпрограммный протокол — DDE;
- протокол обмена с открытыми СУБД — ODBC;
- структурированный язык запросов к СУБД — SQL.

Наряду с этим открытость и простота получения данных в ИС достигается более широким внедрением Internet-технологий. Она дает возможность любым конечным пользователям обращаться с программами и БД с помощью гипертекста (как в Internet), что существенно сказывается на скорости внедрения и легкости эксплуатации ИВС.

На среднем уровне управления (цех, отделение, крупный агрегат) связующим звеном между контроллерами и пультами операторов является промышленная сеть, которая должна гарантировать не только обычные, предъявляемые с ИС, но и специфические требования доставки всех полных сообщений в нужное место и в заданное время. Если раньше каждая фирма, выпускающая ПТК, разрабатывала свою, закрытую для других контроллеров промышленную сеть, то в последние годы под нажимом заказчиков фирмы изменили свою политику, стали ориентироваться на открытие своих промышленных сетей для аппаратуры других фирм. Постепенно выделилось несколько наиболее распространенных промышленных сетей, зарекомендовавших себя на практике с удовлетворительными для пользователей показателями, высокой надежностью работы и простотой обслуживания (сети Modbus, Interbus, Bitbus S, CAN и др.), соответственно ими стали оснащать свои ПТК разные производители.

В последние годы появился стандарт — промышленная сеть Profibus, получившая признание ведущих фирм. Эта сеть имеет следующие характеристики:

- различная топология — шина, кольцо, звезда, дерево;

- два возможных метода доступа — передача и ведущий/ведомый;
- три вида протоколов (DP — быстрая коммуникация, PA — повышенная безопасность, FMS — сложные задачи коммуникации);
- возможные физические среды передачи данных — экранированная витая пара, оптоволокно;
- физический порт — RS-485;
- длина сети — 9,6 км на витой паре и 90 км на оптоволокне;
- число узлов (станций) — 32 на сегмент, 126 на всю сеть, которая может состоять из четырех сегментов;
- скорость передачи сообщений от 9,2 Кбод до 12 Мбод.

Используемая на среднем уровне управления аппаратура достаточно полно типизирована. Это касается и пультов операторов, и контроллеров. В качестве пультов операторов используются различные по мощности типовые ПК. Функциональные клавиатуры операторов, обычно включаемые в комплект пульта, поставляются в стандартном исполнении, и все большее число фирм вместо разработки оригинальной функциональной клавиатуры включают их в поставку для ПТК, т. е. применяется стандартизированный вариант.

В большинстве случаев ОС пультов в зависимости от принятой архитектуры системы управления реализуются в вариантах типовых ОС Windows, либо широко распространенной ОС РВ QNX.

Основное ПО пультов оператора и диспетчера, рабочих станций мастера и начальника цеха реализуется SCADA-программой, которая выполняет основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе контроля и управления.

Она всегда состоит из инструментального (средство разработки конкретного ПО различных пультов) и исполнительных комплексов (реализация разработанного ПО в определенной операционной среде).

Постепенно уменьшается число фирм, которые сами разрабатывают для своего ПТК оригинальные SCADA-программы, возрастает число специализированных фирм, выпускающих открытые SCADA-программы, используемые практически с любым ПТК. Открытость SCADA-программы обеспечиваются рядом факторов:

- возможностью их работы в типовых операционных средах;
- наличием типовых программных интерфейсов (DDE, OLE, ODBC, SQL и др.), связывающих их с другими программами и СУБД;
- включением специальных драйверов для связи SCADA-программ с наиболее прогрессивными контроллерами разных фирм (в ведущих открытых SCADA-программах имеется несколько сот различных драйверов);

• присутствием в них особого инструментального средства для создания новых драйверов.

**Открытость SCADA-программы** достигается также путем использования специального достаточно нового стандарта — типового интерфейса общения между ПрП в промышленных СУ — OPC. Наличие почти во всех последних версиях контроллеров и открытых SCADA-программах стандартного интерфейса OPC позволяет непосредственно соединять их без разработки специальных драйверов.

Открытые SCADA-программы обладают преимуществами перед большинством закрытых программных продуктов того же назначения, разрабатываемых фирмами, выпускающими ПТК. Эти программы более мощные, отличаются разнообразием возможностей, проще при проектировании ПТК и удобны в эксплуатации.

**На нижнем уровне управления, объединяющем отдельные контроллеры с выносными блоками ввода/вывода и интеллектуальными приборами** (датчиками и ИМ), происходят крупные изменения, которые, с одной стороны, обусловлены общими тенденциями стандартизации различных классов средств автоматизации, а с другой — увеличением мощности и параллельным удешевлением микропроцессоров, встраиваемых в отдельные приборы (т. е. они соответствуют прилагательному «интеллектуальные»).

Достаточно перспективной техничеки и выгодной экономически является связь интеллектуальных датчиков и ИМ с контроллерами посредством цифровой шины. Ее применение исключает искажения низковольтных аналоговых сигналов в цепях связи контроллеров с приборами, возникающие от различных промышленных электромагнитных помех; существенно экономит средства на кабельную продукцию, позволяя к одной шине подключать несколько приборов. Для соединения контроллеров ПТК с приборами разных фирм необходима стандартизация полевой шины. Необходимый типовой протокол — HART-протокол — был создан, и фирмы, выпускающие ПТК и приборы, его поддерживают.

Основные параметры HART-протокола:

- длина полевой шины — 1,5 км;
- скорость передачи данных — 1,2 Кбит/с;
- число приборов, подключаемых к одной шине, — 5 ÷ 15 (обычно до 8);

HART-протокол позволяет:

- проводить удаленную настройку датчиков на требуемый диапазон измерений посредством полевой шины;
- не подводить к датчикам отдельные линии электропитания и не иметь в них блоков питания, при этом электропитание реа-



лизуется посредством полевой шины от блоков питания контроллера;

— увеличивать информационный поток между контроллером и приборами, в частности при наличии самодиагностики в приборах передавать сообщения о неисправностях полевой сети, а далее — от контроллера оператору.

В последнее время наблюдается тенденция рационального использования микропроцессоров, встраиваемых в интеллектуальные приборы и в блоки ввода/вывода. Это обусловило появление идеологии Fieldbus Foundation, ставящей своей целью перенос типовых алгоритмов переработки измерительной информации (фильтрации, масштабирования, линеаризации и т. п.), регулирования (стабилизации, слежения, каскадного управления и т. п.), логического управления (пуска, останова, блокировки и т. п.) на самый нижний уровень интеллектуальных блоков ввода/вывода, датчиков и ИМ.

Для реализации этой идеологии разработана новая типовая полевая сеть Fieldbus H1, которая завоевывает свое место в продукции разных фирм. Эта сеть реализует все функции, свойственные HART-протоколу, при этом по специальным технологическим языкам общения с приборами представляется возможным посредством этой сети программировать конкретные алгоритмы контроля и управления, реализуемые в приборах. Ее параметры почти не отличаются от параметров современных типовых промышленных сетей:

- длина одного сегмента шины — до 1,5 км;
- скорость передачи информации по сети — 31,25 Кбит/с;
- число приборов, подключаемых к сети — до 32;
- метод доступа к сети — ведущий/ведомый.

Существующая в настоящее время типизация отдельных программных и технических средств и их открытость к средствам других фирм позволяет системным интеграторам не разрабатывать, а собирать из отдельных программных и технических модулей и средств разных фирм достаточно большие ПТК и СУ, ориентированные на автоматизацию конкретных промышленных объектов.

Функции системы подразделяются на информационные, управляющие и вспомогательные.

*Информационные функции:* измерение и контроль параметров; обнаружение, сигнализация и регистрация отклонений параметров от установленных границ; ручной ввод данных; формирование и выдача оперативных данных; архивирование; анализ срабатывания блокировок и защит; расчетные задачи.

Для сложных расчетов в системе может быть выделен отдельный сервер приложений; ПО сервера приложений полностью

разрабатывается фирмой-разработчиком, обеспечивая открытость основной системы по данным и протоколу обмена данными. Достаточно сложные задачи могут быть реализованы на языке Кругол как на станции оператора, так и в контроллере.

*Управляющие функции:* непосредственное цифровое регулирование с использованием всех известных законов автоматического регулирования; схемы регулирования формируются из библиотеки алгоблоков и с использованием технологического языка Кругол; выдачи сигналов задания регуляторам со станции оператора и дискретных воздействий на контроллер с клавиатуры компьютера.

Система обеспечивает контроль прохождения команды с клавиатуры на монитор и контроллер.

*Вспомогательные функции:* тестирование и самодиагностика КТС, перенастройка системы (реконфигурация ПО), подробная экранная помощь оператору, поддержка единого системного времени.

## **Работа оператора-технолога**

Информация, выдаваемая на монитор, группируется на видеокадрах по функциональному признаку и отображается в виде фрагментов технологических схем, графиков, таблиц, гистограмм. Она предоставляется оператору по принципу «детализация сверху вниз» (от общего к частному). В системе предусмотрены видеокадры: стандартные и мнемосхемы.

Стандартные видеокадры (окна) включают:

— протокол событий (по системе в целом, технологическим отделениям);

— «настройку» — таблицу операторной настройки для каждого параметра;

— групповые и одиночные тренды;

— доступ к системе (таблица прав доступа к функциям системы для каждого пользователя);

— меню печатных документов и др. видеокадры, в том числе «обзорное табло», т. е. обобщенный кадр системы (первый уровень детализации): информация о состоянии цеха (отделения и т. д.) поделена на технологические участки, названия которых высвечиваются на видеокadre; изменение цвета названий (зеленый, желтый, красный) указывает на появление сигнализации на соответствующем технологическом участке;

— «участок» (установка, агрегат), т. е. второй уровень детализации: информация о состоянии параметров одного технологического участка; при этом все его переменные условно разбиваются

на функционально связанные группы; изменение цвета названий групп переменных (зеленый, желтый, красный и др.) указывает на появление сигнализации на соответствующем технологическом участке;

— «группа переменных» (третий уровень детализации) — подробная информация о технологических переменных; при этом предусмотрен вывод на мнемосхемы (экран монитора) следующих динамических элементов: текущего значения аналоговой переменной в цифровой форме; состояние дискретной переменной в виде надписей «вкл», «откл», «откр», «закр»; динамического барграфа; динамического элемента мигания определенного поля мнемосхемы; динамической виртуальной клавиши, при нажатии на которую происходит переход от текущей мнемосхемы по выбору на любую другую; динамической области мнемосхемы, на которой могут высвечиваться различные «картинки» в зависимости от взаимного состояния дискретных сигналов и других логических переменных, и многих других.

В системе предусмотрено формирование и отображение на мониторе, а также печать «протокола событий» — отчетного документа, в котором в хронологическом порядке фиксируются все события в системе; отчетных документов произвольной формы; «протоколов предаварийного и послеаварийного состояний».

### **12.1. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО (АРМ) ОПЕРАТОРА-ТЕХНОЛОГА**

АРМ оснащен персональными компьютерами (ПК) и прикладными программами, предназначенными для реализации отдельных функций (например, измерения параметра) или блоков функций (например, управление технологической операцией). Все АРМ подсоединены к единой технологической платформе, работающей на базе мощного сервера. При использовании этой схемы электронной обработки информации организуется многопользовательская работа с разными или одними и теми же программами и наборами данных.

**АРМ — это комплекс объединенных между собой технических модулей, обеспеченный программными средствами и способный реализовать законченную информационную технологию (рис. 12.2).**

В комплекс входят следующие модули: процессор, дисплей, принтер, клавиатура, манипулятор «мышь», плоттер, сканер, стриммер, оборудование для дистанционной передачи данных. Программными элементами АРМ являются операционные системы, системы управления базами данных, пакеты прикладных

программ, специальные программы, графические и текстовые редакторы, табличные процессоры и т. д. Таким образом, речь идет о комплексе технического и программного обеспечения — инструменте любого пользователя. Понятие АРМ многие часто связывают только с комплексом технических и программных средств, обеспечивающих решение определенных функциональных задач конечного пользователя. Однако на практике понятие АРМ должно охватывать проблемы от создания систем распределенной обработки данных (с определением информационных уровней) до решения эргономических вопросов (расположение и состав технических средств, удобство пользования ими и др.).

АРМ сближает пользователя с возможностями современной информатики и вычислительной техники и создает условия для работы без посредника — профессионального программиста. При этом гарантируется автономная работа и возможность связи с другими пользователями в пределах организации (предприятия) и с учетом их особенностей. Для автоматизации каждой категории работ ПК оснащены различного рода программными пакетами, обеспечивающими необходимый технологический уровень работы АРМ. Обязательным условием эффективного использования АРМ является наличие в нем сервисной системы поддержки работы пользователя, которая включает в себя программы обучения работе на клавиатуре, правила защиты информации и обращения с носителями, технологические инструкции с примерами проведения конкретных видов работ.

Система должна отвечать на вопросы пользователя о том, как расширить возможности АРМ, к кому обратиться по обслуживанию, т. е. выступать в роли консультанта.

Основные функции АРМ оператора: контроль технологических параметров; звуковая и световая сигнализация; управление регуляторами, клапанами, дискретными ИМ; контроль и управление программно-логическими операциями противоаварийной защиты (ПАЗ); запоминание предыстории параметров в форме трендов; формирование режимных листов, протоколов нарушений, срабатывания блокировок и защит с указанием причины; расчет обобщенных показателей качества ТП.

Система видеок кадров АРМ оператора включает:

- обзорный кадр с наименованием узлов и стадий ТП и сигнализацией их состояний при нарушениях регламента и сбоях работы оборудования (каждый узел отображается строкой на экране с индикацией состояния);

- кадр состояния параметров выбранного участка в табличной форме с шифрами параметров, текущих значений и единиц измерения;

- кадр состояния выбранной группы регуляторов в графической форме, обеспечивающей управление заданием и ИМ (клапаном);

- тренды (в графической форме), отражающие историю группы параметров с возможностью масштабирования по осям, просмотра значений по указателю, вывода на печать;

- мнемосхемы текущего состояния технологического узла с возможностью управления регуляторами и дискретными ИМ;

- кадр управления, отражающий текущее состояние и обеспечивающий управление алгоритмами программно-логического управления и ПАЗ;

- бланки АСУ ТП для просмотра и печати режимных листов, протоколов нарушений, срабатывания ПАЗ;

- диагностику текущего состояния контроллеров и каналов связи;

- архив для просмотра и печати бланков АСУТП.

ПО АРМ наладчика состоит из следующих программ:

- 1) подготовки, трансляции, компоновки, загрузки, выгрузки и ретрансляции ППР контроллера, контроля и управления переменными, снятия переходных характеристик объекта с выводом на печать;

- 2) расчета настроек регуляторов по кривой разгона с идентификацией динамической модели;

- 3) расчета настроек регуляторов итерационным методом в режиме РВ с замкнутым контуром регулирования; слегка раскачивая контур, за 2—3 итерации программа выполнит настройку с занесением коэффициентов в память контроллера.

Основные функции АРМ химика-аналитика:

- 1) прием и хранение аналитических сигналов;

- 2) управление отбором проб и режимами работы анализаторов качества;

- 3) обработка результатов в режимах градуировки и анализа;

- 4) ручной ввод и ведение архива аналитических данных;

- 5) формирование отчетных документов.

Основные функции УАРМ операторов:

- 1) моделирование объекта и САР, выполнение функции УАРМ операторов;

- 2) настройка программ на конкретное применение, обучение операторов-технологов управлению ТП в условиях АСУТП на базе двух ПЭВМ, одна из которых выполняет роль модели объекта, вторая — АРМ оператора АСУТП, на которой оператор приобретает навыки управления ТП.

ПЭВМ связаны между собой, например, последовательным интерфейсом RS-485. Обмен данными предусматривает передачу

управляющих воздействий от ПЭВМ обучения к ПЭВМ модели и обратно — от модели рассчитанных значений переменных. Выдачу управляющих воздействий оператор осуществляет с клавиатуры ПЭВМ обучения, а возмущающих воздействий — с клавиатуры модели. Кроме того, возмущение может быть задано цугом прямоугольных импульсов или синусоидальной волной, случайным образом.

При создании системы комплексной автоматизации, а также при необходимости специалисты должны иметь следующие данные: количество АРМ оператора в системе; необходимость АРМ верхнего уровня (начальника смены, начальника цеха); необходимость сервисных АРМ (начальника, для обучения); число входных аналоговых сигналов, контуров регулирования, входных дискретных сигналов состояния, выходных дискретных управляющих сигналов, контуров ПАЗ в системе; сведения о характере ТП, наличии и числе программно-логических операций (рис. 12.2).

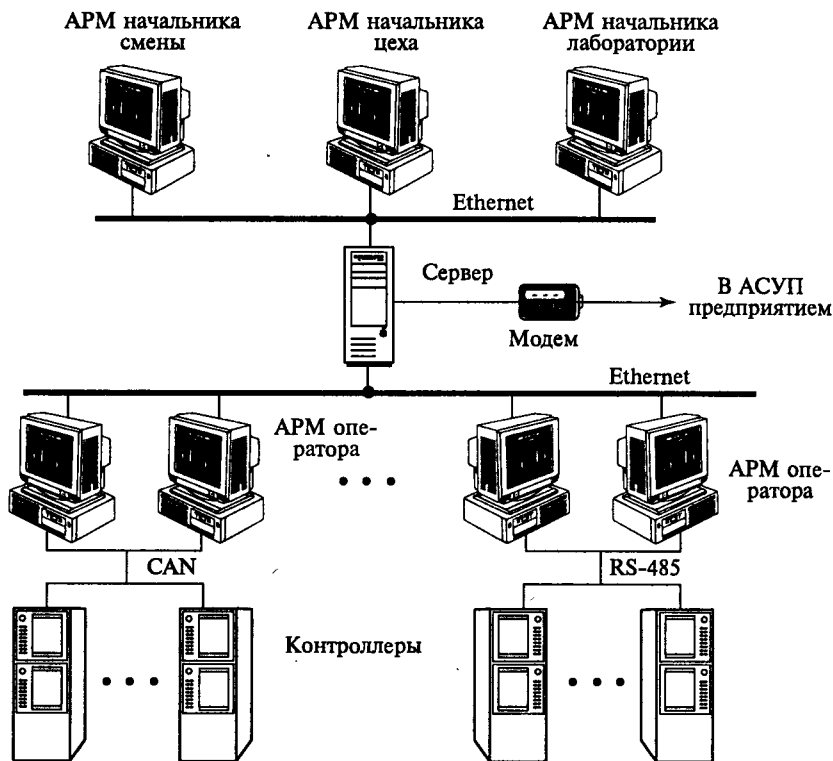


Рис. 12.2. Структура СА с использованием АРМ и контроллеров

## 12.2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУТП

Для современных автоматизированных комплексов (АТК), смонтированных на вычислительных и микропроцессорных средствах, важной составляющей является их программное обеспечение (ПО), которое решает вопросы связанные с разработкой и эксплуатацией программ для программно-технических комплексов (ПТК) и микропроцессорных контроллеров (ПМК и ПЛК).

Программное обеспечение, с помощью которого проводится разработка ПО, называют *инструментальным*. В его состав входят следующие программы: редакторы, трансляторы, компоновщики, настройщики, библиотекари и др.

Если с помощью инструментального ПО на ЭВМ с одной системой команд осуществляется разработка ПО для ЭВМ с другой системой команд, то такое инструментальное ПО называют *кроссовым*.

Программное обеспечение, полученное в результате разработки и отладки и предназначенное для решения различных задач пользователя, называют *прикладным*.

В вычислительной системе всегда имеет место *системное ПО*, которое обеспечивает работу аппаратуры (внешних устройств, таймеров, УСО и т. п.) и запуск прикладных программ.

Таким образом, ПО может использоваться в трех основных режимах:

- разработка и отладка ПО (инструментальное);
- решение прикладных программ (прикладное);
- обеспечение работы аппаратуры (системное).

В последнее время большое применение нашли специализированные пакеты ПО, обеспечивающие разработку и эксплуатацию прикладного ПО для определения задач, а также для пультов-программаторов ПМК. Программное обеспечение последних включает язык программирования простейшего уровня — международного стандарта ИЕС-1131-3 и др., а также утилиты работы с постоянным запоминающим устройством (ПЗУ) и с оперативным запоминающим устройством (ОЗУ), которые обеспечивают чтение, запись, копирование, редактирование и проверку.

Пульты-программаторы сложных ПМК (в том числе сетевых) имеют развитое ПО. Оно состоит из языков программирования низкого уровня и языков программирования высокого уровня (Visual Basic, Фортран, СИ++ и др.), которые дают возможность значительно ускорить процесс разработки и отладки прикладного ПО. Большое значение имеют персональные ЭВМ (ПЭВМ) для разработки ПО микропроцессорных контроллеров в режиме программаторов и кроссовом режиме.

Разработка ПО для систем управления с применением программно-технических комплексов (ПТК) усложнена, так как имеет развитый набор устройств отображения и накопления информации. К ним следует отнести алфавитно-цифровые и графические мониторы, которые обеспечивают отображение точной и оперативной информации состояния технологических процессов. Устройства печати позволяют получать документы отчетности и контролируемости технологических процессов, при этом в качестве ПЗУ применяются накопители на жестких и гибких магнитных дисках.

Одна из важнейших проблем, стоящих перед разработчиками любых компьютерных систем, — правильный выбор инструментального ПО, определяющего технологию проектирования, отладки и сопровождения системы, а значит, продолжительность, качество и стоимость разработки.

Круг задач, которые необходимо решать разработчикам АСУ, очень широк. К ним относятся задачи АСУТП, диспетчерских и информационных систем.

### **Задачи АСУТП и диспетчерских систем**

— Сбор и обработка технологической информации, взаимодействие с промышленными контроллерами, датчиками, измерительными приборами, ИМ;

— визуализация ТП, техническая анимация, ЧМИ;

— автоматическое управление и регулирование;

— накопление данных по истории работы системы, представление их в виде графиков, таблиц, отчетов и т. д.

### **Задачи АСУТП и информационных систем**

— Организация потоков информации в локальных и глобальных сетях;

— работа с локальными БД и серверами;

— создание клиентских и серверных компонентов в архитектуре «клиент — сервер», а также «клиент — сервер» приложений — сервер данных;

— развитие средств ввода и отображения данных (формы, страницы, многостраничные и одностраничные диалоги);

— сложная обработка и анализ данных (статистика, корреляционный анализ, моделирование), генерация отчетов и других документов.

Инструментальные средства (ИС), используемые при создании АСУ, можно разделить на SCADA-системы, сервера БД универсальные системы программирования.



Основой современного производства программных средств является программная инженерия (ПИ), которая включает в себя работы по их проектированию, реализации, эксплуатации и сопровождению. К главным результатам ПИ, необходимым при разработке программных систем (ПС), относят унификацию процессов создания и эксплуатации ПС; возможность рационального управления и оптимального использования всех видов ресурсов, задействованных при создании ПС; формирование и поддержку эффективной организационно-производственной инфраструктуры; возможность разработчикам целиком сосредоточиться на функциональной стороне проекта и т. д.

По функциональным возможностям существующие SCADA-системы в целом сравнимы. Технология программирования близка к интуитивному восприятию автоматизируемого процесса, а мощное объективно-ориентированное программирование, используемое в большинстве этих пакетов, делает эти продукты доступными в освоении для широкого круга пользователей.

Все системы можно считать в определенной степени открытыми, допускающими возможность дополнения функциями собственной разработки, имеющими открытый протокол для разработки собственных драйверов, развитую сетевую поддержку, возможность включения Active X-объектов и доступность к стандартным БД.

Важнейший фактор всех SCADA-систем — количество поддерживаемых ПЛК. Системы In Touch, Factory Link, Real Flex, Genesis поддерживают десятки и сотни драйверов, что делает их лидерами по этому показателю.

Применение в SCADA-системах новых технологий, разработка инструментальных средств комплексной автоматизации свидетельствуют о стремлении и возможности фирм-разработчиков постоянно совершенствовать свои продукты, что стимулирует пользователя при выборе инструментального средства.

В настоящее время ведущие компании — производители инструментальных систем концентрируются в области MS Windows NT, а так как общие технические возможности систем достаточно близки, то главная ставка делается на качество технической поддержки и обучения пользователей, на концентрацию и качество дополнительных комплексных услуг по освоению и внедрению конечной системы управления. Это обеспечивает сокращение издержек системных интеграторов и конечных пользователей на инжиниринг и менеджмент своих проектов, уменьшение стоимости сопровождения конечной системы.

В настоящее время в дежурный список поддерживаемых системами технологий и интерфейсов в дополнение к уже ставшим

традиционными DDE, DLL, OLE, ODBC/SQL включаются объектные компонентные модели COM/DCOM с Active X, технологии Java, универсальный интерфейс связи с внешними устройствами OPC, языки стандарта IEC 61131-3, языки описаний на основе Visual Basic for Applications, Internet/Intranet и т. д.

Инструментальное ПО сводит основную часть разработки конкретного проекта к параметризации (заполнению БД) и рисованию видеogramм — работам, которые способен выполнить любой достаточно грамотный пользователь компьютера, прошедший обучение. Однако в большинстве случаев, чтобы обеспечить требуемую разработку и функционирование пунктов управления АСУТП, необходимы программисты как «системные», так и «прикладники», умеющие программировать на традиционных языках программирования.

Полный набор требуемых функций в конкретной системе управления обычно не может быть обеспечен только базовым ПО (например, расчетные задачи, алгоритмы определения команд управления с пульта оператора). В последнее время наметилась тенденция встраивания в SCADA-программу развитых языков программирования С или VBA, что возвращает разработчика системы к традиционному программированию.

Организация многопользовательского пункта управления стала требованием сегодняшнего дня. Разработчики SCADA-программ рекомендуют клиент-серверную технологию: информация стекается на сервер, к которому по ЛВС подключаются АРМ пользователей. Появляется задача конфигурирования на базе SCADA ПО сервера и АРМ, которая требует специальных навыков как программирования, так и администрирования ЛВС.

При создании БД параметров на сервере для некоторых SCADA-программ необходимо указать сетевые адреса клиентов, имеющих доступ к тому или иному параметру; для других — на компьютере-клиенте создается копия БД доступных параметров с перечислением сетевых адресов источника данных.

Особого внимания требует корректность сетевых и внутренних настроек каждого сервера и рабочего места. Передача данных в другие АСУ (например, АСУ производственно-хозяйственной деятельностью) можно осуществить применением стандартных технологий ODBC и SQL, поддерживаемых большинством SCADA-программ. При этом использование ODBC и SQL гарантирует взаимодействие с любой популярной БД.

Конечных пользователей не очень интересует перечень технологических средств, использованных в конкретной SCADA-системе. Для них важны функциональные и коммуникационные возможности и технические характеристики систем, например, такие, как возможность через Internet приобрести нужный фрагмент для разрабатываемой

мой станции и без проблем «вставить» его в проект; руководству фирмы — «заглянуть» на экраны операторских станций дальнего предприятия и убедиться в соблюдении технологии; программисту — по просьбе заказчика проверить работу своей программы в СУ и после исправлений переслать новый вариант; возможность избавиться от «проблемы драйверов» средствами ОРС-интерфейса.

Интеграция СУ на всех уровнях в пределах предприятия в основном обеспечена средствами интегрированных программных систем (наборов) и коммуникаций.

### **12.3. МЕТОДЫ И ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Технологические процессы пищевых производств достаточно сложны и многообразны. Основным критерием, по которому их относят к тому или иному типу, является идентичность этих процессов по физико-химической природе, наличию материальных и энергетических внутренних связей.

Одним из признаков классификации пищевых технологических процессов является деление их на дискретные (например, изготовление хлебобулочных и кондитерских штучных изделий и т. д.); непрерывные, выпускающие продукцию непрерывным потоком в твердом или жидком состоянии (например, мукомольное производство и т. д.); непрерывно-дискретные процессы, сочетающие оба режима (виноделие, пивоваренное и ликероводочное производства и т. д.).

Технологические процессы пищевой промышленности различаются по физической природе, конструктивному оформлению, способу управления и т. д. Согласно этим признакам, их можно подразделить на следующие виды:

- процессы переработки различных материалов и физико-химические процессы, происходящие в соответствии с законами материального и энергетического баланса. Конечная цель — изготовление полуфабрикатов и готовой продукции;

- транспортные процессы — процессы движения подъемников, конвейеров, норий, насосов, пневмотранспорта и других технических средств, перемещающих в пространстве сырье, полуфабрикаты и готовую продукцию, а также другие среды. Конечная цель — адресная подача сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;

- энергетические процессы — процессы выработки, преобразования и передачи различных видов энергии;

- процессы сбора, обработки и передачи информации. Конечная цель — контроль и управление технологическими процессами пищевых производств.

Согласно указанным классификационным признакам, обозначают следующие типовые технологические процессы пищевой технологии:

- механические процессы — перемещение, транспортирование, дозирование, гранулирование, измельчение, смешивание, сортировка, обогащение;
- гидродинамические процессы — перемещение жидкостей, разделение газовых, жидких неоднородных смесей, перемешивание материалов;
- тепло- и массообменные и термодинамические процессы без изменения агрегатного состояния вещества — сжатие, разрежение, нагрев паром или газом, охлаждение, кондиционирование, вентиляция;
- тепло- и массообменные (диффузионные) процессы, в том числе с изменением агрегатного состояния вещества — разделение газовых смесей, экстрагирование, выпаривание, конденсация, дистилляция, ректификация и сушка;
- химические процессы — окисление, восстановление, нейтрализация, дегидротация, ароматизация, гидролиз полисахаридов, сульфитация, гидрогенизация, омыление, перегонка, фильтрация, образование гидроокисей;
- микробиологические процессы — брожение, стерилизация, приготовление и хранение питательной среды, выпаривание, перегонка, дозирование и фиксация.

Характер управляемого технологического процесса во времени определяется непрерывностью или дискретностью поступления сырья, полуфабрикатов и изготовления готового продукта, что определяется временем их пребывания в установившемся и неустановившемся (переходном) состояниях.

Согласно временной характеристике, технологические процессы по характеру могут быть подразделены на непрерывные, непрерывно-дискретные и дискретные.

*Непрерывные процессы* — это процессы, в которых конечный продукт производится поточным способом при непрерывном подводе сырья, энергии, компонентов, управляющих воздействий и т. п. Эти процессы (например, переработка сырья при производстве муки, сахара и т. п.) имеют достаточную стабильность и стационарность и наиболее удобны для управления.

*Непрерывно-дискретные процессы* — это процессы, при которых в течение определенного относительно длительного промежутка времени (часов или дней) вырабатывается определенное, ограниченное количество конечного продукта, периодически производимого порциями, для них характерно наличие циклов и сочетание особенностей непрерывного и дискретного процессов. Сырье и

полуфабрикаты вводятся регламентированными дозами и в определенной последовательности (операции смешивания и подачи энергии осуществляются в заданном порядке). После выполнения всех операций последовательной переработки продукции в соответствии с требованиями качества и рецептуры формируется порция конечного продукта (например, первичное виноделие и розлив, сахарорафинадное производство, стерилизация консервов, ферментация табака и чая и др.).

*Дискретные процессы* — это процессы, характеризующиеся периодической повторяемостью различных преобразований или чередованием операций перемещения и дозирования, наиболее важных для управления при производстве штучных изделий. Для данных процессов характерно большое количество однородных изделий во времени. К дискретным процессам относят процессы порционного и многокомпонентного дозирования: фасовка муки, печенья в пачки и другую тару, фасовка порошкообразных продуктов. Эти процессы отличаются высокой производительностью.

#### **12.4. НЕПРЕРЫВНЫЕ И ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ**

Значительных трудностей в управлении непрерывными технологическими процессами не возникает ввиду их непрерывности и стационарности.

Управление этими процессами осуществляется в основном локальными системами управления, а в последнее время в возрастающей степени — цифровыми системами.

Для пищевых производств характерны дискретные технологические процессы. С точки зрения модели процесса важно определить характер дискретности, чтобы учитывать его при управлении. К дискретным технологическим процессам можно отнести дискретные в пространстве технологии, технологии обработки дискретного продукта и дискретные системы управления.

*Дискретные в пространстве технологии* имеют место при последовательной обработке каждой порции продукта на технологических аппаратах, соединенных в цепочку. При этом поток продукта время от времени прерывается — технология периодическая.

Дискретная в пространстве модель описывает многие пищевые предприятия в целом, большинство участков и цехов пищевых производств (особенно завершающую цепочку производства), а также многие агрегаты (например, порционное тестоведение, тарельчатые дистилляционные и ректификационные колонны, экстракторы в масложировом производстве и др.). При разработ-

ке систем управления этих производств, особенно АСУТП, перспективна модель оценки технологической ситуации в целом (для цеха, предприятия), т. е. применение  $Z$ -преобразования (по номеру участка), динамического программирования Беллмана. Упрощенная структурная схема управления дискретной в пространстве технологией представлена на рис. 12.3.

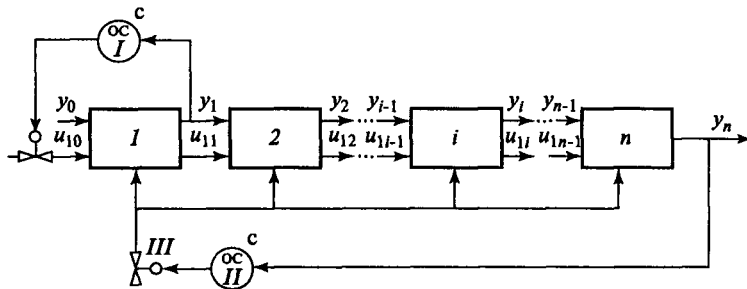


Рис. 12.3. Упрощенная структурная схема управления технологией в пространстве:

1, 2, ..., i, n — агрегаты, I — регулятор исходной концентрации, II — регулятор выходной концентрации, III — исполнительный механизм

*Технологии обработки дискретного продукта* применяют при производстве штучной продукции (хлебобулочные изделия, консервы, винно-водочные изделия, напитки и т. п.). Рассмотрим их с позиций реализации задач АСУТП для участка, цеха и т. п. Здесь характер готового продукта не столь существен, более важна пространственная дискретность, так как потоки продукта с определенной точностью можно принимать непрерывными.

В простейшем варианте управление дискретными процессами и потоками штучных изделий реализуется с помощью жестко фиксированных (в управлении) автоматов (линии розлива или упаковки), когда оборудование выполняет ряд наперед заданных операций.

В более сложном варианте — это автоматическая отбраковка готовых изделий. Эти задачи могут решаться с помощью теории конечных автоматов, сетей Петри, таблиц принятия решений, а техническая реализация — с помощью микропроцессорной техники.

## 12.5. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Нестационарность процесса создает серьезные трудности при его регулировании (необходимость адаптации, переменной структуры и т. п.). Для процесса, дискретного в пространстве, наряду

со стабилизацией отдельных параметров необходимо организовать взаимодействие агрегатов, согласовать режимы последовательно работающих агрегатов, распределить нагрузку между параллельно работающими агрегатами и т. п.

Таким образом, средства локальной автоматизации могут обеспечить только нижний уровень функционирования рассматриваемых систем. Для принятия более сложных решений требуется многоуровневая система управления. Особенности управления дискретными объектами предопределяет характер задач, решаемых управляющей ЭВМ. В относительно простых задачах управления можно ограничиться принятием решения на основе логических операций.

Часто при управлении дискретными процессами необходим учет времени, в течение которого протекает данный процесс, требуется слежение за протеканием нескольких асинхронно проходящих процессов, поэтому структура комплекса программ, реализующих эту управляющую функцию ЭВМ, усложняется.

Важной особенностью управления дискретными процессами является более высокий уровень (в сравнении с управлением непрерывными процессами) различных моделей при принятии решений. Большинство алгоритмов самонастройки и адаптивного управления реализуется моделями. Таким образом, возрастает удельный вес вычислительных функций ЭВМ.

Указанные особенности имеют важное значение при выборе средств микропроцессорной техники. Так, логическое управление легко реализуется перепрограммируемыми логическими контроллерами (ПЛК). Для решения более сложных задач управления дискретными процессами требуются микропроцессорные системы (МПС) с достаточно мощными операционными возможностями, что в настоящее время реально.

*Дискретные системы управления* — это цифровые системы непосредственного управления с помощью ЭВМ. Общей для них является дискретность по времени, т. е. формирование управляющих воздействий через определенные (равные) промежутки времени.

Модели дискретных объектов управления — нелинейные, но в большинстве случаев систему можно описать линейными кусочно-непрерывными функциями.

Для расчета таких систем широко применяют дискретное преобразование и Z-преобразование.

Существуют два перспективных класса систем управления дискретных объектов — адаптивные (приспосабливающиеся к изменениям характеристик управляемого объекта) и с переменной структурой.

*Адаптивные системы* применяются в ситуациях, когда динамические характеристики объекта изменяются в 1,5 и более раз.

Эти изменения могут быть вызваны «дрейфом» свойств объекта во времени, существенной нелинейностью объекта (например, когда свойства объекта резко меняются при изменении нагрузки), изменением характера процесса в объекте (что присуще объектам дискретного действия).

Адаптивные системы подразделяются на *самоадаптирующиеся* системы и системы с *эталонной моделью*. По этой классификации адаптивные системы подразделяются на следующие виды: *непрямые*, где применяются алгоритмы идентификации динамических характеристик объекта и проводят расчет на их основе параметров регулятора (здесь присутствует идентификатор и вычислитель); *прямые*, когда применяют алгоритмы адаптации для непосредственно изменяющих параметры регулятора по наблюдениям; *непрямая с предсказателем* и *прямая с предсказателем* — применение алгоритмов предсказания и порождаемых ими оценок для определения параметров объекта и последующего их изменения регулятором. При этом, в зависимости от выбора структуры предсказателя, формируется система с предсказателем (непрямая или прямая). Классификация адаптивных систем дана на рис. 12.4.

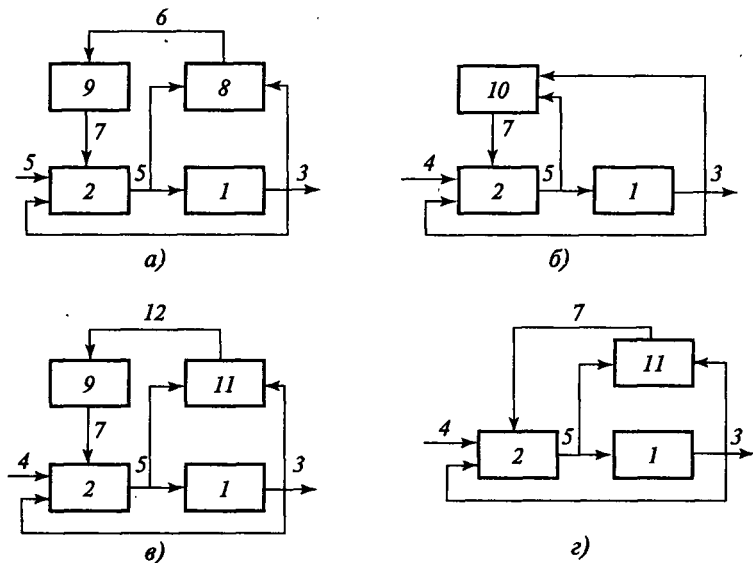


Рис. 12.4. Классификация адаптивных систем:

- а) — не прямая; б) — прямая; в) — не прямая с предсказателем; г) — прямая с предсказателем;  
 1 — объект; 2 — регулятор; 3 — регулируемый параметр; 4 — задание; 5 — управление;  
 6 — параметры объекта; 7 — параметры регулятора; 8 — идентификатор; 9 — вычислитель;  
 10 — адаптер; 11 — предсказатель; 12 — параметры объекта



В прямых адаптивных (самоадаптирующихся) системах самонастройка достигается за счет введения в структуру элемента, связи, делающих процесс регулирования нечувствительным к изменению одного или нескольких динамических параметров объекта. В простом варианте это система с бесконечно большим коэффициентом усиления в прямом контуре за счет введения релейного элемента или нелинейного элемента с насыщением. В более сложном варианте — вводят специальные фильтры, параметры которых подстраиваются под требуемое качество регулирования. Этот класс систем применяют только для изменения коэффициента передачи объекта и его нелинейности. Они постоянно функционируют в колебательном режиме.

Важным классом адаптивных систем являются системы с эталонной моделью. В них настройка параметров регулятора обеспечивает переходный процесс, близкий к эталону, который формируется специальной (эталонной) моделью. Эти системы работают без настройки параметров эталонной модели и относятся к прямым адаптивным. Такой подход целесообразно применять при синтезе следящих систем.

Для непрямых адаптивных систем важны алгоритмы подстройки модели, т. е. алгоритмы адаптации динамических характеристик. В последнее время большое распространение получили алгоритмы определения динамических характеристик объекта по его частотным характеристикам. Их определяют путем подачи на вход объекта, наряду с основным управляющим воздействием, пробного сигнала. Этот метод относительно точен и легко реализуется в цифровых системах. Достоинством алгоритма является простота вычислений, он легко реализуется средствами вычислительной техники.

Второй класс систем (регуляторов) управления с переменной структурой также обладает адаптивными свойствами. Во многих случаях, применяя системы с изменением структуры, следует понимать, что речь идет об изменении (как правило, дискретном, часто двухпозиционном) одной из уставок (например, времени изодрома) ПИ-регулятора, в ПИД-регуляторах с переменной структурой предусмотрено изменение всех трех уставок, а также когда одно из двух фиксированных значений уставки — «ноль» или «бесконечность», т. е. происходит изменение закона регулирования (например, П- на ПИ-). Известны регуляторы с переменной структурой, в которых в зависимости от ситуации переключается канал регулирования.

С точки зрения динамических свойств замкнутой системы изменение, вызванное переключением одной из уставок и переключением канала регулирования, приводит качественно (но не ко-

личественно) к одним и тем же результатам, т. е. динамические характеристики системы описываются двумя разными дифференциальными уравнениями (хотя различие только в одном или нескольких коэффициентах). В пределах интервала между переключениями данные системы часто рассматриваются как линейные (с некоторым приближением). Но переключение делает систему в целом существенно нелинейной. Поэтому часто анализируют (и синтезируют) системы с переменной структурой методом фазовых траекторий (или фазовых портретов) со «сшиванием» фазовых портретов линейных частей по линии переключения.

Во многих случаях (когда фазовые траектории направлены к линии переключения) возникает так называемый *скользящий режим*. В этом режиме происходят переключения состояний регулятора, однако движение системы в фазовых координатах уже почти не зависит от параметров линейных частей, а определяется линией переключения.

Поскольку параметры линии переключения зависят только от настройки переключающего устройства и в широком диапазоне инвариантны к «дрейфу» параметров объекта, формируется самонастраивающаяся система регулирования.

### **Особенности управления дискретными объектами**

Для объекта (агрегата) периодического действия даже в простых случаях от системы требуется надежная (оптимальная) работа. Например, в точно заданные моменты времени необходимо открыть клапан, проверить, действительно ли он открылся, выдержать заданное время, закрыть этот клапан, открыть другой и т. п. При этом речь идет только о жестком автомате, работающем по времени, без регулирования. Однако и в этом случае от системы требуется предпринять нестандартные действия в случае несрабатывания исполнительного механизма. Возможен более сложный случай, когда технология требует обратной связи по ходу процесса.

### **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ**

1. АСУТП — концепция построения систем управления.
2. Функции АСУТП.
3. АРМ оператора-технолога.
4. Программное обеспечение АСУТП.
5. Методы и функции управления технологическими процессами.
6. Непрерывные и периодические процессы и особенности их управления.
7. Системы управления дискретными процессами.

## Глава 13. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОПЕРАЦИЙ, ПРОЦЕССОВ

Современные технологии — это комплекс средств производства и методов целенаправленного воздействия, основанного на использовании физических, химических, биохимических, микробиологических, ферментативных и других закономерностей, изменения формы, состояния и свойств определенных предметов труда, методов их реализации и практического применения.

Система технологии — это целостная система процессов и явлений с определенной структурой, взаимосвязями и организацией отдельных операций, обладающая целостностью, стабильностью, устойчивостью и другими свойствами.

Технологическая система, операция, процесс — это сложный объект, которым является практически любая современная пищевая технология, основное звено в нем составляет система «технологическое воздействие — объект (продукт)», так как именно в субстрате формируется качество продукции.

Технологическая система, операция, процесс производства пищевых продуктов взаимодействуют с окружающей средой и осуществляют связь между элементами по трем каналам: вещество, энергия, информация.

Продукт (объект) обработки следует рассматривать как элемент многоуровневой системы, которая включает человека (управляющий элемент), оборудование (передающий и преобразующий энергию, вещество и информацию элемент) и предмет труда (сырье, полуфабрикат и конечный продукт). При этом предмет труда воспринимает и накапливает энергию и вещество, необходимые для его преобразования.

В последние годы развитие технологий и технических средств обусловило тот факт, что наибольшее распространение в пищевой промышленности получили те из них, которые стимулируют: замену дискретных процессов на непрерывные, сокращение потерь сырья и рациональное его использование, повышение качества производимой продукции, ресурсосбережение и устранение неблагоприятных воздействий на окружающую среду.

При системном подходе в изучении систем технологий, закономерностей их функционирования и развития в основном используют два вида анализа: структурный и функциональный.

*Структурный анализ* рационален в том случае, когда объект исследований имеет количественно сложную структуру при отно-

сительно небольших сложностях и разнообразии составляющих элементов.

*Функциональный анализ* целесообразен в случае, когда число первичных элементов объекта исследований небольшое, но по сути они являются сложными по своим параметрам и взаимосвязям.

Системы технологических процессов производства можно структурно разделить на последовательные, параллельные и комбинированные.

*Комбинированная технологическая система* — это система структур, которую можно представить как объединение последовательных и параллельных систем более низкого уровня.

Метод структурного анализа (декомпозиция сложных систем на более простые элементы), переход от структур к их функциям находят большое применение в пищевой промышленности.

Структурный анализ технологических систем и подсистем (операций, процессов) показывает, что переходы от одного жизненного цикла к другому протекают волнообразно. Поэтому в первые несколько лет цикла происходит накопление новых технологий и энергии, потом период нововведений достигает максимума (взрыва), а затем в период коммерческой эксплуатации темп событий постепенно замедляется — события происходят периодически (волнообразно).

Любая технологическая система, подсистема и ее элементы могут быть абстрактно представлены некоторой математической моделью функционирования, что соответствует упрощенному отображению наиболее существенных их свойств. Математическое описание характеризует правило преобразования входных сигналов в выходные по заданной структурной технологии. Рационально составленное содержательное математическое описание позволяет проследить за изменением состояний технологий во времени.

В сравнении со структурным описанием математическое описание технологий составляет важнейшую часть их формализации. Особый интерес для пищевых технологий представляет проблема формализации качественных характеристик ее сырья и продукции, включая и органолептические оценки качества пищевых продуктов.

В основе изучения функционирования технологических систем и протекания процессов всегда лежит эксперимент — реальный или модельный. Содержание реального эксперимента — это изучение свойств непосредственно на самом объекте. Модельный эксперимент состоит в изучении поведения объекта посредством его модели.

Методы моделирования базируются на понятии подобия различных объектов. При этом подобными называются объекты, параметры которых характеризуют их состояние, отличаясь в определенное число раз, т. е. масштабом подобия. Подобие объектов может быть полным при условии, если у объектов подобны все параметры, или неполным, если подобны только наиболее существенные. Один из двух объектов, между которыми имеет место подобие, называется объектом моделирования, а другой — его моделью.

Построение модели и изучение свойств объекта моделирования путем анализа аналогичных свойств его модели представляет собой процесс моделирования.

Подобие различных объектов может быть физическим или математическим. Процессы, протекающие в физически подобных объектах, имеют в основном одинаковую природу. У математически подобных объектов процессы могут обладать различной физической природой, но описываться одинаковыми уравнениями. Согласно этому положению различают методы физического (натурного) и математического (программно-компьютерного) моделирования.

Таким образом, можно констатировать: *модель — это упрощенная копия объекта, обладающая такими же, как у него, важнейшими свойствами, необходимыми для реализации поставленной задачи; математическая модель — это система математических соотношений, описывающих количественно и качественно свойства объекта.*

Математическая модель предоставляет исследователю и проектировщику возможности для подробного изучения объекта, апробации множества вариантов технических решений и выбора наилучшего из них с учетом минимальных материальных затрат при проведении эксперимента. Математическая модель должна быть адекватна объекту, т. е. количественно и качественно повторять свойства объекта.

При моделировании технологий или технологических систем целесообразно выделить модели элементов и модели их взаимоотношений.

Модели элементов представляют собой непрерывные математические модели сред и носят функциональный характер. Эти модели описываются системами алгебраических или дифференциальных уравнений и отражают свойства механических, физико-химических, тепловых процессов объекта. Непрерывный характер таких моделей обусловлен непрерывностью времени и пространства, в которых происходит изменение свойств моделируемого объекта.

Модели взаимосвязи элементов или структурные модели отражают только структурные свойства объектов, например взаимное расположение элементов в пространстве, геометрическую форму и т. д. Структурные модели чаще всего представляются в виде графов, матриц смежности и т. д. и являются моделями дискретной математики.

Методология математического моделирования сложной технологической системы включает семь последовательных стадий:

- Первая стадия — постановка задачи, она наиболее важна, поскольку не существует общих правил, которые можно использовать во всех случаях. Технические проблемы достаточно разнообразны, поэтому для успеха анализа должна быть ясна природа данной конкретной задачи. Постановка задачи определяет не только цель анализа, но и пути ее решения.

- Вторая стадия — определение фундаментальных законов, которым подчиняется механизм явлений, составляющих проблему. Теоретические основы процессов изучаются по различным источникам. Если не удастся подобрать удовлетворительную теорию, следует основываться на постулатах. Их справедливость проверяется сравнением результатов решений математической модели, построенной в соответствии с принятыми постулатами, с экспериментальными данными. Таким образом проверяется, какая из нескольких возможных теорий наиболее достоверно отражает сущность изучаемых явлений.

- Третья стадия — на основе выбранной физической модели применительно к решаемой задаче записывается система соответствующих математических уравнений. Этот шаг необходим для ясного понимания и определения проблемы.

- Четвертая стадия — составляются уравнения и определяется метод их решения. Вычислительной стадии предшествует этап анализа информации, которую необходимо получить при решении задачи. Составляя таблицу различных случаев, рассматриваемых для данной задачи, и сопоставляя с информацией, которую ожидается получить в каждом случае, можно определить избыточную информацию и таким образом и облегчить составление программы расчета на последующей стадии.

- Пятая стадия — выбирается один из нескольких возможных способов решения в зависимости от уровня проведенного исследования процесса и от сложности уравнений модели.

- Шестая стадия — анализ модели. Фактически можно выделить три основных уровня модели. Первый — если необходимо решить сложный вопрос с помощью достаточно простых уравнений, то ответ определяют путем просмотра модели, не решая входящие в систему уравнения. Этот метод не следует распро-

странять на более сложные случаи из-за значительного увеличения количества неапробированных предположений и допущений. Второй уровень анализа связан с решением уравнений аналитическим методом. Третий уровень анализа, проводимый с использованием ЭВМ, является наиболее результативным и единственно целесообразным для решения задач высокой сложности.

- Седьмая стадия — изучение и подтверждение результатов, полученных при решении математической модели. Любому не предполагаемому заранее решению следует дать рациональное объяснение, чтобы гарантировать себя от ошибок, которые могут появиться в результате вычислений.

При построении математических моделей технологий выделяют два основных метода: детерминированный и статистический. Соответственно различают детерминированные и статистические модели.

При построении любых математических моделей важное значение имеют всевозможные допущения, приводящие к упрощению моделей (в частности, некоторая идеализация условий протекания процессов). Математические модели, описывающие технологии, распределены примерно следующим образом: на долю пооперационных моделей, описывающих технологический процесс, приходится 15%; доля моделей, описывающих качество сырья, промежуточного и конечного продукта, а также подготовительные операции, составляет 75%; на долю моделей, управляющих процессом, приходится 10%.

Одной из основных задач, возникающих при моделировании технологий, является выбор уровня математического моделирования, так как любой объект в этом случае можно рассматривать в качестве микро- или макрообъекта. Хотя такое деление достаточно условно, поиск значимых и незначимых параметров очень важен при математическом моделировании технологических систем и подсистем, поскольку фазовые переходы характерны при глубоких преобразованиях биологического сырья, которые протекают в процессе промышленной переработки.

В настоящее время в связи с компьютеризацией отраслей АПК для решения проблем управления технологическими процессами широко используют математические модели этих процессов. Однако исследователи часто сталкиваются с ситуацией, когда неточность применяемых моделей обусловлена отсутствием знаний фундаментального характера, касающихся физических, химических, биохимических, микробиологических, ферментативных свойств процессов, протекающих в субстратах, используемых в пищевых технологиях. Поэтому наиболее приемлемой является трехуровневая система классификации полученных моделей.

**К математическим моделям первого уровня**, описывающим технологический процесс, относят модели, в которых аналитические и графические параметры процесса получены в результате экспериментальных исследований на конкретной установке или приборе. Этот достаточно широкий, класс моделей представляет собой дискретный набор значений параметров (таблица или точка на графике), которые в дальнейшем подвергаются математической обработке для получения аналитической зависимости между этими параметрами. В результате такого подхода обрабатываемая среда не находит отражения в математической модели процесса, так как отсутствует причинно-следственная взаимосвязь между параметрами процесса с точки зрения законов природы. Обрабатываемая среда присутствует в модели процесса лишь косвенно. Поэтому никакой новой информации о процессе, кроме той, которая содержится в экспериментальных данных, с помощью модели этого уровня получить невозможно.

Таким образом, модели первого уровня являются, как правило, малоинформативными и узконаправленными. По сути, модели первого уровня являются первой ступенью в познании объекта исследования.

Однако модели первого уровня, ввиду их простоты и доступности, при надлежащем метрологическом контроле можно достаточно эффективно применять для управления несложными технологическими процессами.

При усовершенствовании моделей первого уровня за счет использования рациональных методов, более совершенных технических средств измерений и необходимого количества измерений можно построить модели второго уровня.

**К моделям второго уровня** относят модели, которые соответствуют хорошо известным и изученным процессам и их моделям, но с введенными в них соответствующими экспериментально определенными или аналитическими поправочными коэффициентами.

Это более узкий класс моделей, формируемый путем замены неизвестного исследуемого процесса другим, более простым и хорошо известным. Измерения на этом уровне осуществляются в точном соответствии с принятой математической моделью. Полученные результаты измерений обрабатываются по приближенной модели, что обеспечивает получение математической модели исходного процесса.

Модели второго уровня предоставляют возможность оценить влияние оборудования на конкретный процесс и глубоко его проанализировать, чего в принципе не дает модель первого уровня.



Модели второго уровня нашли меньшее применение из-за высокой трудоемкости их формирования.

**К математическим моделям третьего уровня**, описывающим технологические процессы, относятся модели, в которых параметры процесса определяются известными законами физики, химии и др. Это достаточно узкий класс моделей, который получают посредством глубоких теоретико-экспериментальных исследований на современном уровне фундаментальных знаний о конкретном процессе.

Математическая модель третьего уровня является своеобразным эталоном технологического процесса, и по ней можно контролировать его, а также оценивать саму модель.

Отметим, что далеко не все методы моделирования, применяемые в современных научных, технических, биотехнологических областях знания, нашли применение в пищевых технологиях.

К таким методам относятся: математическое и динамическое программирование, метод марковских случайных процессов, метод теории массового обслуживания, метод динамики средних, метод учета надежности, метод статистических испытаний, метод игровых графов, нелинейного программирования, методы стохастического программирования с их разнообразным математическим аппаратом (исчисление конечных разностей, дифференциальное и интегральное исчисления, статистическое исчисление и исчисление вероятностей, исчисление множеств, алгебраическое векторное и тензорное исчисление, исчисление подобия и размерности специальных функций и экстремалей, исчисление рядов, приближенных и рекурсивных функций и преобразований и т. п.).

### 13.1. ТИПОВЫЕ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В зависимости от метода, применяемого для построения модели, можно выделить модели типа «черный ящик» (экспериментальный метод); основанные на физико-химических закономерностях процесса (аналитический метод); смешанные модели.

**Модель типа «черный ящик»** реализует один из общих методов кибернетики для исследования процессов при эмпирическом подходе. Рассмотрим технологический процесс в общем виде.

На вход объекта поступают три вида величин: входные контролируемые (независимые) воздействия  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ; управляющие воздействия  $u_1, u_2, \dots, u_r$ ; неконтролируемые возмущающие воздействия  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$ . Выходом объекта являются управляемые величины  $y_1, y_2, \dots, y_m$ , характеризующие протекание процесса во времени. На параметры  $x, u$  накладываются ограничения

$$x_{\min} < x_n < x_{\max}; y_{\min} < y_n < y_{\max}; u_{\min} < u_n < u_{\max}.$$

В общем виде математическое описание процесса имеет вид

$$y = F(\bar{X}, \bar{U}, \bar{\varphi}) \rightarrow \text{экстремум} \quad (13.1)$$

или

$$y = F(u_1, u_2, \dots, u_r; \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k; x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (13.2)$$

Таким образом математическая модель технологического процесса оказывается построенной.

Система управления должна обеспечивать экстремальное значение конкретной величины — критерия управления, которая зависит от  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $\varphi$ .

Математическая формулировка цели управления называется *целевой функцией*.

Вид уравнения (13.2) определяется назначением модели, методом ее построения, диапазоном изменения переменных и т. п.

Согласно диапазону изменения переменных различают модели *локальные* и *глобальные*. Локальная модель действует в узком диапазоне изменения переменных, глобальная — в более широком диапазоне. Коэффициенты в уравнениях (13.1) и (13.2) не имеют наглядной связи с физическими характеристиками процесса.

Модель, построенная по известным физико-химическим закономерностям процесса на основании известных законов, определяется связями между входами и выходами объекта. На этих законах основаны балансы вещества и энергии, уравнения массопередачи, теплопередачи и химической кинетики. Для построения такой модели необходима информация о процессе, расходах веществ, поступающих в аппараты, коэффициентах массо- и теплопередачи, о кинетике протекающих реакций, о геометрических размерах аппаратуры. При этом постоянные коэффициенты аналитической модели имеют наглядный, физический смысл, что позволяет упрощать или усложнять модель. Однако для подобной модели требуется значительный объем априорной информации и экспериментальная проверка ее адекватности реальному процессу. Этим недостатком лишена модель смешанного типа.

**Модель смешанного типа** по сложности занимает среднее положение между моделью типа «черный ящик» и чисто аналитической моделью, основанной на физико-химических закономерностях. Недостаточность сведений о механизме процесса и управления экспериментально компенсируется определенными коэффициентами уравнений. Необходимая адекватность модели обеспечивается (уточняется) в процессе ее построения. Модели этого типа находят применение в системах управления технологическими процессами.

### 13.2. МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

По виду уравнения (13.2) различают модели, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных по пространственным координатам (при распределенности некоторых параметров  $u_1, u_2, \dots, u_m$ ), обыкновенными дифференциальными уравнениями и конечными уравнениями. Дифференциальные уравнения в свою очередь подразделяются на линейные и нелинейные. Описания конечными уравнениями наиболее просты. Они подразделяются на алгебраические и трансцендентные, в которые входят различные функции (показательные, тригонометрические и др.). Совокупность математических описаний, характеризующих установившийся во времени режим работы объекта, определяет математическое описание его статики. Уравнения, определяющие зависимость установившихся выходных координат объекта от входных координат  $x$ , называются *статическими характеристиками*. Они необходимы для правильного выбора параметров аппаратов и машин при проектировании технологического процесса, для определения нормальных режимов работы оборудования, оптимизации технологических процессов и конструирования объектов с заранее заданными свойствами.

Совокупность математических выражений, характеризующих изменения выходных координат во времени, представляет собой математическое описание динамики. Уравнения, определяющие зависимость изменения выходных координат объекта от изменений входных возмущающих воздействий, называются *динамическими характеристиками* и являются дифференциальными уравнениями. Переходные процессы в объектах с сосредоточенными параметрами описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями. Примерами таких процессов могут быть процессы заполнения емкости или теплопередачи в нее и др. Так, процесс заполнения емкости с веществом при расходе одного из подводимых веществ  $G_j$ , изменившемся по сравнению с его значением в статическом режиме  $G_s$ , можно описать простым дифференциальным уравнением аналогично выходным координатам (давлению, уровню и т. п.).

$$\frac{\partial Q_c}{\partial t} = \sum_j G_j \sum_i G_i. \quad (13.3)$$

В математическое описание динамики объекта входят дифференциальные уравнения отдельных звеньев, которыми описывается объект, алгебраические уравнения связей между звеньями, начальные и граничные условия и ограничения на диапазоны вход-

ных и выходных сигналов и управляющих воздействий. Если звено имеет распределенные параметры (характеризуется пространственным изменением), то уравнения динамики задаются в форме дифференциальных уравнений в частных производных.

Основные объекты управления в пищевой промышленности являются сложными объектами с распределенными параметрами. Динамическая система их нелинейна. Однако в большинстве случаев характеристики их технологических процессов легко поддаются линеаризации. Экспериментальное определение статических и динамических характеристик объектов управления осуществляется методами активного и пассивного эксперимента.

### Методы активного эксперимента

Статические и динамические характеристики объекта определяются с помощью экспериментальных методов при детерминированных воздействиях. Основное внимание при этом сосредотачивается на изучении конструкции и технологических режимов работы объекта, выявлении основных входных возмущений и регулирующих воздействий, выходных регулируемых и контролируемых величин, а также определении ограничений параметров объекта. Предварительная информация об объекте позволяет составить априорную схему, на которой обозначаются основные входные  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ , ... и выходные  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ , ... величины и каналы связи между ними и воздействия на них. Например, для хлебопекарной печи такая схема имеет следующий вид (рис. 13.1):

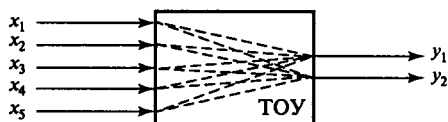


Рис. 13.1. Параметрическая схема хлебопекарной печи

При наличии у объекта нескольких входов и выходов и внутренних прямых и перекрестных связей между ними его структурную схему можно преобразовать в схему с несколькими входами и одним выходом. Эти преобразования можно осуществить и при наличии в объекте внутренних обратных связей. Далее для каждой из входных и выходных величин определяют уровень флуктуаций, основные источники помех и ищут способы их устранения или стабилизации при нормальной работе объекта. При проведении эксперимента нужно спланировать выбор возмущающих воздействий, определить число необходимых опытов и амплитуды сигналов при испытаниях. При этом следует оценить продолжи-

тельность эксперимента и переходного режима  $T_y$  выходной величины  $y(t)$  при резких изменениях входной величины  $x(t)$ .

Для снятия статических характеристик устанавливается диапазон изменения входных и выходных величин согласно технологическим условиям процесса.

Для определения динамических характеристик необходимо определить вид испытательного воздействия и его амплитуду. Периодически формирующиеся сигналы используются для определения динамических характеристик объектов частотными методами, а аperiodические — методами переходных функций. Гармонические воздействия являются приемлемыми, но тогда необходим специальный генератор колебаний. Целесообразно применение прямоугольных или трапецеидальных воздействий.

Ориентировочный диапазон частот входного воздействия выбирается так, чтобы фазовый сдвиг между входными и выходными колебаниями составлял  $90 + 250$  градусов.

Выбор вида аperiodических воздействий определяется задачами исследования объекта. Если исследуются свойства объекта в области низких частот, то используются ступенчатые сигналы, а в области высоких частот — импульсные сигналы.

Значительное влияние на точность определения динамических характеристик объекта при аperiodических воздействиях оказывает величина амплитуды  $A$  испытательного сигнала. Практика показывает, что амплитуду испытательного сигнала следует выбирать в пределах  $(0,05 + 0,15) x_{\max}$ ; где  $x_{\max}$  — максимальное значение входной величины, определяемое расчетной производительностью данного объекта.

Уравнения статики описывают поведение объекта в установившемся режиме, т. е. определяют взаимосвязи между входными  $x(t)$  и выходными  $y(t)$  параметрами объекта, когда все производные функции  $x_1(t), x_2(t), \dots, y_1(t), y_2(t) \dots$  по времени равны нулю. В общем виде статическая характеристика любого объекта с  $m$ -входами имеет следующую функциональную зависимость:

$$y_i = F(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (13.4)$$

где  $x, y$  — соответственно входные и выходные величины;  $i$  — порядковый номер величины.

Для хлебопекарной печи (см. рис. 13.1) эта зависимость имеет следующий вид:

$$y_1 = F(x_1, x_2, \dots, x_5); \quad y_2 = F(x_3, x_4, \dots, x_5). \quad (13.5)$$

Важная часть статической математической модели — системы неравенств, которые определяют ограничения входных и выходных величин объекта, определяемые условиями безаварийной ра-

боты, прочностью, конструкции, требуемым качеством продукции и т. п.:

$$y_{i \min} \leq y_i \leq y_{i \max}; \quad x_{m \min} \leq x_m \leq x_{m \max}. \quad (13.6)$$

Активные методы экспериментального определения статических характеристик промышленных объектов сводятся к изменению входной величины  $x$  и регистрации установившегося значения выходной величины  $y$ . При этом время переходного периода  $T_y$  определяют как время, за которое амплитуда переходной функции исследуемого объекта достигает 98% уровня своего установившегося значения. Неконтролируемые входные величины во время эксперимента должны быть стабилизированы. Таким образом, входная величина  $x_i(t)$  последовательно изменяется от минимального значения  $x_{i \min}$  до максимального  $x_{i \max}$ . Другая входная величина поддерживается при этом постоянной. Если во время эксперимента произойдут посторонние возмущения объекта, то опыт необходимо повторить. Аналогичная серия опытов проводится при изменении входной величины  $x_2(t)$ , являющейся в данном случае параметром. В результате получают таблицы соответствий

//  $x_1(t) \rightarrow y_1(t)$  //; //  $x_2(t) \rightarrow y_2(t)$  //;  $x_i(t) \rightarrow y_i(t)$  при  $(i = 1, 2, 3, \dots, n)$ , где  $n$  — число различных уровней входных величин  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$ .

По данным таблиц соответствий строятся графики, которые для линейного объекта аппроксимируются линейной зависимостью

$$y_1 = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2. \quad (13.7)$$

Аналогично определяется статическая характеристика объекта по второму входу  $x_2$  и т. д. Число входов не влияет на методику определения статических характеристик.

Часто экспериментальные статические зависимости, определенные в достаточно широком интервале изменения  $x(t)$ , оказываются нелинейными. Для определения величин «малых» возмущений  $x(t)$ , при которых экспериментальная статическая характеристика  $y = f(x)$  отличается не более чем на  $\Delta y$  от прямой линии, проводят ее линеаризацию в окрестности рабочей точки аппарата (процесса). Обычно используют два способа линеаризации: полученную непрерывную функцию  $y = f(x)$  разлагают в ряд Тейлора с центром в рабочей точке  $x_0$  или аппроксимируют методом наименьших квадратов.

## Методы пассивного эксперимента

Метод активного эксперимента для определения характеристик технологических процессов имеет ряд недостатков. Во-первых, не всегда удается чисто выделить реакции объекта на задан-

ный сигнал вследствие воздействия на него многих возмущений по различным каналам. Во-вторых, не всегда желательно искусственное возмущение нормально протекающего технологического процесса, что может вызвать его неустойчивость, изменения условий работы оборудования и т. д.

Свободным от указанных недостатков является метод пассивного эксперимента, основанный на наблюдении за текущими входными и выходными сигналами в исследуемом объекте. Математической основой метода пассивного эксперимента является теория вероятностей и теория случайных процессов. Так, статическую характеристику объекта управления можно задать функцией

$$y = f(x). \quad (13.8)$$

Ее можно аппроксимировать как линейными, так и нелинейными многочленами. Уравнение первого порядка имеет вид

$$y = a_0 + a_1 x. \quad (13.9)$$

Часто используют аппроксимацию уравнением второго порядка

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (13.10)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  — постоянные, определяемые для каждого конкретного вида объектов. В результате случайных отклонений входных параметров, относящихся, например, к качеству сырья или к условиям и режиму его обработки, статическая характеристика исследуемого объекта выразится сложной функцией

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k), \quad (13.11)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — контролируемые входные воздействия;  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$  — неуправляемые, но контролируемые параметры.

Заключительным этапом построения статической характеристики объекта управления является нахождение уравнения регрессии по экспериментальной кривой. Методика получения уравнения регрессии сводится к расчету его параметров методом наименьших квадратов. В основе этого метода — задача оптимизации. Оценкой оптимальности является минимум суммы квадратов отклонений аппроксимируемой функции от экспериментальных значений.

### 13.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА

Динамические характеристики линейного объекта определяют статистическими методами в три этапа:

1) организация записи случайных процессов на входе и выходе объекта;

2) вычисление по полученным данным корреляционных функций входного и выходного сигналов;

3) решение уравнения Винера—Хопфа во временной области относительно  $q(\theta)$  или в частотной области относительно  $W(j\omega)$ . При этом должны выполняться условия сосредоточенности параметров объекта, стационарности, линейности и эргодичности.

Сущность уравнения Винера—Хопфа заключается в том, что выходной сигнал  $y(t)$  линейной динамической системы может быть выражен через входной сигнал системы  $x(t)$  и импульсную характеристику  $q(t)$  этой же системы при помощи интегрального уравнения

$$y(t) = \int_0^{\infty} x(t - \theta) q(\theta) d\theta. \quad (13.12)$$

В случае эргодичности процесса (возможности усреднения величин) для взаимной корреляционной функции это выражение преобразуется к виду

$$R_{yx}(t) = \int_0^{\infty} q(\theta) R_{xx}(t - \theta) d\theta. \quad (13.13)$$

Из сравнения уравнений (13.12) и (13.13) видно, что они имеют аналогичную структуру. Поэтому, если на вход линейной динамической системы с импульсной характеристикой  $q(t)$  подать сигнал  $R_x(t)$ , совпадающий с корреляционной функцией  $R_x(t)$ , то на выходе этой системы должен появиться сигнал  $y(t)$ , совпадающий по форме с взаимной корреляционной функцией  $R_{yx}(t)$ . Для решения уравнения (13.13) можно использовать три различных метода:

- подбор ординат импульсной функции на управляемом фильтре;
- сведение уравнения к системе линейных алгебраических уравнений;
- преобразование Фурье.

Для подбора вида управляемого фильтра необходима специальная аппаратура, а сам процесс подбора ординат импульсной функции довольно сложен. На практике подбор проводят вручную.

Сведение уравнения (13.13) к системе алгебраических уравнений осуществляется методом квадратур, например методом прямоугольников.



Чаще используют метод преобразования Фурье, так как переход от корреляционной или взаимной корреляционной функции к спектральной и взаимной спектральной плотностям позволяет получить простое алгебраическое уравнение

$$S_{xy}(\omega) = W_{об}(j\omega)S_x(\omega), \quad (13.14)$$

решая которое получают амплитудно-фазочастотную характеристику объекта, которая для последующих расчетов используется чаще, чем импульсная характеристика

$$W_{об}(j\omega) = S_{xy}(\omega) / S_x(\omega). \quad (13.15)$$

Для определения амплитудно-частотной характеристики объекта важно вычислить соотношение между спектральными плотностями входного и выходного случайных сигналов линейных стационарных объектов.

Рассмотрим два варианта определения динамических характеристик линейных объектов.

*Первый вариант:* на выходной сигнал объекта без обратных связей с одним входом и одним выходом (рис. 13.2) действует случайный шум  $n(t)$ , например шум, вызванный наводками или спецификой процесса. Определение динамических характеристик данного объекта основано на взаимосвязи корреляционных функций  $R_{yx}$ ,  $R_{ny}$  входного и выходного сигналов и шума  $n(t)$ , корреляционной функции  $R_y$  входного сигнала и импульсной  $q$  функции системы (13.13):

$$R_{yx}(t) = \int_0^{\infty} R_{yx}(t-\theta)q(\theta)d\theta + R_{nx}(t). \quad (13.16)$$

Обычно входное воздействие и шум не зависят друг от друга и их взаимная корреляционная функция равна нулю.

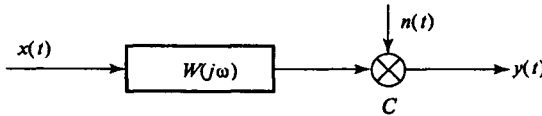


Рис. 13.2. Схема идентификации динамической характеристики линейного объекта управления

Уравнение (13.16) преобразуется в этом случае в уравнение (13.17), аналогичное (13.13),

$$R_{yx}(t) = \int_0^{\infty} R_{xx}(t-\theta)q(\theta)d\theta. \quad (13.17)$$

*Второй вариант:* в системах управления объекты часто охвачены обратной связью, при этом обратную связь обеспечивает регулятор или человек-оператор, если управление проводится вручную (рис. 13.3).

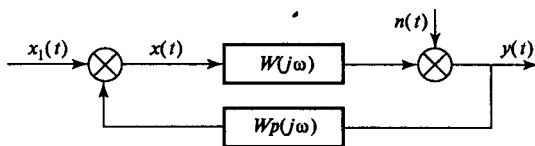


Рис. 13.3. Структурная схема объекта управления, охваченного обратной связью

В этом случае входной случайный процесс становится корреляционно связанным с шумом  $n(t)$  и уравнением (13.13) пользоваться нельзя. В уравнение же (13.16), кроме исковой функции  $q(\theta)$ , попадает неизвестная функция  $R_{yx}$ , и воспользоваться им затруднительно. Импульсную функцию объекта из уравнения (13.18), аналогичного уравнению (13.13), можно найти теми же методами, о которых упоминалось выше.

$$R_{yx}(t) = \int_0^{\infty} R_{xx}(t-\theta)q(\theta)d\theta \quad (13.18)$$

Определить две неизвестные функции  $q(\theta)$  и  $R_{yx}(t)$  для второго варианта можно из уравнений (13.17) и (13.18), получающихся из уравнения (13.16) при двух различных настройках автоматического регулятора. При этом возмущения по регулируемому каналу должны быть минимальными, чтобы приблизить  $x_1(t)$  к нулю. Однако не всегда возможно изменить настройку регулятора во время работы системы из-за опасности нарушения нормального хода процесса.

Если  $n(t)$  по своему содержанию близок к «белому шуму», т. е. шуму, спектральная плотность которого постоянна для всех частот, то корреляционная функция  $R_{yx}(t)$  отлична от нуля лишь при  $t < 0$ , а для положительных  $t$  уравнение (13.16) оказывается справедливым.

Простейшие типовые модели классических процессов получили широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности.

### 13.4. МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКОВ

Для составления математических моделей многих аппаратов (процессов) необходимо иметь представление о характере перемещения вещества в них, т. е. о гидродинамике потоков. Существу-

ют три основных типа моделей гидродинамики потоков, которые можно использовать для их математического описания. При разработке систем управления следует учитывать, что применение этих моделей является достаточным для получения требуемой точности решения.

Основные уравнения гидродинамики потоков в большинстве своем имеют сложный вид, поэтому при составлении математических описаний целесообразно использовать упрощенные представления о характере гидродинамических потоков.

### Модель идеального (полного) перемешивания

В аппарате идеального перемешивания поступающий поток мгновенно перемешивается со всем объемом содержащегося вещества. Условия протекания процесса во всех точках аппарата одинаковы и совпадают с условиями на его выходе.

Изменение концентрации вещества в аппарате полного перемешивания описывается уравнением материального баланса:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{F(C_0 - C)}{V}, \quad (13.19)$$

где  $F$  — объемный расход вещества на входе в аппарат,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $C_0$  и  $C$  — концентрация вещества внутри аппарата и на его выходе,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $V$  — вместимость аппарата.

При скачкообразном изменении концентрации на входе аппарата концентрация вещества на выходе меняется от 0 до 1 при изменении  $t$  от 0 до  $\infty$ . Схема процесса и кривая разгона приведены на рис. 13.4 (концентрация  $C_0$  изменяется скачком на входе в аппарат).

Используя преобразование Лапласа, можно получить передаточную функцию для процесса идеального перемешивания, которая представляет собой аperiодическое звено первого порядка:

$$W_p = C(p) / C_0(p) = 1 / (\tau_p + 1). \quad (13.20)$$

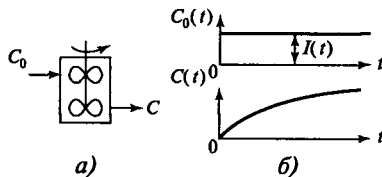


Рис. 13.4. Схема процесса идеального (полного) перемешивания:

а) схема; б) кривая разгона

### Модель идеального (полного) вытеснения

В аппарате идеального вытеснения предполагается полное отсутствие продольного перемешивания, т. е. перемешивания в направлении движения вещества, но наличие

полного перемешивания в поперечном направлении. Время пребывания всех частиц вещества в аппарате одинаково и равно времени прохождения его от начала до конца аппарата.

Дифференциальное уравнение для элемента потока имеет вид

$$\frac{dC}{dt} = -\omega \frac{\partial C}{\partial x}. \quad (13.21)$$

Схема процесса и кривая разгона для этого случая представлены на рис. 13.5.

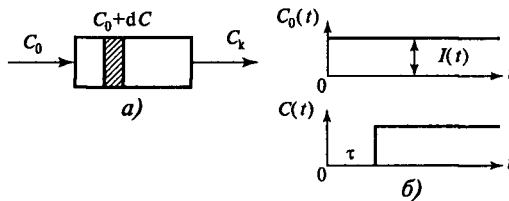


Рис. 13.5. Схема процесса идеального (полного) вытеснения:  
а) схема; б) кривая разгона

При определенных граничных условиях это уравнение соответствует звену чистого запаздывания со временем запаздывания  $\tau$ , передаточная функция которого имеет вид

$$W_p = e^{-p\tau}, \quad (13.22)$$

т. е. в аппарате идеального вытеснения входной сигнал (единичный ступенчатый), не искажаясь, переносится к выходу за время  $\tau$ . Выходной сигнал  $C_k(t)$  совпадает по форме с входным, но сдвинут по оси на единицу (рис. 13.5, б).

### Каскадная модель

Под каскадной моделью следует понимать модель конечного числа последовательно соединенных аппаратов идеального смешения (рис. 13.6).

По своим характеристикам эта модель является промежуточной между моделями идеального смешения и полного вытеснения. При последовательно соединенных аппаратах  $n \rightarrow \infty$  приходим к модели аппарата идеального вытеснения, при  $n = 1$  имеем модель идеального перемешивания. Каскадная модель  $n$  последовательно соединенных аппаратов описывается  $n$  уравнениями аperiodических звеньев первого порядка.

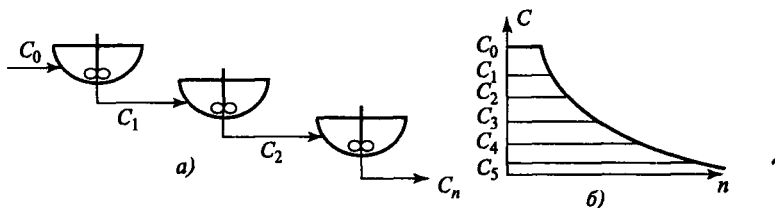


Рис. 13.6. Каскадная модель:

а) схема процесса; б) изменение концентрации в зависимости от числа аппаратов

Математическая модель цепочки звеньев имеет вид

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{1}{\tau} \cdot (C_{ibx} - C_i), \quad (13.23)$$

где  $C_{ibx} = C_{i-1}$ , а передаточная функция соответственно равна:

$$W_p = \frac{1}{T_{1p} + 1}; \frac{1}{T_{2p} + 1}; \dots, \frac{1}{T_{np} + 1}, \quad (13.24)$$

где  $T_i = \tau_i = \frac{V_i}{\omega}$ ,  $V_i$  — вместимость  $i$ -го аппарата.

Каскадную модель обычно применяют для описания много-секционных аппаратов при перемешивании в каждой секции (тарелочные или полочные колонны) и каскадов аппаратов с мешалками.

## Диффузионные модели

Описания процессов в аппаратах вытеснения могут быть осложнены наличием продольной и поперечной диффузии. Если учитывать только продольную диффузию, т. е. обратное перемешивание, то математическое описание процессов этого аппарата имеет вид

$$\frac{dC}{dt} = -\omega \frac{dC}{dx} + D_l \frac{d^2C}{dx^2}, \quad (13.25)$$

где  $D_l$  — кажущийся коэффициент продольной диффузии.

Таким образом, в уравнении модели появляется еще один член со второй производной, учитывающий диффузию вещества.

При учете эффекта продольной диффузии, а также при отсутствии полного перемешивания в поперечном направлении уравнение (13.25) дополняется еще одним членом, учитывающим диффузию в поперечном направлении

$$\frac{dC}{dt} = -\omega \frac{dC}{dx} + D_l \frac{d^2C}{dx^2} + \frac{D_r}{R} \cdot \frac{d}{dR} \left( R \frac{dC}{dR} \right), \quad (13.26)$$

где  $D_r$  — кажущийся коэффициент поперечной диффузии.

### 13.5. МОДЕЛИ МАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В массообменных процессах (при абсорбции и десорбции газов, ректификации жидкостей и газов, экстракции жидких и твердых веществ, сушки материалов и др.) происходит перенос вещества из одной фазы в другую. Математические модели этих технологических процессов строятся на основе законов массопередачи. Массопередача — это процесс переноса вещества из области высокой концентрации в область менее высокой концентрации путем диффузии. Различают молекулярную диффузию, т. е. процесс в неподвижной среде, и конвективную диффузию, т. е. процесс в движущейся среде. Количественной мерой массопередачи является диффузионный поток, т. е. отношение массового расхода к площади поверхности массопередачи.

Передача вещества в неподвижной среде определяется законом Фика, согласно которому диффузионный поток  $f$  пропорционален градиенту концентрации

$$f = -D \frac{dC}{dL}, \quad (13.27)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии;  $C$  — концентрация диффундирующего вещества.

Координата  $L$  направлена по нормали к площади поверхности, через которую осуществляется массопередача.

Под градиентом концентрации понимается предел отношения разности концентрации к длине по направлению диффузии. Коэффициент диффузии представляет собой отношение массового расхода к площади поверхности и к градиенту концентрации данного вещества. Коэффициент диффузии различен для различных веществ и зависит от температуры и давления.

### 13.6. МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Тепловые процессы в пищевой промышленности представляют собой передачу энергии в форме теплоты между телами с различной температурой. Движущей силой теплообмена является разность температур между различно нагретыми теплоносителями.

Передача теплоты осуществляется посредством теплопроводности, конвекции и теплового излучения. Теплопроводность — пере-

нос теплоты вследствие теплового движения и соударений атомов и молекул веществ, непосредственно соприкасающихся друг с другом. Конвекция — перенос теплоты в процессе движения и перемешивания микроскопических объемов жидкости и газа. Конвекция может быть естественной (свободной) и вынужденной.

Тепловое излучение — процесс излучения электромагнитных волн ИК-диапазона атомами и молекулами нагреваемого вещества.

Практически передача теплоты осуществляется всеми тремя способами, комбинированно. Существует большое многообразие схем передачи теплоты между теплоносителями посредством смешивания, прямотока и противотока (рис. 13.7).

В зависимости от способа передачи теплоты теплообменные аппараты подразделяются на аппараты с непосредственным контактом горячего и холодного теплоносителей и аппараты, в

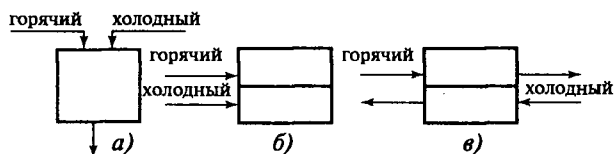


Рис. 13.7. Схемы передачи теплоты при:  
 а) смешивании; б) прямотоке; в) противотоке

которых теплопередача осуществляется через стенку, разделяющую оба теплоносителя. В свою очередь аппараты, в которых теплопередача происходит через стенку, классифицируются:

1) по назначению — на нагреватели, холодильники, теплообменники-калориферы, в которых не осуществляется изменение агрегатного состояния теплоносителей, а при теплопередаче с изменением агрегатного состояния теплоносителей — на испарители и конденсаторы;

2) по протoku теплоносителей — прямоточные, противоточные и перекрестные;

3) по видам математических моделей — перемешивания и вытеснения.

Математическая модель теплового процесса базируется на уравнениях теплового баланса и теплопередачи.

### Модель теплового процесса в системе с сосредоточенными параметрами

Рассмотрим теплообменный аппарат как систему с сосредоточенными параметрами, в которой удельные теплоемкости жидкости и материала стенок, коэффициенты теплопередачи и

температуры теплоносителей и стенок одинаковы. Параметрическая схема процесса теплопередачи приведена на рис 13.8.

Основные уравнения теплопередачи — это уравнения теплового баланса

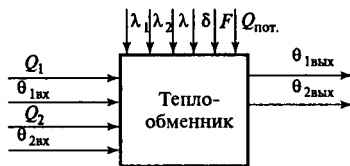


Рис 13.8. Параметрическая схема процесса теплопередачи в теплообменнике

$$\left. \begin{aligned} G_1 c_1 \theta_{1ax} + G_2 c_2 \theta_{2ax} &= G_1 c_1 \theta_{1вых} + G_2 c_2 \theta_{2вых} + Q_{пот} \\ G_1 (c_{1ax} \theta_{1ax} - G_{1вых} \theta_{1вых}) &= Q \end{aligned} \right\} \quad (13.28)$$

и уравнение теплопередачи

$$Q = kP\Delta\theta_{cp}, \quad (13.29)$$

где  $G_1$  и  $G_2$  — расходы горячего и холодного теплоносителей, кг/ч;  $\theta_{1ax}$  и  $\theta_{2ax}$  — температура горячего и холодного теплоносителей на входе в теплообменник,  $c_0$ ,  $c_1$  и  $c_2$  — удельные теплоемкости горячего и холодного теплоносителей, Дж/(кг/К);  $\theta_{1вых}$  и  $\theta_{2вых}$  — температуры горячего и холодного теплоносителей на выходе из аппарата, °С;  $Q$  — скорость изменения количества теплоты, Дж/с;  $Q_{пот}$  — скорость потерь теплоты, Дж/с;  $\Delta\theta_{cp}$  — средняя разность температур, К;  $P$  — площадь поверхности теплопередачи, м<sup>2</sup>;  $k$  — коэффициент теплопередачи стенки, состоящей из нескольких слоев с различными теплопроводящими свойствами, Вт/(м<sup>2</sup>К).

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{\delta}{\lambda}} + \frac{1}{\alpha_2}\right)},$$

здесь  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — коэффициенты теплопередачи от горячего теплоносителя к стенке и от стенки к холодному теплоносителю, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\delta$  — толщина стенки, м.

Средняя разность температур  $\Delta\theta_{cp}$  для прямотока

$$\Delta\theta_{cp} = \frac{(\theta_{1ax} - \theta_{2вых}) - (\theta_{1вых} - \theta_{2вх})}{\ln \frac{(\theta_{1ax} - \theta_{2вх})}{(\theta_{1вых} - \theta_{2вых})}}, \quad (13.30)$$



для противотока

$$\Delta\theta_{cp} = \frac{(\theta_{1ax} - \theta_{2ax}) - (\theta_{1свх} - \theta_{2свх})}{\ln \frac{(\theta_{1ax} - \theta_{2ax})}{(\theta_{1свх} - \theta_{2свх})}} \quad (13.31)$$

Предположив, что  $C_{iex} = C_{iсвх}$  и  $C_i Q_{ном} = 0$ , можно определить выходные температуры  $Q_{свх}$  для прямотока и противотока.

### Модель теплового процесса в системе с распределенными параметрами

Рассмотрим теплообменный аппарат как систему с распределенными параметрами. При этом предположим, что удельные теплоемкости жидкости и стенок, коэффициенты теплопередачи по всей длине теплообменника постоянны, потери теплоты равны нулю и гидродинамика потоков определяется законом идеального вытеснения.

Рассмотрим случай двух потоков (рис.13.7) и построим два варианта моделей (с учетом и без учета теплоемкости стенки).

Если теплоемкость разделяющей стенки очень мала и поэтому ее можно не учитывать, то система дифференциальных уравнений, описывающих состояние процесса в момент  $t$  на расстоянии  $x$  от входа в аппарат, для прямотока имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\theta_1}{dt} + \omega_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dx} &= r_1 (\theta_2 - \theta_1) \\ \frac{d\theta_2}{dt} + \omega_2 \cdot \frac{d\theta_2}{dx} &= r_2 (\theta_1 - \theta_2) \end{aligned} \right\} \quad (13.32)$$

где  $\theta_1, \theta_2$  — температуры горячего и холодного теплоносителей, °С;  $\omega_1, \omega_2$  — линейные скорости горячего и холодного теплоносителей, м/с. Коэффициенты  $r_1, r_2$  имеют следующие выражения:

$$r_1 = \frac{\alpha_1 L_1}{f_1 C_1 \rho_1}, \quad r_2 = \frac{\alpha_2 L_2}{f_2 C_2 \rho_2} \quad (13.33)$$

где  $L_1, L_2$  — периметры поперечного сечения поверхности раздела стенки соответственно от первой и второй сред, м;  $f_1, f_2$  — площади поперечных сечений сред, м<sup>2</sup>;  $\rho_1, \rho_2$  — плотности горячего и холодного теплоносителей, кг/м<sup>3</sup>.

Уравнения (13.32) являются уравнениями теплового баланса с учетом теплопередачи для теплоносителей. Аналогичная система уравнений получается для противотока

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\theta_1}{dt} + \omega_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dx} &= r_1(\theta_2 - \theta_1) \\ \frac{d\theta_2}{dt} + \omega_2 \cdot \frac{d\theta_2}{dx} &= r_2(\theta_2 - \theta_1) \end{aligned} \right\} \quad (13.34)$$

Если нужно учесть теплоемкость разделяющей стенки, уравнения теплового баланса для прямотока и противотока дополняются уравнением, учитывающим теплоемкость стенки.

Передаточные функции теплообменного аппарата определяют из системы динамических уравнений, причем для аппарата с противотоком — по уравнению (13.3), но без учета удельной теплоемкости разделяющей стенки.

В практических расчетах теплообменный аппарат обычно представляют в виде комбинаций различных звеньев: запаздывания, усилительных и инерционных. Так, передаточная функция по каналу управления  $W_{11}$  приближенно может быть представлена в виде звена запаздывания

$$W'_{11} = e^{-\mu s}; \quad (13.35)$$

параллельного соединения инерционного звена

$$W''_{11} = k_1 / (T_p s + 1) \quad (13.36)$$

и усилительного звена

$$W'''_{11} = k_2. \quad (13.37)$$

Коэффициенты  $k_1$ ,  $k_2$  и  $T_p$  определяют экспериментально по кривой переходного процесса, считая, что на вход  $\theta_1$  подано единичное ступенчатое возмущение. При этом можно получить следующее выражение для переходного процесса:

$$\theta_1(p) = 1/p W_{11} \quad (13.38)$$

Другие каналы могут быть также представлены комбинацией элементарных звеньев.

### 13.7. МОДЕЛИ ДОЗИРОВАНИЯ ВЕЩЕСТВ

Непрерывное дозирование широко применяется в пищевой промышленности: при составлении помольных партий; приготовлении смесей шоколадной массы; при дозировании муки, воды, соли, сахара, жира, других добавок при производстве хлебобулочных изделий; при смешивании различных компонентов в производстве комбикормов и т. д.

В общем виде задачу управления дозированием следует сформулировать следующим образом: построить процесс непрерывного дозирования в целом с учетом его взаимодействия со всеми элементами объекта управления и управляющего устройства; на основе анализа информации, характеризующей динамику функционирования автоматической системы дозирования, выбрать рациональную структуру дозатора, элементов контура управления и определить оптимальные параметры настроек регулятора.

Автоматическое непрерывное весовое дозирование материалов осуществляется бункерными и ленточными дозаторами.

В дозаторах бункерного типа расход материала из бункера пропорционален изменению массы  $M$  материала в бункере:

$$G = c \cdot \frac{dM}{dt}, \quad (13.39)$$

где  $c$  — коэффициент пропорциональности.

Недостаток дозаторов бункерного типа в том, что в них при непрерывном дозировании материалов загрузка осуществляется периодически. Такие дозаторы применяются для работы с сыпучими материалами и жидкостями.

Принцип действия ленточных дозаторов непрерывного типа основан на преобразовании грузоприемным устройством — ленточным весовым конвейером — расхода подаваемым питателем материала  $G_n(t)$  в силу тяжести  $P_k(t)$ , которая является функцией времени  $t$ .

Производительность ленточного дозатора  $G_d(t)$ , равная производительности весового конвейера  $G_k(t)$ , в установившемся режиме определяется из условия

$$G_d = G_n = G_k = cqv_k, \quad (13.40)$$

где  $c$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от типа грузоприемного устройства;  $q$  — нагрузка, кг/м;  $v_k$  — скорость движения ленты конвейера, м/с.

Математическое описание бункерных и ленточных дозаторов представляет собой комбинацию передаточных функций и частотных характеристик по известным передаточным функциям входящих в дозатор элементов.

Передаточные функции различных типов питателей определяются как произведение передаточных функций трех последовательно соединенных элементарных звеньев — усилительного, чистого запаздывания и аperiodического:

$$W_n(p) = k_n e^{-p\tau_1} / (T_n p + 1), \quad (13.41)$$

где  $k_n$  — коэффициент передачи;  $\tau_1$  — время запаздывания материала в питателе;  $T_n$  — постоянная времени.

В ряде случаев чистым запаздыванием или постоянной времени можно пренебречь, тогда передаточная функция питателя будет иметь вид

$$W_n(p) = k_n / (T_n p + 1) \quad (13.42)$$

или

$$W_n(p) = k_n e^{-p\tau_1}.$$

Назначение автоматической системы дозирования — поддержание заданного рецептурой соотношения расходов жидких и сыпучих компонентов. Особенностью таких технологических схем является наличие на выходе системы дозирования усредняющего элемента — смесителя.

Использование непрерывных схем дозирования обуславливает повышение требования к точности дозирования компонентов, так как ее необеспечение приводит к перерасходу сырья. Предельная погрешность дозирования лимитируется допуском на рецептуру, который задается обычно в процентах от общей массы компонентов или от содержания каждого компонента в смеси.

При разработке автоматических систем многокомпонентного дозирования необходимо знание входных воздействий, связанных со взаимодействием потока дозируемых материалов с дозирующими системами, качественных показателей изделий, допустимых отклонений качественных показателей, допускаемых погрешностей дозирования каждого из компонентов, а также динамических характеристик (фильтрующих свойств) смесителя.

Для систем управления процессами дозирования и смешивания компонентов возможны следующие структурные схемы многокомпонентного дозирования (Е. Б. Карпин):

*А. Несвязанное, т. е. независимое, дозирование* нескольких компонентов. При этом производительность дозаторов поддерживается в заданном постоянном соотношении (рис. 13.9). Задание производительности проводится от общего для всех дозаторов канала, здесь  $X_{зм}(p)$  — отображение по Лапласу общего сигнала задания производительности;  $\alpha_i$  — коэффициент связи между общим сигналом задания и сигналом задания  $i$ -го дозатора;  $W_i(p)$ ,  $U_i(p)$  — соответственно передаточные функции дозатора и регулятора;  $X_{0i}$  — возмущающее воздействие на  $i$ -й дозатор;  $x_i$  — производительность  $i$ -го дозатора.

*Б. Функциональное дозирование* нескольких компонентов с коррекцией соотношения их расходов при параллельном соединении ведомых дозаторов между собой. Дозатор основного компонента принимается за ведущий (рис. 13.10).

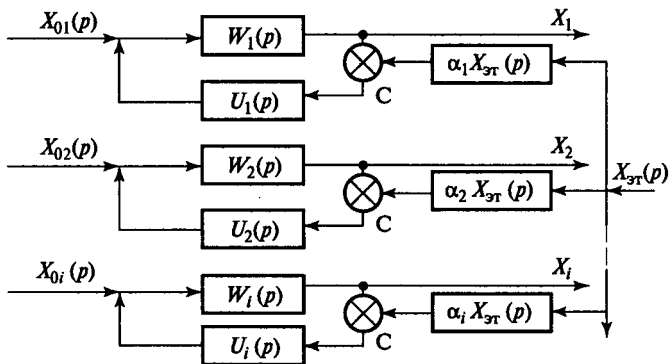


Рис. 13.9. Структурная схема несвязанного соединения дозаторов нескольких компонентов, производительность которых поддерживается в заданном постоянном соотношении

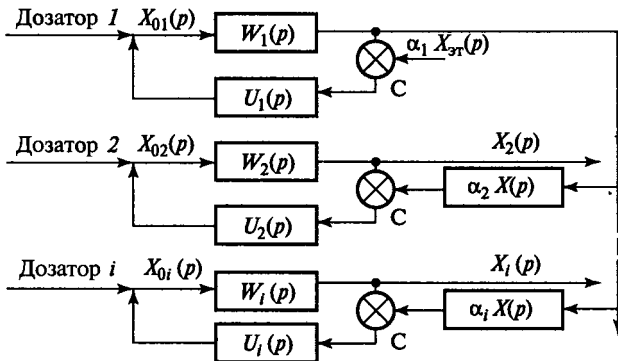


Рис. 13.10. Структурная схема функционального дозирования нескольких компонентов с коррекцией соотношения их расходов при параллельном соединении дозаторов

*В. Функциональное дозирование* нескольких компонентов с коррекцией соотношения расходов при последовательном соединении дозаторов (рис. 13.11).

В системе многокомпонентного дозирования с коррекцией соотношения расходов в качестве ведомых принимаются дозаторы 2 и  $i$  ( $i = 3, 4, \dots, n$ ), включенные последовательно с ведущим дозатором 1 (рис. 13.11).

В схемах *Б* и *В* может отсутствовать контур регулирования ведущего дозатора, грузоприемное устройство которого используется в качестве конвейерных весов. Такие системы применяются для дозирования добавления в поток основного материала выходящего из какого-либо технологического оборудования.

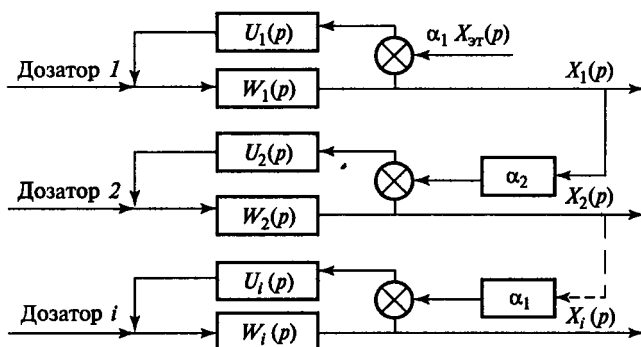


Рис 13.11. Структурная схема функционального дозирования нескольких компонентов с коррекцией соотношения их расходов при последовательном соединении дозаторов

Отображения по Лапласу выходящих величин дозаторов будут иметь следующий вид:

для схемы *Б* (параллельное соединение) для ведущего дозатора

$$X_i(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)U(p)} X_0(p) + \frac{U(p)W(p)}{1+W(p)U(p)} X_{эТ}(p); \quad (13.43)$$

для ведомых дозаторов

$$X_i(p) = \frac{W(p)}{1+W_i(p)U_i(p)} X_{0i}(p) + \frac{U_i(p)W_i(p)}{1+W_i(p)U_i(p)} X_{i-1}(p)\alpha_{i-1}; \quad (13.44)$$

для схемы *В* (последовательное соединение) для ведущего дозатора

$$X_1(p) \text{ схемы } В = X_1(p) \text{ схемы } Б; \quad (13.45)$$

для ведомых дозаторов

$$X_i(p) = \frac{W(p)}{1+W_i(p)U_i(p)} X_{0i}(p) + \frac{U_i(p)W_i(p)}{1+W_i(p)U_i(p)} X_{i-1}(p)\alpha_{i-1}. \quad (13.46)$$

Выбор схемы и допустимого числа соединяемых дозаторов очень важен при определении рациональной структуры многокомпонентной системы дозирования. Оценка возникающих при дозировании флуктуационных ошибок по каждому сепаратному каналу дозирования показала, что параллельное соединение более двух дозаторов (схема *Б*) не приводит к увеличению динамических ошибок (дисперсии) в каждом канале дозирования, а при последовательном соединении (схема *В*) эти ошибки растут с увеличением числа дозаторов, поэтому параллельное соединение является более оптимальным.

Рецептура смесей при многокомпонентном дозировании рассчитывается по усредненным характеристикам отдельных компонентов.

Достижение высокого качества продукции возможно на основе комплексного метода построения систем дозирования, обеспечивающих взаимодействие дозаторов с последующим технологическим оборудованием, в частности со смесителями непрерывного действия. При комплексном подходе непрерывно контролируются прямые и косвенные показатели смеси, полуфабрикатов или готовых изделий, а затем в соответствии с результатами этих измерений по определенному алгоритму осуществляется корректировка задания по производительности одного или нескольких дозаторов.

### 13.8. МОДЕЛИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Микробиологические процессы находят широкое применение в технологии пищевых продуктов. Различают следующие типы используемых здесь микроорганизмов: дрожжи (при производстве этилового спирта, кваса, пива, вина, кормовых и хлебопекарных дрожжей), бактерии (при выработке растворителей, уксуса, молочной и других кислот, бактериальных препаратов и др.), микроскопические грибы (производство лимонной, глюконовой и других кислот, ферментативных препаратов, антибиотиков).

Особое место при управлении микробиологическими процессами занимает исследование кинетики процессов, так как только на ее основе возможен переход к построению математической модели и алгоритма управления процессом.

При моделировании микробиологических процессов обычно описывают не всю цепочку превращений, а некоторую итоговую «реакцию», результат процесса записывают в виде зависимости интересующего показателя процесса (выходной величины) от воздействующих на него факторов.

Для описания кинетики ферментативного катализа микробиологических процессов применяют различные модели, которые можно разбить на две группы: совпадающие с моделями формальной химической кинетики и основанные на механизме ферментативного катализа. Первая группа моделей описывается уравнением

$$-\frac{dZ}{dt} = kZ^r, \quad (13.47)$$

где  $Z$  — концентрация субстрата (перерабатываемого вещества);  $k$  — кинетический параметр;  $r$  — порядок реакции (знак «минус» определяет убывание вещества  $Z$ ).

При поиске численных значений параметров  $r$ ,  $k$  модели (13.47) по экспериментальным данным задачу разбивают на два этапа: вначале находят порядок реакции  $r$  (например, методом «временных отношений»), а затем оценивают кинетический параметр  $k$  при найденном  $r$ .

Модели ферментативного катализа основаны на теории Михаэлиса, по которой воздействие фермента на субстрат идет через образование промежуточного соединения — фермент-субстратного комплекса, который затем распадается. Характерным примером этого класса является модель Михаэлиса—Ментен:

$$-\frac{dZ}{dt} = \omega_m Z / (k_z + Z), \quad (13.48)$$

где  $\omega_m$  — максимальная скорость реакции;  $k_z$  — константа Михаэлиса. Оба параметра модели определяются конкретным сочетанием фермент — субстрат. Величины  $k$  и (или)  $\omega_m$  в модели Михаэлиса—Ментен зависят от дозировки фермента  $E$  (концентрация в единицах активности), температуры процесса  $T$  и др. Конкретная форма влияния  $E$ ,  $T$  зависит от условий процесса.

### Модели культивирования микроорганизмов

Все известные модели культивирования микроорганизмов делятся на эмпирические и экспериментально-аналитические. Для второго случая при разработке модели предполагается определенный биологический закон.

Модели микробиологических процессов бывают детерминированными и вероятностными, точечными и с распределенными параметрами, учитывающими временную и пространственную неоднородность популяций. При построении моделей микробиологических процессов принимаются следующие допущения:

- Часто наблюдают не численность популяций  $N$ , а регистрируют концентрацию ее биомассы  $X$ , считая  $N$  и  $X$  непрерывными величинами, что достоверно только при большом  $M$ .

- Ввиду невозможности учета всех факторов, влияющих на процесс, эмпирически выбирается определяющее звено, в соответствии с которым строится модель.

- Среда обитания популяции гомогенна, все вещества равномерно распределены по всему объему аппарата, отсутствуют температурный и концентрационные градиенты, принимается идеальное смешение компонентов среды.

Наиболее часто используемая модель — модель, описываемая уравнением *автокаталитического процесса* размножения микроорганизмов.



$$\frac{dN}{dt} = \mu N, \quad (13.49)$$

где удельная скорость роста  $\mu$  зависит от следующих факторов: концентраций субстрата  $S$  ингибиторов  $J$ , количества клеток  $N$ , времени роста  $\tau$  и др.

Уравнение Моно учитывает насыщение зависимости  $\mu(S)$ :

$$\mu = \mu_m S / (k_s + S), \quad (13.50)$$

где  $\mu_m$  — максимальная скорость;  $k_s$  — константа Моно. Эти параметры индивидуальны для каждой культуры.

Более сложные модели учитывают угнетение развития микроорганизмов.

Так, при высокой концентрации питания (субстратное ингибирование) имеем:

$$\mu = \mu_m S / (k_1 + S + k_2 S^2), \quad (13.51)$$

а при угнетении продуктами жизнедеятельности  $P$ :

$$\mu = \mu_m k_p S / (k_s + S)(k_p + p). \quad (13.52)$$

Уравнение (13.52) носит имя Моно-Иерусалимского и содержит дополнительно параметры ингибирования  $k_p$ ,  $K_p$ .

При значительных концентрациях микроорганизмов в замкнутом объеме существенно влияние «эффекта тесноты», учитываемого уравнением Ферхюльста, решение которого представляет S-образную кривую  $N(t)$ :

$$\frac{dN}{dt} = N(a - bN). \quad (13.53)$$

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Математическая модель. Ее назначение.
2. Математическое моделирование технологических процессов.
3. Типовые математические модели технологических процессов.
4. Методика математического описания объектов управления.
5. Методы активного эксперимента.
6. Методы пассивного эксперимента.
7. Статистические и динамические характеристики объекта управления.
8. Математические модели типовых технологических процессов пищевых производств.
9. Что представляют собой современные технологии производств пищевой и перерабатывающей промышленности?
10. Чем обусловлена необходимость построения моделей современных технологий?
11. Дайте определение модели. Ее назначение.
12. Перечислите основные стадии математического моделирования сложной технологической системы.

## Глава 14. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В настоящее время на предприятиях отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности внедряются и эксплуатируются системы управления технологическими процессами, задачами которых являются: повышение оперативности принимаемых решений по управлению технологическими объектами, получение оперативной информации о функционировании участков, цехов и предприятий в целях получения стандартной продукции, а также снижение трудоемкости при переработке плановой и учетной информации.

ГОСТ 19675—74 определяет АСУ как человеко-машинную систему, обеспечивающую автоматизированный сбор, обработку информации, необходимой для оптимизации управления в различных сферах человеческой деятельности.

Предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности в основном оснащены высокопроизводительным оборудованием, используют передовые многоступенчатые технологии, поэтому внедряемые в производство системы управления могут различаться по типу объектов управления, характеру и объему решаемых задач, критерию управления.

Системы управления технологическими процессами бывают двух видов: автоматизированные и автоматические

*Автоматизированная система управления* предполагает участие человека (оператора, диспетчера) в качестве составной органической части системы управления, а *автоматическая* система может функционировать без участия человека (за исключением проведения профилактического контроля, ремонтного обслуживания и т. п.).

**Система автоматического управления (САУ)** — это совокупность устройств, обеспечивающих управление объектом без непосредственного участия человека. Она осуществляет следующие функции управления: автоматическое регулирование; каскадное и программное регулирование; многосвязное автоматическое регулирование; логическое управление (блокировку); оптимальное управление переходными режимами; оптимальное управление с адаптацией и изменением алгоритмов и параметров системы. Эти функции САУ описаны в разделе I и в специальной литературе.

## Измерительно-информационные и управляющие системы

Перспективу развития измерительных систем можно обозначить двумя этапами, тогда границей между ними будет включение в состав этих систем вычислительной техники. На первом этапе структура и функции системы согласованы, при этом измерительная функция становится определяющей, а информационные функции, связанные с отображением результатов измерений, рассматриваются как вспомогательные. На втором этапе система является информационной, т. е. реализует не только измерительную, но и многие информационные функции. В результате формируются измерительно-информационные системы (ИИС), которые выполняют функции контроля, испытаний, диагностики, обнаружения, распознавания и др.

Совершенствование ИИС стимулирует развитие управляющей подсистемы как определенного звена систем управления. Тенденция развития состоит в насыщении управляющих систем средствами измерений (СИ) и в их автоматизации на основе использования средств вычислительной техники. В результате современная управляющая система, например входящая в состав автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП), представляет собой совокупность ИИС, управляющей и исполнительной подсистем (рис. 14.1). При этом под СИ следует понимать любые измерительные системы, начиная от некоторой совокупности СИ, функционирующие независимо друг от друга, и заканчивая системами со сложной структурой и организацией взаимодействующих процедур, а также компоненты и элементы систем. Таким образом, СИ необходимо рассматривать как единое целое.

ИИС определяется как *«информационная система, содержащая в качестве подсистем (элементов) измерительные преобразователи, приборы или измерительные системы»*.

Среди функций автоматизированных систем управления выделены: измерительная, вычислительная и управляющая.

Таким образом, определилось стремление к восприятию системы как совокупности всех подсистем и функций. При этом вычислительная функция необоснованно отделена от измерительной и управляющей функций без учета их соподчиненности. Однако в ГОСТ 26.203—81 указано, что вычислительная функция представляется как часть измерительной.

Согласно принципам метрологического обеспечения, ИИС и АСУТП отражают специфику этих систем, которая состоит: в агрегатном способе построения; комплектовании во многих случаях непосредственно на объекте; неразрывной связи с объектом, рас-

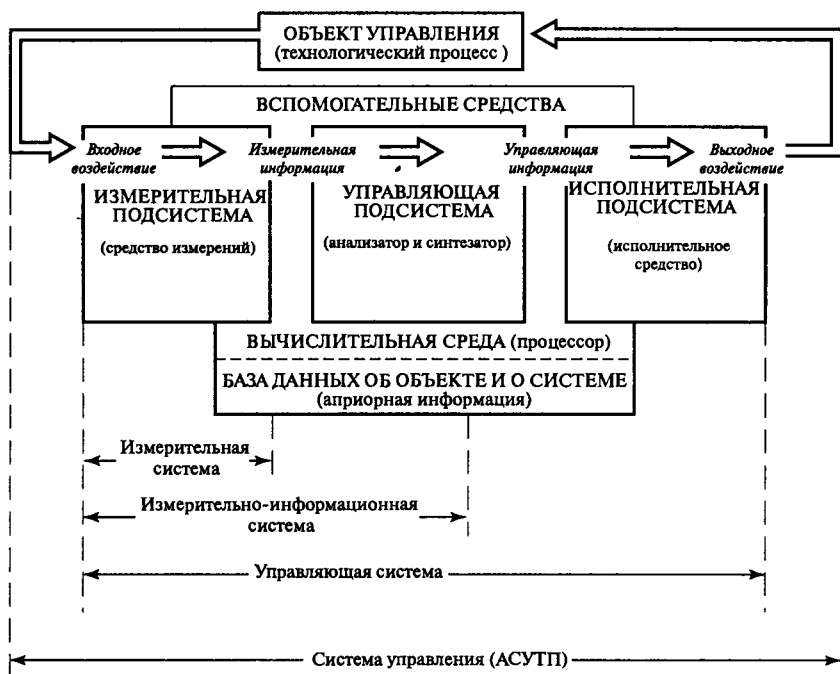


Рис. 14.1. Структура преобразования информации в системе управления

пределенности в пространстве, многоканальности, многофункциональности, гибкости структуры и наличия в своем составе вычислительной техники.

Включение в состав ИИС и АСУТП современных средств вычислительной техники имело два важных следствия, которые заставили коренным образом изменить традиционный взгляд на систему управления. Во-первых, расширились и усложнились функции систем, что сопровождалось усложнением обработки результатов измерений. Во-вторых, изменилось соотношение между числом задач преобразования сигналов, решаемых с помощью аппаратных и программных средств, в пользу последних. Поэтому сложно, а часто невозможно разграничить измерительные и неизмерительные функции, реализуемые с помощью систем, поскольку граница в большинстве случаев проходит через программное средство.

Определяющим для ИИС является уровень эффективности достижения тех целей, ради которых она создана, т. е. для контроля, испытаний, диагностики, обнаружения, распознавания и др., а для АСУТП — для управления. В то же время лишь для

одной функции (естественно, подсистемы) — измерительной (являющейся базовой, но «внутренней», а не итоговой) — существует система обеспечения единства измерений (система метрологического обеспечения), которая и гарантирует получение такой эффективности. Другие функции и подсистемы, включая целевые функции (системы в целом), не имеют этой мощной методической, организационно-правовой и технической поддержки.

Известно, что качество функционирования ИИС и АСУТП можно характеризовать точностью или аналогичными ей показателями, поэтому целесообразно применить методы метрологического обеспечения (МО) для ИИС и АСУТП в целом и распространить их на целевые, неизмерительные функции. Эти положения составляют основу концепции целостности МО измерительно-информационных и управляющих систем. Сущность концепции состоит в том, что в качестве объекта МО рассматриваются системы в целом, включая неизмерительные подсистемы и функции. Методологической основой концепции служат два функциональных положения. Первое состоит в том, что функция контроля, испытаний, диагностики, обнаружения и распознавания, а также измерительная функция составляют суть функции классифицирования (рис. 14.2.).

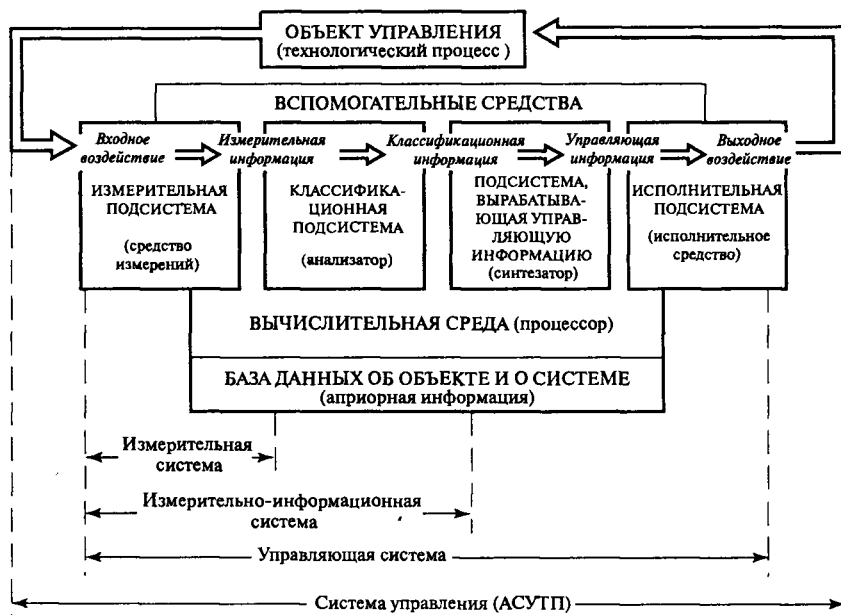


Рис. 14.2. Уточненная структура преобразования информации в системе управления

Технический контроль осуществляют на основании измерений некоторой совокупности параметров объекта (например, технологического процесса). При этом следует принять решение об отнесении состояния объекта к одному из двух классов: «нормальное» (параметры процесса соответствуют установленным нормам) либо «ненормальное». Следовательно, речь может идти о решении элементарной классификационной задачи, в которой интервал возможных состояний объектов (значений их параметров) разбивается на два непересекающихся класса.

Техническая диагностика представляет собой двухэтапную классификационную процедуру: вначале объект относят к одному из двух классов — работоспособный или неработоспособный (неисправный), затем — к одному из подклассов, определяющих степень (запас) работоспособности или характер (серьезность) неисправности, соответственно.

Распознавание образов также сводится к классифицированию, так как предполагает установление признаков объектов, определяющих образы, разбиение пространства признаков на области, характеризующие классы состояний объектов, и определение конкретных объектов, на основании измерений их признаков отнесение их к соответствующим классам. Если классы разбивают пространство на две области, то распознавание становится двухальтернативным, т. е. сводится к обнаружению объекта.

Термин *«процесс преобразования информации»* следует понимать в широком смысле слов. Он объединяет:

— процессы выделения информации (в частности, измерительной) в результате взаимодействия информационного средства (в частности, средства измерения) с объектом познания (в частности, измерения), который можно назвать первичным источником информации (объект является реально существующим разнообразием, которое отражается при информационном процессе);

— процессы восприятия информации от вторичных ее источников, когда информационное средство непосредственно взаимодействует с объектом, который является носителем уже выделенной информации;

— процессы преобразования информации из одной формы в другую (измерительной — в классификационную, управляющую и т. п.);

— процессы передачи, хранения и обработки информации;

— процессы преобразования управляющей информации в физическое воздействие (состояние), например в исполнительной подсистеме (преобразование информации в реально существующее разнообразие).

Развитие представлений о преобразованиях информации и ее количественном оценивании должно привести в итоге к созданию теории единства информационных процессов.

Главным при формировании информации для ИИС и АСУТП является процедура измерения. В ее основе лежит сравнение измеряемой величины с однородной величиной, принятой за единицу, или со шкалой. Предпосылкой сравнения служит выбор модели измеряемой величины, включая проверку адекватности модели объекту. Однозначно, что это — классификационная задача так же, как сравнение с единицей, поскольку система единиц и схема передачи их размеров носят дискретный характер и описываются с помощью характерных (классификационных) признаков. Результат измерения позволяет отнести измеряемую величину к той или иной области значений по шкале. Критерием различия смежных областей является погрешность результата измерений, причем при ее оценивании снова решают классификационную задачу выбора модели погрешности и параметрической идентификации этой модели, следовательно, имеет место разделение шкалы на области (собственно классификация) и отнесение измеряемой величины (свойства объекта) к определенной области на основе сравнения (идентификации).

Таким образом, на основе изложенных положений вместо управляющей подсистемы (см. рис. 14.1.) выделяют две подсистемы: классификационную и формирующую информацию и управляющую (см. рис. 14.2).

Вторым основополагающим моментом является то, что определяющим положением, обеспечивающим целостность системы, становится информация об объекте, с которым система взаимодействует, поэтому функционирование системы есть процесс преобразования информации, т. е. в АСУТП как наиболее сложной из рассматриваемых систем, в основном включающей в себя ИИС, информация «возникает» (как измерительная) на выходе первичного преобразователя (датчика), передается, оставаясь таковой, по измерительному каналу (включающему в себя средство обработки результатов измерений), преобразуется в классификационную информацию (решение) и на выходе ИИС преобразуется в управляющую информацию (в соответствующей подсистеме АСУТП) и «исчезает» (превращается в необходимое воздействие на объект управления) в исполнительной подсистеме (см. рис. 14.2).

Таким образом, согласно концепции целостности, ИИС и АСУТП можно рассматривать как информационные системы, предназначенные для решения задач классификации объектов (принятия решений) и управления объектами, соответственно.

Компоненты этих систем представляют собой информационные преобразователи.

Так, ИИС определена как «информационная система, состоящая из информационных средств (в том числе средств измерения) и вспомогательных технических средств, в которых измерительная информация преобразуется в другие виды классификационной информации». **Метрологическое обеспечение ИИС** трактуется как *«система научной, технической, правовой и организационной деятельности, направленной на обеспечение соответствия характеристик информации нормам путем достижения единства процессов преобразования информации (информационных процессов), осуществляемых с помощью ИИС, включая единство измерений»*.

Аналогично под метрологическим обеспечением АСУТП следует понимать «систему научной, технической, правовой и организационной деятельности, направленной на обеспечение путем управления соответствия характеристик технологического процесса установленным нормам, путем управления на основе достижения единства процессов преобразования информации (информационных процессов) в АСУТП».

#### **14.1. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУТП)**

АСУТП — человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор, обработку информации и управление технологическими объектами в соответствии с принятыми критериями.

Критериями управления АСУТП являются технико-экономические показатели (например, себестоимость готового продукта, производительность ТОО при стандартном качестве продукта) или технологические показатели (например, параметры технологического процесса, параметры качества готового продукта).

АСУТП — одно из наиболее специфических применений вычислительной техники. ЭВМ и устройства, входящие в состав АСУТП, управляют ТОО, функционирующим в реальном времени и реализующим технологический процесс (ТП). При этом на вычислительную технику возложены задачи управления пуском и остановом технологического оборудования, контроля его состояния и защиты от перегрузок, поддержания заданного режима работы оборудования и стабилизации отдельных технологических параметров, оптимизации качественных и количественных показателей работы отдельных агрегатов и технологического объекта в целом и т. п.



Под назначением АСУТП на предприятиях пищевой промышленности следует понимать целенаправленное проведение технологических процессов для получения в достаточном количестве различных пищевых продуктов стандартного качества с наименьшими затратами и обеспечение смежных и вышестоящих АСУ необходимой информацией. Иерархия АСУ, типичная для пищевой промышленности, представлена на рис. 14.3.

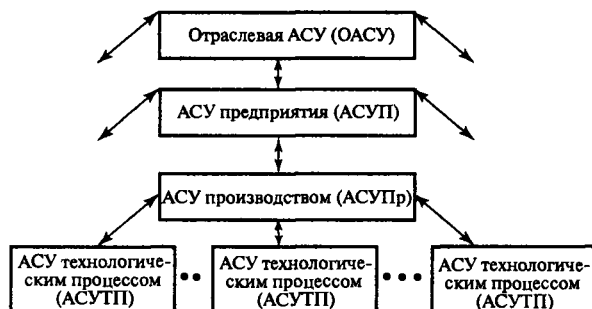


Рис. 14.3. Иерархия АСУ на предприятиях пищевой промышленности

АСУТП обеспечивают высокотехнологическое производство и стандартное качество продукции, снижают материальные и энергетические затраты, создают устойчивость и надежность в работе производственных структур, гарантируют функционирование системы в заданных параметрах согласно заданной (целевой) функции. Человек выступает в АСУТП как оператор, диспетчер ее работы. Получаемые от преобразователей, регуляторов и измерительных устройств, контролирующих технологические процессы, сигналы, несущие определенную информацию о состоянии ТОО, поступают к оператору, следящему за выполнением комплекса операций, направленных на оптимальное протекание процессов производства.

С функциональной точки зрения АСУТП представляет собой программно-технический комплекс (ПТК), осуществляющий во взаимодействии с человеком ввод, обработку и отображение сигналов, характеризующих состояние ТП, а также, при необходимости, выработку управляющего воздействия для управления ходом ТП.

АСУТП образует совместно с ТОО программно-технический комплекс (ПТК).

В зависимости от распределения задач между человеком и аппаратурой различают три принципа действия ПТК: не прямое управление, управление в разомкнутом контуре, управление в замкнутом контуре.

**При непрямом управлении** ПТК не имеет непосредственной связи с объектом управления. Информация о протекающем процессе вводится в комплекс обслуживающим персоналом, т. е. вручную. Он (ПТК) обрабатывает введенные данные и выдает результат в виде отчетного протокола и рекомендаций по оптимальному ведению процесса для обслуживающего персонала. Эта информация используется персоналом для принятия решений, например для устранения отклонений от заданного режима, пополнения запаса исходного сырья и т. п. Такой вид работы целесообразно применять для управления относительно медленными процессами (например, при автоматизации складов, хранилищ и т. п.), так как между моментом возникновения нарушения и соответствующим вмешательством оперативного персонала возникает задержка, связанная с ручным вводом данных. В этом случае автоматизированный технологический комплекс работает в пакетном режиме.

**При управлении в разомкнутом контуре** аппаратура обработки данных связана с объектом управления непосредственно, минуя обслуживающий персонал, так что вся информация о протекании ТП вводится автоматически. В остальном работа АСУТП остается прежней. Однако решение вопроса об использовании рекомендаций остается целиком в компетенции человека. Система управления служит ему не более чем советчиком. Управление в разомкнутом контуре требует работы аппаратуры в режиме реального времени.

**При управлении в замкнутом контуре** ПТК подключен непосредственно к объекту управления не только на стороне ввода информации, но и на стороне вывода управляющих воздействий. В процессе работы он непосредственно управляет исполнительными устройствами, установленными на объекте, и самостоятельно ликвидирует отклонения, обнаруженные при анализе поступающей информации. Человек не принимает непосредственного участия в процессе управления. Результаты работы системы регистрируются, как и прежде, в виде протоколов. Управление в замкнутом контуре требует работы аппаратуры в режиме реального времени.

На практике чаще всего используют комбинированный принцип действия, сочетающий управление в разомкнутом и замкнутом контурах, в зависимости от основных функций, выполняемых в АСУТП (информационных технологических или вспомогательных).

Функцией АСУТП принято называть совокупность действий, направленных на достижение частной цели управления (ГОСТ 24003-64).

Отличительной особенностью функций АСУТП является их законченность с технологической точки зрения: информационная функция обеспечивает получение данных извне (от объекта, оператора или другой системы) и выдачу результата также во внешнюю среду. Таким образом, в общем случае она (функция) должна включать полный набор операций обработки информации: ввод, переработку, накопление, отображение и вывод.

Основной задачей АСУТП является поддержание заданного режима работы ТОО, в частности распознавание и ликвидация отклонений от оптимального протекания ТП. Эта задача выполняется с помощью традиционных функций контроля, регулирования и управления с использованием различных способов измерения, идентификации, оптимизации и адаптации.

Оперативный персонал рассматривает систему управления как вспомогательное средство, облегчающее ему выполнение основной задачи: ведение ТП в соответствии с заданным регламентом. В обязанности персонала входит: наблюдение за ходом ТП, распознавание нарушений; вмешательство при отклонениях от заданного режима, в том числе и в аварийных ситуациях, путем изменения вручную некоторых параметров (например, изменение уставок регуляторов); переключение структурных связей и т. п.; анализ причин нарушений, принятие решений по их устранению.

Совокупность этих действий связана с функцией оперативно-го управления. При ее реализации большое значение придается наличию процедур, в которых система ведет оператора, подсказывая решения в аварийных ситуациях.

Организация управления в АСУТП требует получения информации о протекании ТП и определения оптимального режима функционирования объекта с реализацией найденных оптимальных управляющих воздействий на ТОО. С содержанием основных этапов в реализации управления на ТОО можно ознакомиться по рис. 14.4.

Сложность управления ТОО определяется большим размахом вектора информации, многообразием методов ее обработки и

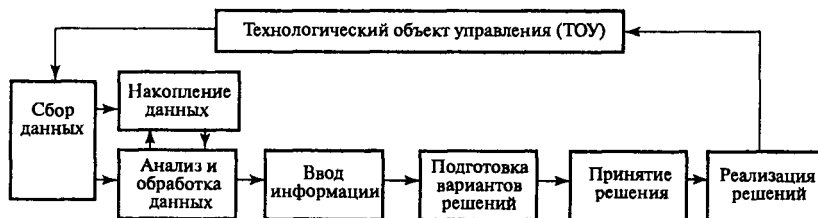


Рис. 14.4. Основные этапы в реализации управления ТОО

разнообразием форм использования полученных результатов. Обеспечение оптимального протекания технологического процесса в АСУТП обусловлено реализацией в этих системах множества взаимосвязанных операций сбора, хранения, анализа и обработки информации о ТОУ; обработки показаний, регистрации или индикации одних переменных и регулирования других, реализации набора определенных решений по управлению. Выполнение перечисленных решений обусловлено функционированием системы, т. е. выполнением ею установленных функций.

Любая АСУТП является многофункциональной системой, т. е. обладает внешними и внутренними функциями. Внешними являются функции, определяемые назначением системы; внутренними — служебные функции, обеспечивающие качественное выполнение основных, внешних функций. Внешние функции АСУТП подразделяют на информационные и управляющие. К информационным относят функции системы, результатом выполнения которых является предоставление оператору ТП или внешним потребителям информации о состоянии управляемого процесса.

**Информационными функциями АСУТП** являются: контроль текущих значений основных параметров процесса ( $Y_{\text{мек}}$ ); проверка соответствия параметров процесса заданным оптимальным значениям ( $Y_{\text{min}} < Y_{\text{мек}} < Y_{\text{max}}$ ) и информирование персонала о возникновении несоответствия; измерение и регистрация параметров по выбору оператора; вычисление определенных параметров или комплексных показателей, не поддающихся непосредственному измерению (например, определение обобщенного показателя качества пищевого продукта); вычисление технико-экономических показателей (ТЭП) работы ТОУ и др.

**Управляющие функции АСУТП** включают мероприятия по формированию и реализации управляющих воздействий на ТОУ. К ним относятся следующие функции: стабилизация оптимально заданных параметров ТП на значениях, определяемых технологическим регламентом ( $Y = \text{const}$ ); программное управление по заданным программам, в том числе пуск и останов отдельных машин и аппаратов; логическое управление в типовых ситуациях, определение «узких мест» и согласование нагрузок последовательно работающих аппаратов; формирование и реализация управляющих воздействий, обеспечивающих достижение режима, оптимального по технологическому или технико-экономическому критериям.

**Вспомогательные функции АСУТП** обеспечивают собственно их функционирование, т. е. задают алгоритмы функционирования системы, служат для диагностики состояния комплекса техниче-

ких средств (КТС), формирования базы данных и ведения информационной базы.

Функционирование АСУТП осуществляется за счет взаимодействия ее составных частей: информационного обеспечения, программного обеспечения, технического обеспечения, организационного обеспечения и действий оперативного персонала.

**Информационное обеспечение (ИО)** — это совокупность систем кодирования и классификации технологической и технико-экономической информации, сигналов, характеризующих состояние ПТК, справочной и оперативной информации. В состав информационного обеспечения входит математическое обеспечение, состоящее из математических методов и алгоритмов решения задач, методов обработки информации и формирования команд управления для воздействия на технологические процессы.

**Программное обеспечение (ПО)** — это совокупность программ для средств вычислительной техники, обеспечивающих реализацию информационной функции АСУТП. Оно состоит из общего (системного) ПО и других средств вычислительной техники, инструментального ПО, при помощи которого производится разработка прикладного ПО, обеспечивающего решение конкретных задач функционирования ТОУ согласно заданным алгоритмам управления.

**Техническое обеспечение (ТО)** — это комплекс технических средств, обеспечивающий формирование информации о состоянии ТОУ; получение и передачу информации; ее обработку и формирование управляющих воздействий; представление информации оперативному персоналу; управление исполнительными механизмами для воздействия на технологический процесс; передачу информации в смежные или вышестоящие АСУ.

**Организационное обеспечение (ОО)** — включает описание функциональной, технической и организационной структур, регламенты и инструкции для оперативного персонала.

**Оперативный персонал (ОП)** — это технологи-операторы ПТК, осуществляющие управление ТОУ, и эксплуатационный персонал, обеспечивающий функционирование системы в целом. Степень участия операторов в управлении ТОУ зависит от уровня автоматизации. Современный уровень автоматизации ТОУ позволяет постепенно выводить оператора из контура управления и передавать его функции техническим средствам. При этом оператор должен контролировать работу КТС и принимать решения в аварийных ситуациях.

По способу реализации информационных и управляющих функций и по структуре АСУТП подразделяют на:

1. АСУТП, функционирующие без программно-технического комплекса, которые обеспечивают управление отдельными аппаратами, агрегатами с помощью локальных систем (дистанционное управление, автоматическое регулирование, сигнализация, измерения по вызову и другие функции). Их структура представлена на рис. 14.5.

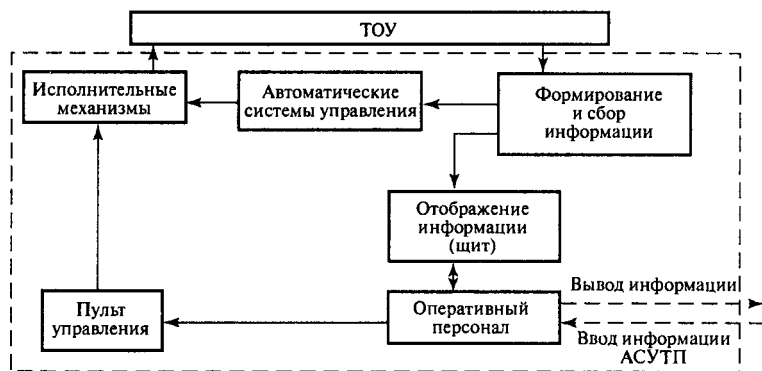


Рис 14.5. Структура АСУТП, функционирующей без ПТК

Обмен информацией осуществляется человеком (оператором) посредством регистрации текущей информации в журналах в виде таблиц, графиков и т. п.

2. АСУТП, функционирующие с ПТК, выполняют информационные функции централизованного контроля, обработки информации и регистрации технико-экономических показателей (ТЭП). Выбор и осуществление управляющих воздействий здесь осуществляет человек (оператор).

Для информационных функций автоматизированный режим предусматривает участие человека (оперативного персонала) и ПТК в операциях по формированию и преобразованию информации.

Эти АСУТП разработаны и внедрены на многих предприятиях пищевой промышленности, например на хлебозаводах (склады бестарного хранения муки и ее подача в производство), на табачных фабриках (учет готовых изделий и оперативное управление процессом их производства), на предприятиях сахарной промышленности (управление технологическим процессом производства), на спиртовых заводах (управление процессом производства), на предприятиях синтетических моющих средств и др.

3. АСУТП, функционирующие с ПТК в режиме «советчика», когда ПТК выполняет информационные функции. На основе

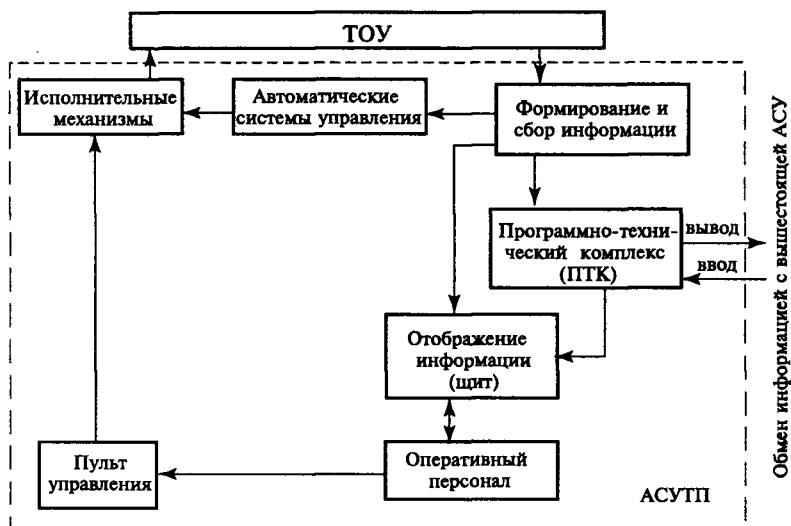


Рис. 14.6. Структура АСУТП, выполняющей информационные функции

анализа входной информации он формирует рекомендации (советы) по управлению и осуществляет поиск оптимальных решений, которые принимаются и реализуются оперативным персоналом. Такая же система может осуществлять диалоговый режим, что позволяет оперативному персоналу корректировать постановку и условия задачи, решаемые ПТК при выработке рекомендаций по управлению объектом.

Данные АСУТП находят применение при освоении новых технологий, когда обслуживающий персонал не имеет необходимого навыка и достаточного количества наработок по технологии производства. Структура АСУТП, функционирующей в режиме «советчика», представлена на рис. 14.6.

Типичным примером реализации АСУТП в режиме «советчика» может быть система подачи муки в производство на хлебозаводах, построенная на принципе непрямого управления. Она предназначена для автоматизации процесса хранения и выдачи муки со склада в производственные бункеры при помощи транспортно-просеивательных трактов. В состав системы входят пульт контроля и управления, логическое устройство (ПЛК), щиты с блоками тензометрических устройств, щиты с магнитными пускателями.

После пуска ПТК в его логическое устройство поступает информация с пульта по количеству бункеров, подключенных к трактам, муки, а также от тензометрических устройств по коли-

честву муки в емкостях. При получении сигнала от нижних уровней в емкостях логическое устройство автоматически (без участия человека) формирует программы заполнения этих емкостей в соответствии с очередностью их опорожнения, а также программу пуска и останова транспортно-просеивательных трактов и выдает команды магнитным пускателям для подключения и отключения электроприводов технологических агрегатов. Информация о выполнении команд также поступает в логическое устройство, которое дает команды включения соответствующей сигнализации на мнемосхеме пульта.

4. АСУТП, функционирующие в автоматическом режиме, при котором ПТК реализует управляющие функции, в целях автоматического формирования и осуществления управляющих воздействий на ТОУ. При этом реализуется режим супервизорного управления, когда средства управляющего вычислительного комплекса автоматически изменяют уставки и (или) параметры настройки локальных систем автоматического управления регулирующими устройствами вблизи параметров оптимального протекания технологического процесса. Структура АСУТП, реализующей супервизорное управление, приведена на рис. 14.7.

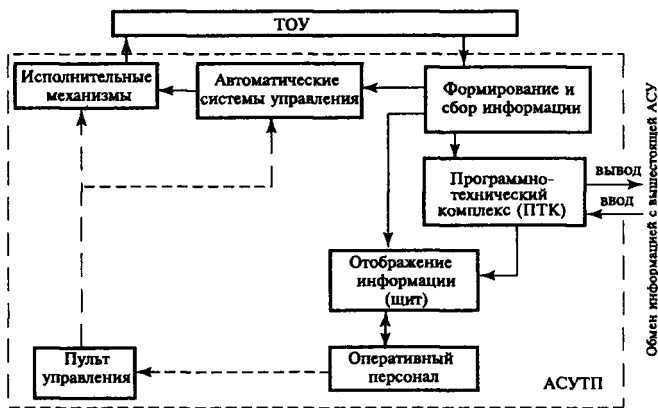


Рис. 14.7. Структура АСУТП, функционирующей в супервизорном режиме управления

Такая АСУТП (с супервизорным режимом управления) может реализовывать процесс тестоприготовления, один из основных и наиболее ответственный этап хлебопекарного производства, во многом определяющий качество хлебобулочных изделий, а также процесс брожения в спиртовом производстве, виноделии и др.



К основным операциям процесса созревания теста относят дозирование сырья и полуфабрикатов (жидких), их смешивание и замес, а также брожение. Стабилизация качественных показателей теста при непрерывном тестоприготовлении может достигнута за счет совершенствования технических характеристик и эксплуатационной стабильности оборудования, регулирования оптимальных номиналов основных параметров технологического процесса, позволяющего полностью автоматизировать этот процесс.

К возмущающим факторам при замесе теста относят колебания температуры и влажности воздуха, колебания концентрации и влажности компонентов теста, частоту вращения рабочих органов, продолжительность замеса и степень механической обработки теста в машине и ряд других характеристик тестомесильного оборудования.

Входными (управляющими) переменными при замесе теста являются расходы компонентов (муки, опары, соли, сахара, жира), выходными (управляемыми) — выход теста, его влажность, вязкость, кислотность, температура (т. е. качество полуфабриката).

АСУТП процесса тестоприготовления, построенная на принципе разомкнутого контура, должна обеспечить выполнение следующих функций: управление подачей муки и жидких компонентов в соответствующие сборники; управление последовательно включенными агрегатами и механизмами; контроль наличия компонентов в сборниках; контроль качественных показателей теста по величине энергозатрат; контроль температуры жира, воды и МКЗ; дозирование компонентов теста в соответствии с заданной рецептурой; автоматическое регулирование температуры жидких компонентов.

Эти информационные и управляющие функции процесса тестоведения может реализовать АСУТП с вычислительным комплексом (ПТК), выполняющим функции супервизорного управления (см. рис. 14.7). Это обеспечивает проведение процесса в режиме, близком к оптимальному. Вычислительный комплекс включен в контур автоматического управления, определение управляющих воздействий осуществляется с использованием модели объекта, а результаты затем преобразуются в сигналы изменения уставок и настроек регуляторов.

5. АСУТП, реализующая автоматический режим прямого непосредственного цифрового управления (НЦУ), в котором ПТК реализует управляющие функции. Их целью является автоматическая выработка и осуществление управляющих воздействий на ТОУ. При этом ПТК формирует воздействия непосредственно на исполнительные органы, а регуляторы (в тех случаях, когда нет

необходимости в повышении надежности) полностью исключаются из схемы управления. В этом режиме все процедуры переработки информации осуществляются программно-техническим комплексом без участия человека. Структура АСУТП, реализующей режим НЦУ, представлена на рис. 14.8.

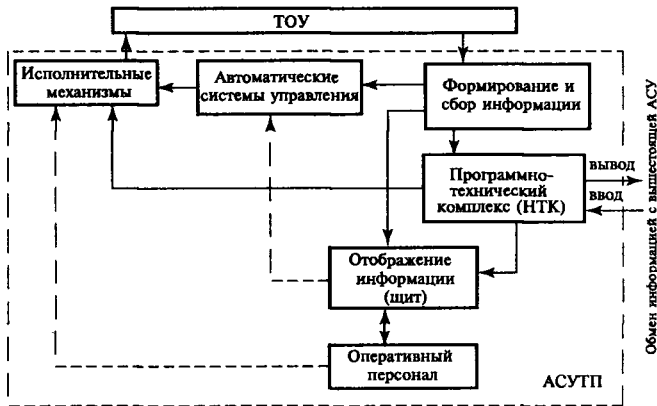


Рис. 14.8. Структура АСУТП, функционирующей в режиме непосредственного цифрового управления

Структура АСУТП, действующей в режиме НЦУ, может быть реализована, например, при выпечке хлебобулочных изделий и в других производствах.

Выпечка хлеба является завершающим этапом производственного цикла приготовления хлебобулочных изделий. После завершения тестоприготовления внутри тестовой заготовки и на ее поверхности протекает комплекс физических, коллоидных, микробиологических и биохимических преобразований, в результате которых она превращается в готовую заготовку для выпечки хлеба.

Процессы, протекающие в тестовой заготовке, носят, как правило, нестационарный характер, а процесс выпечки, как объект управления, является нелинейным объектом с распределенными параметрами. Скорость протекания процессов в тестовой заготовке зависит от скорости изменения температуры в соответствующем слое. В пекарной камере тестовая заготовка проходит различные этапы гидротермической обработки, включающие увлажнение, теплообмен излучением, конвекцией и теплопроводностью.

Основными качественными показателями хлеба, определяемыми кинетикой тепло- и массообмена в пекарной камере, считают объем и форму хлеба, его пористость, окраску и глянецвидность корки, а также вкус и аромат. К основным факторам,

влияющим на объем и форму хлеба, можно отнести параметры процесса его гидротермической обработки в зоне увлажнения: температуру и влажность среды в пекарной камере, а также структурно-механические свойства теста и продолжительность выпечки.

Выпечка хлеба осуществляется на современных печах, представляющих собой комплекс теплотехнических, транспортно-механических устройств, снабженных средствами автоматического контроля и регулирования основных параметров процесса. Эти печи используют газ или жидкое топливо, а также электрообогрев и обладают малой тепловой инерцией и низким энергопотреблением. При выпечке хлеба решаются следующие задачи: управление запальными устройствами для розжига печи; контроль температуры в I и III зонах печи; регулирование температуры во II зоне (пекарной камере); стабилизация паровлажностного режима в пекарной камере; контроль расхода топлива; сигнализация отклонений параметров от заданных значений; автоматизация безопасности горения; учет готовой продукции; сохранение свежести хлеба в экспедиции.

Информационные и управляющие функции процесса выпечки может реализовать АСУТП, построенная на принципе замкнутого контура, с ПТК, выполняющим функции прямого цифрового управления (см. рис. 14.8). Это обеспечивает протекание процесса в режиме, близком к оптимальному. При этом ПТК включен в замкнутый контур автоматического управления. Сбор и обработка информации о состоянии ТООУ в режиме прямого цифрового управления, а также формирование управляющих воздействий осуществляются с использованием модели объекта с распределенными параметрами, а результаты измерений преобразуются в сигналы изменения заданных параметров и настроек регуляторов. В связи с тем что в контур управления включен ПТК, оперативный персонал лишь наблюдает за работой системы и вмешивается в процесс выпечки только в аварийных ситуациях.

## **14.2. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

В последнее время динамично развивается рынок комплексных интегрированных систем автоматизации предприятий и организаций. Проблема комплексной автоматизации стала актуальной и для каждого предприятия пищевой промышленности. Это обусловили следующие основные причины:

— повышение роли организационной и финансовой самостоятельности предприятий;

- выход на зарубежный рынок;
- стремление западных компаний производить свои товары в РФ;
- завершение периода «островковой» автоматизации;
- ориентация предприятий, на бизнес-процессы — деятельность, представляющую ценность для клиента;
- появление на рынке зарубежных и отечественных систем автоматизации на основе микропроцессорных аппаратно-программных средств, опыта их внедрения и использования и т. д.

Практически каждая фирма, работающая на рынке информационных технологий, предоставляет консалтинговые услуги.

Консалтинг — это деятельность специалиста или фирмы, занимающихся стратегическим планированием проекта, анализом и формализацией требований к информационной системе, созданием системного проекта и, в частных случаях, проектированием приложений.

Фактически консультантом выполняются два вида работ.

1. *Бизнес-консалтинг* — это элементарное наведение порядка в организации, предусматривающее бизнес-анализ и реструктуризацию (реинжиниринг бизнес-процессов). Однако речь идет не об автоматизации существующего хаоса, царящего на многих предприятиях пищевой промышленности, в итоге которой можно получить «автоматизированный хаос», а о планомерной автоматизации бизнес-процессов на основе цифровых систем управления.

2. Второй вид работ включает собственно *системный анализ и проектирование*. Выявление и согласование требований заказчика приводит к пониманию того, что необходимо сделать в действительности. Далее следует проектирование или выбор готовой системы, при наличии таковой, так, чтобы в итоге она как можно в большей степени удовлетворяла требованиям заказчика.

Кроме того, важный элемент консалтинга — формирование и обучение работников предприятия, так как любые проекты, модели должны кем-то сопровождаться. Сотрудники предприятия с самого начала участвуют в проекте, им в определенной степени передаются внутрифирменные технологии. По окончании работ они способны анализировать и улучшать бизнес-процессы в рамках собственного предприятия.

Консалтинговые компании удовлетворяют спрос на их услуги, который возникает с переходом от «островковой» к комплексной автоматизации, когда предприятие неспособно самостоятельно справиться с возникшими проблемами, а следовательно, необходимо платить не только за программное и аппаратное обеспечение, но и за отчеты и рекомендации.

Консалтинговые структуры характеризуются следующими четырьмя позициями:

1. Знания и информация — главный и единственный их продукт.
2. Опыт персонала, приобретаемый годами и десятилетиями при работе над конкретными проектами.
3. Независимость.
4. Объективность.

### **Цели и этапы разработки консалтинговых проектов**

Основными целями разработки консалтинговых проектов являются:

- представление деятельности предприятия и принятых здесь технологий в виде диаграмм, обеспечивающих наглядность и полноту их отображения;
- формирование на основании анализа предложений по реорганизации организационно-управленческой структуры;
- упорядочение информационных потоков внутри предприятия;
- выработка рекомендаций по выбору рациональных технологий работы подразделений предприятия и выстраиванию его взаимоотношений с внешним миром;
- анализ требований к построению корпоративных информационных систем и проектирование их спецификаций;
- рекомендации и предложения по возможности внедрения существующих систем управления предприятиями, в частности классов MRP (*manufacturing resource planning*) и ERP (*enterprise resource planning*).

### **Этапы разработки консалтинговых проектов**

#### *1. Анализ первичных требований и планирование работ.*

Этот этап предваряет инициацию работ над проектом. Его основные задачи: анализ первичных бизнес-требований, предварительная экономическая оценка проекта, построение плана-графика выполнения работ, создание и обучение совместной рабочей группы.

2. *Проведение обследования деятельности предприятия, которое предусматривает:*

- предварительное выявление требований, предъявляемых к будущей системе;
- определение оргштатной и топологической структур предприятия;

- определение перечня целевых задач (функций) предприятия;
- анализ распределения функций по подразделениям и сотрудникам;
- определение перечня применяемых на предприятии средств автоматизации.

На этом этапе разработки выявляются функциональные блоки деятельности каждого из подразделений и устанавливаются функциональные взаимодействия между ними и информационные потоки внутри подразделений и между ними, описываются внешние по отношению к предприятию объекты и внешние информационные взаимодействия.

В качестве исходной информации при проведении обследования и реализации следующих этапов разработки используются:

- данные по оргштатной структуре предприятия;
- информация о применяемых технологиях;
- стратегические цели и перспективы развития;
- результаты интервьюирования сотрудников (от руководителей до исполнителей нижнего звена);
- предложения сотрудников по совершенствованию бизнес-процессов на предприятии;
- нормативно-справочная документация;
- опыт системных аналитиков в части наличия типовых решений.

Продолжительность обследования обычно составляет 1—2 недели. По окончании обследования строится и согласуется с заказчиком предварительный вариант функциональной модели предприятия, включающий идентификацию внешних объектов и информационных взаимодействий с ними, а также детализирующий деятельность предприятия до уровня основных производств и показывающий информационные связи между ними.

### 3. Построение моделей деятельности предприятия.

На данном этапе обрабатываются результаты обследования и строятся модели деятельности предприятия двух видов:

- *модель «как есть»*, представляющая собой «снимок» положения дел на предприятии (оргштатная структура, схема взаимодействия подразделений, перечень принятых технологий, наличие автоматизированных и неавтоматизированных бизнес-процессов и т. д.) на момент обследования и позволяющая понять, что изготовляет и как функционирует данное предприятие с позиций системного анализа, а также на основе автоматической верификации выявить ряд ошибок и «узких мест» и сформулировать ряд предложений по улучшению ситуации;

— *модель «как должно быть»*, интегрирующая перспективные предложения руководства и сотрудников предприятия, экспертов и системных аналитиков и позволяющая сформировать видение новых рациональных технологий работы предприятия.

Каждая из этих моделей включает в себя полную структурную функциональную модель деятельности предприятия (например, в виде иерархии диаграмм потоков данных с разработанными для всех процессов, вплоть до нижнего уровня, подробными спецификациями на структурированном естественном языке или в виде иерархии SADT-диаграмм), информационную модель (как правило, с использованием нотации «сущность — связь»), а также, в случае необходимости, событийную (описывающую поведение) модель (с использованием диаграмм переходов состояний).

Переход от модели «как есть» к модели «как должно быть» может осуществляться двумя способами:

1) *Путем совершенствования технологий на основе оценки их эффективности.* Критериями оценки при этом являются: величины стоимостных и временных затрат реализации бизнес-процессов, степень дублирования и противоречивости отдельных задач бизнес-процесса, степень загруженности сотрудников («легкий реинжиниринг»).

2) *За счет радикального изменения технологий и переосмысления бизнес-процессов («жесткий реинжиниринг»).* Например, вместо того чтобы пытаться улучшить бизнес-процесс проверки кредитоспособности клиента, следует определиться, а нужна ли вообще такая проверка? Возможно, затраты на такие проверки каждого из клиентов во много раз превышают убытки, которые может понести компания в отдельных случаях недобросовестности (в случаях, когда клиентов много, а суммы закупок незначительны).

Созданные модели являются не просто реализацией начальных этапов разработки системы, а техническим заданием на последующие этапы. Они представляют собой самостоятельный отдельный продукт, имеющий большое практическое значение, а именно:

1. Модель «как есть» включает в себя существующие на предприятии неавтоматизированные технологии. Формальный анализ этой модели позволяет выявить «узкие места» в технологиях и дать рекомендации по их улучшению (независимо от того, предполагается ли на данном этапе автоматизация предприятия или нет).

2. Эта модель позволяет осуществить автоматизированное и быстрое обучение новых работников конкретному направлению деятельности, так как ее технология содержится в модели, используя при этом диаграммы (известно, что «одна картинка может содержать информации больше тысячи слов»).

3. С помощью этой модели можно осуществить предварительное моделирование нового направления деятельности в целях определения новых потоков данных о взаимодействующих системах и бизнес-процессах.

### **Разработка системного проекта**

Данный этап, по существу, является первой фазой разработки собственно системы автоматизации (фаза анализа требований к системе), где требования заказчика уточняются, формализуются и документируются. Фактически на этом этапе формулируется ответ на вопрос: «Что должна делать разрабатываемая система?» Именно здесь находится ключ к успеху всего проекта автоматизации. В практике создания больших программных систем известно немало примеров неудачной реализации проектов именно из-за неполноты и нечеткости определения системных требований.

На этапе разработки системного проекта определяются:

- архитектура системы, ее функции, внешние условия ее функционирования, распределение функций между аппаратной и программной частями;

- интерфейсы и распределение функций между человеком и системой;

- требования к программным и информационным компонентам системы, необходимые аппаратные ресурсы, требования к базе данных, физические характеристики компонент системы, их интерфейсы;

- состав людей и перечень работ, имеющих отношение к системе;

- ограничения в процессе разработки (директивные сроки завершения отдельных этапов, объем имеющихся ресурсов, перечень организационных процедур и мероприятий, обеспечивающих защиту информации).

Системный проект строится на основе модели «как должно быть» и предполагает создание функциональной модели будущей системы в соответствии с одним из общепринятых стандартов (например, IDEFO или IDEF3), информационной модели, например в соответствии со стандартом IDEF1X, а также разработку технического задания на создание автоматизированной системы (например, согласно ГОСТ 34.602—89).

По завершении данного этапа (после согласования системного проекта с заказчиком) изменяется роль консультанта. Он становится на сторону заказчика, и одной из его основных функций на всех последующих этапах работ является контроль за соответствием требованиям, определенным в системном проекте.



Отметим некоторые достоинства системного проекта. Для традиционной разработки характерно осуществление начальных этапов кустарными, неформализованными способами. В результате заказчики и пользователи впервые могут увидеть систему лишь после того, как она уже в большей степени реализована. Естественно, такая система отличается от той, которую ожидали увидеть разработчики. Поэтому далее необходимо провести еще несколько итераций ее разработки или модификации, что требует дополнительных затрат и финансов, и времени. Ключ к решению этой проблемы дает системный проект, который позволяет:

- описать, «увидеть» и скорректировать будущую систему до того, как она будет реализована физически;
- уменьшить затраты на разработку и внедрение системы;
- оценить разработку по времени и результатам;
- достичь взаимопонимания между всеми участниками работы (заказчиками, пользователями, разработчиками, программистами и т. д.);
- улучшить качество разрабатываемой системы, а именно: создать оптимальную структуру интегрированной базы данных, выполнить функциональную декомпозицию типовых модулей.

Системный проект полностью независим, в том числе и от конкретных разработчиков, не требует сопровождения его создателями и может быть безболезненно передан другим лицам. При этом, если по каким-либо причинам предприятие не готово к реализации проекта, он может быть положен «на полку» до тех пор, пока в нем не возникнет необходимость. Кроме того, его можно использовать для самостоятельной разработки или корректировки уже реализованных на его основе программных средств силами программистов отдела автоматизации предприятия.

### **Разработка предложений по автоматизации предприятия**

Используя системный проект осуществляют:

- составление перечня автоматизированных рабочих мест (АРМ) предприятия и способов взаимодействия между ними;
- анализ применимости существующих систем управления предприятиями для решения поставленных задач и формирование рекомендаций по выбору одной из таких систем;
- совместное с заказчиком принятие решения о выборе конкретной системы управления предприятием или разработке собственной системы;
- разработка требований к техническим средствам;
- разработка требований к программным средствам;
- разработка предложений по этапам и срокам автоматизации.

## Разработка технического проекта

На данном этапе на основе системного проекта и принятых решений по автоматизации проводят проектирование системы, по существу, давая ответ на вопрос: «Как (каким образом) необходимо строить систему, чтобы она удовлетворяла предъявляемым к ней требованиям?» Этот этап разработки следует разделить на два подэтапа:

1. *Проектирование архитектуры системы*, включающее разработку структуры и интерфейсов ее компонент (автоматизированных рабочих мест), согласование функций и технических требований к компонентам, определение информационных потоков между основными компонентами, выявление связей между ними и внешними объектами.

2. *Детальное проектирование*, включающее разработку спецификаций каждой компоненты, разработку требований к тестам и плана интеграции компонент, а также построение моделей иерархии программных модулей и межмодульных взаимодействий и проектирование внутренней структуры модулей.

При этом происходит расширение системного проекта за счет:

- его уточнения;
- построения моделей АРМ, включающих подсистемы информационной модели и функциональные модели, ориентированные на эти подсистемы вплоть до идентификации конкретных сущностей информационной модели;
- построения моделей межмодульных и внутримодульных взаимодействий с использованием техники структурных карт.

## Последующие этапы разработки

В случае разработки собственной системы последующие этапы разработки являются традиционными: по спецификациям технического проекта осуществляется программирование модулей, их тестирование и отладка, а далее последующая комплексация в АРМ и в систему в целом. При этом схема интегрированной базы данных, как правило, генерируется автоматически на основании информационной модели.

Настройка существующей системы МКР или ЕКР включает следующие этапы:

- наполнение системы фактическими данными;
- построение процедур их обработки;
- интеграция процедур внутри АРМ;
- интеграция автоматизированных рабочих мест в систему.

## **CASE-технологии — методологическая и инструментальная база консалтинга**

За последнее десятилетие сформировалось новое направление в программотехнике — CASE (Computer-Aided Software /System Engineering). Однако в настоящее время общепринятого определения CASE не существует. Содержание этого понятия обычно определяется перечнем задач, решаемых с его помощью, а также совокупностью применяемых методов и средств. В известном приближении CASE — это технология, представляющая собой совокупность методологий, анализа, проектирования, разработки и сопровождения сложных систем программного обеспечения (ПО), поддержанную комплексом взаимоувязанных средств автоматизации. CASE — инструментарий для системных аналитиков, разработчиков и программистов, заменяющий им бумагу и карандаш на компьютер для автоматизации процесса проектирования и разработки ПО.

В настоящее время дисциплина CASE оформилась в самостоятельное наукоемкое направление в программотехнике, которое обусловило образование мощной CASE-индустрии, объединяющей сотни фирм и компаний различной ориентации. Среди них выделяют: компании — разработчики средств анализа и проектирования ПО с широкой сетью дистрибьютерских и дилерских фирм; фирмы — разработчики специальных средств с ориентацией на узкие предметные области или на отдельные этапы жизненного цикла ПО; обучающие фирмы, которые организуют семинары и курсы подготовки специалистов; консультационные фирмы, оказывающие практическую помощь при использовании CASE-пакетов для разработки конкретных приложений; фирмы, специализирующиеся на выпуске периодических журналов и бюллетеней по CASE. Основными покупателями CASE-пакетов за рубежом являются военные организации, центры обработки данных и коммерческие фирмы по разработке ПО.

В последнее время CASE — наиболее бурно и интенсивно развиваемое направление в программотехнике. Практически ни один серьезный зарубежный программный проект не осуществляется без использования CASE-средств. Известная методология структурного системного анализа SADT (точнее, ее подмножество IDEFO) принята в качестве стандарта на разработку ПО Министерством обороны США. Среди менеджеров и руководителей компьютерных фирм считается правилом хорошего тона знать основы SADT и при обсуждении каких-либо вопросов нарисовать простейшую диаграмму, поясняющую суть дела.

Основная цель CASE состоит в том, чтобы отделить проектирование ПО от его кодирования и последующих этапов разработки, а также скрыть от разработчиков все детали среды разработки и функционирования ПО. Чем больше видов деятельности будет вынесено в проектирование из кодирования, тем лучше.

При использовании CASE-технологий изменяются все этапы жизненного цикла программной системы, при этом наибольшие изменения касаются этапов анализа и проектирования. В большинстве современных CASE-систем применяются методологии структурного анализа и проектирования, основанные на наглядных диаграммных техниках, при этом для описания модели проектируемой системы используются графы, диаграммы, таблицы и схемы. Такие методологии обеспечивают строгое и наглядное описание проектируемой системы, которое начинается с ее общего обзора и затем детализируется, приобретая иерархическую структуру со все большим числом уровней.

Несмотря на то что структурные методологии зарождались как средства анализа и проектирования ПО, сфера их применений в настоящее время выходит далеко за рамки названной предметной области. Поэтому CASE-технологии успешно применяются для моделирования практически всех предметных областей, однако устойчивое положение они занимают в следующих областях:

- в бизнес-анализе (фактически, модели деятельности предприятий «как есть» и «как должно быть» строятся с применением методов структурного системного анализа и поддерживающих их CASE-средств);

- в системном анализе и проектировании (практически любая современная крупная программная система разрабатывается с применением CASE-технологий, по крайней мере на этапах анализа и проектирования, что связано с большой сложностью данной проблематики и со стремлением повысить эффективность работ).

Отметить, что создание CASE — не революция в программной технике, а результат естественного эволюционного развития всей отрасли средств, называемых ранее инструментальными или технологическими. Однако существует ряд признаков и свойств, наличие которых позволяет классифицировать некоторый продукт как CASE-средство. Одним из ключевых признаков является поддержка методологий структурного системного анализа и проектирования.

CASE-технологии, вообще говоря, не могут считаться самостоятельными методологиями, они только развивают структурные

методологии и делают более эффективным их применение за счет автоматизации.

Кроме автоматизации структурных методологий и, как следствие, возможности применения современных методов системной и программной инженерии CASE-технологии обладают следующими основными достоинствами:

- улучшают качество создаваемого ПО за счет средств автоматического контроля (прежде всего контроля проекта);
- позволяют за короткое время создавать прототип будущей системы, что дает возможность на ранних этапах разработки оценить ожидаемый результат;
- ускоряет процесс проектирования и разработки;
- освобождают разработчика от рутинной работы, позволяя ему целиком сосредоточиться на творческой части разработки;
- поддерживают технологии повторного использования компонент разработки.

Большинство CASE-средств основано на парадигме «методология — метод — нотация — средство». Методология определяет руководящие указания для оценки и выбора проекта разрабатываемого ПО, шаги работы и их последовательность, а также правила распределения и назначения методов. Метод — это систематическая процедура, или техника, генерации описаний компонент ПО (например, проектирование потоков и структур данных). Нотации предназначены для описания структуры системы, элементов данных, этапов разработки и включают графы, диаграммы, таблицы, блок-схемы, формальные и естественные языки. Средства — инструментарий для поддержки и усиления методов. Эти инструменты поддерживают работу пользователей при создании и редактировании графического проекта в интерактивном режиме, они способствуют организации проекта в виде иерархии уровней абстракции, выполняют проверки соответствия компонентов.

### **14.3. РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСУТП И SCADA-СИСТЕМ**

Базовый функциональный профиль этих систем начал формироваться еще во времена первых управляющих вычислительных машин, снабженных монохромными алфавитно-цифровыми дисплеями, на которых создавались «псевдографические» изображения — прообраз современной графики. Уже в те времена системы обеспечивали сбор, обработку, отображение информации, ввод команд и данных оператором, архивирование и протоколирование протекания ТП.

С появлением в пунктах управления ТП компьютерной техники в составе управляющих вычислительных машин и РСУ расширяется их функциональный профиль, технические и коммуникационные возможности. В составе компьютерных операторских станций появляются цветные графические дисплеи, средства анимации изображений, предупредительная сигнализация, расширяются функциональные возможности операторских станций управления.

С формированием концепции открытых систем программные средства для операторских станций становятся самостоятельным продуктом, свободно комбинируемым с программно-техническими средствами разных производителей. Специализация изготовителей позволяет им сосредоточиться на проблемах создания ПО для компьютерных станций в АСУТП, к разработкам привлекаются программисты высокой квалификации. Формируется функция поддержки сетевых связей, одной из задач разработчиков становится обеспечение программных систем средствами связи с контроллерами и устройствами разных производителей, большим количеством контроллеров с разными аппаратно-программными платформами. При этом постоянное увеличение их числа заставляет разработчиков включать в состав программной системы большое количество драйверов и инструментарий для новых драйверов.

Современные SCADA-системы хорошо структурированы и представляют собой готовые к применению и согласованные по функциям и интерфейсам наборы программных продуктов и вспомогательных компонентов. В сетевых системах средствами SCADA реализуются станции разного функционального назначения, взаимодействующие между собой в АСУТП. Они имеют различную номенклатуру: станции-серверы и станции-клиенты, взаимодействующие в структуре «сервер — клиент»; станции наблюдения (мониторинга) для руководящих работников; специальные станции архивирования данных и документирования данных и событий и др.

В SCADA-системах широко применяется принцип модульного построения, реализуемого в двух основных вариантах:

— в первом варианте для системы, обеспечивающей полный набор базовых функций, создаются дополнительные пакеты-опции, реализующие не обязательные в применении функции контроля и управления, например SPC, Batch Control;

— во втором варианте система создается из функциональных модулей, реализующих отдельные функции контроля и управления. Модули в определенной степени независимы и могут применяться на отдельных функциональных станциях или свободно компоноваться в разных сочетаниях при разработке станций. Таким образом могут создаваться станции наблюдения, станции

«слепой узел» (концентратор данных в сети), станции со свободно формируемым набором функций и т. д.

Важным аспектом в структурном построении сетевых СУ является определение структуры БД РВ в сетевой системе: централизованная либо децентрализованная. Каждая из этих основных структур в SCADA-системах реализуется разными разработчиками по-разному; от реализации существенно зависят способы и эффективность обеспечения единства целостности БД, ее надежность, возможности модификаций при необходимости и т. д.

С ростом мощности компьютеров и соответствующим ростом информационной мощности операторских станций, соответственно потребностям приложений, SCADA-системы становятся масштабируемыми. Они выпускаются в вариантах, которые при сохранении в целом функционального профиля поддерживают от десятков или сотен до десятков тысяч входов/выходов.

SCADA-системы ведущих производителей обеспечивают расширение в иерархии уровней управления производством «по вертикали» — в направлении непосредственного управления процессом (автоматическое регулирование и программно-логическое управление) и в направлении управления производством. Такие программные системы представляют собой мощные программные комплексы, обеспечивающие ИАСУ производством в целом. Использование в системах разных уровней единых стиля оформления, терминологии, инструментария, служебных средств и т. д. значительно облегчает проектантам и системным интеграторам разработку СУ, а предприятиям — их освоение и эксплуатацию. Функции непосредственного управления реализуются в пакетах прикладных программ для контроллеров, построенных на основе персональных компьютеров (Soft PLC), и для компьютерной реализации функций непосредственного управления (Soft Control).

На уровне управления производством для диспетчерского управления (Manufacturing Executing System-MES) вполне применимы SCADA/HMI-системы для АСУТП. Сбор, отображение, архивирование данных и протоколирование хода производства средствами систем SCADA/HMI успешно применяются в АСУТП. Однако особенности функций диспетчерского управления потребовали от разработчиков SCADA/HMI-систем создания специальных программных продуктов для уровня управления производством. В них важную роль выполняет функция поддержки принятия решений перед перераспределением материальных и энергетических потоков в технологической схеме производства путем оценки результатов предполагаемых решений средствами моделирования. Использование стандарта моделирования существенно облегчает разработчикам создание программных систем, а

разработчикам проектов — освоение систем и переход от одной системы к другой.

Прогресс в области SCADA-систем в последние годы обеспечил значительное ускорение их внедрения. Использование новейших информационных технологий, интеграция приложений, встраивание стандартных языковых средств при программировании пользовательских алгоритмов и экранных взаимодействий значительно повысили эффективность SCADA-систем. В распоряжении пользователей разных групп появился мощный инструментарий. Технологии распределенной межсетевой архитектуры для корпоративных систем DNA (Distributed inter Net Architecture) в среде MS Windows, комплексирование продуктов для управления технологией создают новые технологии и новые возможности ИАСУ и обеспечивают перераспределение функций между ними. Поэтому в список поддерживаемых системами технологий и интерфейсов дополнительно к уже известным DDE, DLL, OLE, ODBC/SQL подключаются объективные компонентные модели COM/DCOM с ActiveX, технологии JAVA, универсальный интерфейс связи с внешними устройствами OPC, языки стандарта IEC 61131—3, языки описаний на основе Visual Basic for Applications (VBA), Internet/Intranet и т. д.

В распоряжении разработчиков и пользователей разных уровней появился инструментарий современных SCADA-систем, поддерживаемых средствами ОС и сетевых архитектур. Решения прикладных проблем в конкретных проектах поэтому стали многовариантными благодаря таким возможностям, как распределение функций между станциями и формирование функциональных нагрузок станций; подключение внешних средств обработки данных (электронных таблиц, БД и др.) — статистической обработки, контроля ТЭП и т. д.

Для пользователей важны функциональные и коммуникационные возможности и технические характеристики систем, например такие, как возможность через Internet приобрести необходимый фрагмент для разрабатываемой станции и без проблем «вставить» его в проект; руководству фирмы — «заглянуть» на экраны операторских станций дальнего предприятия и убедиться в соблюдении технологии; программисту — по просьбе заказчика проверить работу своей программы в СУ и после исправлений переслать новый вариант и возможность избавиться от «проблемы драйверов» средствами OPC-интерфейса. Новации в SCADA-системах обеспечивают значительное снижение затрат труда на разработку и обслуживание операторских станций, повышение скоростей и дальности (в смысле Internet) обмена данными в системах управления и многие другие.



Интеграция СУ на всех уровнях в пределах предприятия теперь обеспечена средствами интегрированных программных систем (наборов) и коммуникаций. Потенциальный пользователь одной из SCADA-систем, производитель при выборе подходящего для его задач SCADA-пакета попадает в нелегкое положение. При этом непростое составить задание на проектирование — приходится разбираться в возможностях новых технологий и обновленных SCADA-систем. Для пользователя очень важны оценки отдельных продуктов и их сопоставление с точки зрения выбора оптимального средства для конкретного производства.

В объективной оценке конкретного продукта или нескольких конкурирующих продуктов, представленных на рынке, заинтересованы все основные участники работ в течение всего времени жизненных циклов SCADA-систем и конкретных проектов «Разработка — распространение» и «Проектирование — эксплуатация прикладной системы»: разработчики и поставщики программных продуктов, распространители, проектанты и системные интеграторы, пользователи SCADA-систем. В зависимости от содержательной постановки вопроса речь идет об анализе отдельного продукта или нескольких продуктов. Анализ нескольких продуктов носит сопоставительный характер, и потребность в нем возникает при конъюнктурном исследовании сектора рынка при выборе одного из продуктов для конкретного проекта перед его разработчиками. При этом каждый раз перед инициатором оценки стоят следующие задачи:

- формирование критериев оценки потребительских качеств продукта;
- получение оценки каждого из критериев;
- формирование общей оценки каждого из продуктов по оценкам критериев.

Формирование критериев оценки сопряжено с совокупностью требований к продукту в задании на проект, однако набор критериев принципиально должен быть шире и включать, наряду с техническими и стоимостными характеристиками, трудноформализуемые характеристики, обеспечивающие удобство применения. Формулировка критериев трудна: она обобщается понятием «качество программ», которое составляет содержание международных и национальных (в том числе и военных) стандартов. В этих стандартах обобщен опыт формулировки требований к программам и показателей потребительских качеств программных систем — критериев качества, содержатся перечни и определения рекомендуемых к применению показателей. В них описывается примерно 20—30 показателей качества, которые для конкретных

программ нуждаются в интерпретации и конкретизации в соответствии с назначением и условиями их применения. Стандарты помогают при подготовке состава показателей, которые используются в проектных заданиях на разработку СУ.

Приведем примерный перечень критериев оценки SCADA-систем, он должен интересовать пользователей. Критерии оценок условно подразделяют на три большие группы: технические характеристики, приводимые в документации и описаниях; экономические характеристики и характеристики применения, определяемые по результатам работы с системой.

### *Технические характеристики*

**Компьютер:** платформа, ОС, частота процессора; требуемые объемы оперативной и дисковой памяти; возможности переноса приложений. Информационная мощность отдельной станции — максимальное число вводов/выводов; масштабируемость, ряд мощностей; скорость ввода/вывода данных и т. д.

**Структурные характеристики:** типы реализуемых станций, способы взаимодействия между ними; опции, модульность; структура БД РВ.

**Функциональные характеристики:** функциональная полнота — реализация стандартного состава функций SCADA-систем (базовые функции, функциональные расширения и их особенности); средства отладки в инструментальной системе, эмуляции исполнительной системы.

**Графические:** анимационный редактор, библиотеки графических заготовок и графических объектов со встроенными средствами обработки и отображения данных (Wizard); форматы импортируемых изображений.

**Средства представления и передачи данных и событий:** графические, символные отображения; поддержка звуковых/речевых сообщений; тренды текущие (архивные, сервис в работе с трендами,  $y(x)$ -тренды; передача персональных сообщений средствами связи пейджер, факс и др.).

**Коммуникации и интерфейсы, открытость SCADA-системы:** поддерживаемые сетевые протоколы, число (и при необходимости — перечень) драйверов обмена информацией с внешними устройствами; серверы и форматы ввода/вывода данных; инструментарий для разработки драйверов и серверов; поддержка интерфейсов межпрограммного и межсистемного обмена; языки создания пользовательских программ и поддержка стандартных языков, в том числе нечеткой логики.

**Надежность**, которая определяется надежностью ОС, средствами сохранения данных и конфигурации при сбоях и возникновении нештатных ситуаций, средствами автоматического перезапуска, возможностями резервирования компонентов системы в различных вариантах.

### *Экономические характеристики*

Стоимость программы и затраты, связанные с ее применением («цена применения»); номинальная стоимость системы и ее компонентов; ценовая политика производителя и распределителя на рынке; система скидок и оплата услуг; дополнительные затраты — стоимость обучения пользователей, эксплуатационные затраты и т. д.

### *Характеристики применения*

Удобства применения — совокупность средств и качеств, гарантирующих пользователям достаточно быстрое и успешное применение программной системы. К ним относятся:

1. **Дружественность диалога** — обеспечивается применением стандартов в оформлении интерфейса с пользователем; полнотой и наглядностью представления функций системы на экране, удобством и информативностью контекстных и оперативных подсказок (help) справочной системы.

2. **Качество документации**: полнота, наглядность и ясность описаний системы, наличие ошибок и неточностей; применение установившейся терминологии. Для зарубежных программных продуктов: русификация, подсказки (help), справочная система, системные сообщения, документация.

3. **Удобство сопровождения системы при эксплуатации**: полнота/недостаточность средств диагностики состояния системы при сбоях и отказах, нарушениях внешних связей; трудоемкость и уровень автоматизации работ при инсталляции системы; возможности внесения изменений в БД системы и коррекции экранов без остановки и т. д. Имеющие место и выявленные ошибки в работе программ, а также их значимость при работе систем управления.

4. **Статус программного продукта на рынке**: характеристики распространения и поддержки, получаемой пользователями, — тираж, количество инсталляций; число реализуемых версий продукта; поддержка пользователей изготовителями и распределителями — дилерская сеть, обучение, консультационная поддержка, горячая линия; условия обновления версий.

Все указанные показатели имеют количественный характер (информационная мощность, требования к ресурсам, стоимость

и т. д.) или качественный (наличие/отсутствие конкретных средств — функций, опций, интерфейсов).

Технические и экономические характеристики программных продуктов документируются и публикуются, их перечень должен гарантироваться разработчиками, его можно получить из документации.

Оценка удобства применения и качества документации в значительной мере субъективна, эти характеристики не имеют оценочной меры; о них можно судить только по результатам практического использования продукта. Тестирование, опубликование, анализ, опыт промышленного внедрения, характеристика качества и отработанности тиражного программного продукта обусловлена его положением на рынке, т. е. большая реализация продукта свидетельствует о значительном опыте применений, учтенном при обновлениях продукта, и о завоеванном авторитете у пользователей.

Основу анализа нескольких программных продуктов составляет сопоставление их технических и экономических характеристик. При анализе отдельного продукта акцент делается на углубленном рассмотрении данных системы. Затем проводится обсуждение сопоставительный анализ SCADA-систем из множества привлеченных при их выборе для формируемого проекта. Особенно ценным является опыт промышленного применения внедренных систем на предприятиях — лучше учиться на чужом опыте. При этом следует учитывать, что конкретный опыт субъективен, зависит от квалификации и личных качеств разработчиков проекта, эксплуатационников и конечных пользователей. Поэтому наряду с конкретным опытом представляют интерес и статистические данные.

#### **14.4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКРЫТЫХ SCADA-СИСТЕМ**

Появление SCADA-программ связано с однотипностью функций пунктов управления на разных уровнях (рабочих станций операторов ТП, диспетчерских пультов, контрольных постов руководства), а также на предприятиях разных отраслей, так что требования к этим пунктам могут быть достаточно четко формализованы.

SCADA-программы состоят из двух взаимозависимых частей: Run Time и Development. Они опираются на возможности ОС, в которой работает SCADA-программа. Привязка возможностей, заложенных в Run Time, к конкретному объекту (инжиниринг) осуществляется посредством инструментальной части (Development). Совокупность SCADA-программы и ОС, таким образом, представляет собой симбиоз, который можно назвать ПО. Инжиниринг фактически есть разработка прикладного ПО

пунктов управления без использования традиционных языков программирования.

Инструментальное ПО сводит основную часть разработки конкретного проекта к параметризации (заполнению БД) и рисованию видеogramм — работам, которые способен выполнить любой достаточно грамотный пользователь компьютера, прошедший обучение. Однако в большинстве случаев инженеры-технологи (а часто и специалисты по автоматизации) не обладают достаточным профессионализмом в использовании компьютеров. Более того, навыков профессионального использования компьютера недостаточно, чтобы обеспечить требуемую разработку и функционирование пунктов управления АСУТП. Здесь необходим труд программистов (как «системных», так и «прикладников»), умеющих программировать на традиционных языках программирования.

Обсудим это положение более подробно.

- Полный набор требуемых функций в конкретной системе управления обычно не может быть обеспечен только базовым ПО (например, это касается расчетных задач и алгоритмов определения команд управления с пульта оператора). До недавних пор для их программирования в состав SCADA-пакета входил так называемый «технологический» (Basic-подобный или Script) язык. В последнее время наметилась тенденция встраивания в SCADA-программу развитых языков программирования: С или VBA, что возвращает разработчика системы к традиционному программированию.

- Организация многопользовательского пункта управления — это требование настоящего дня. Разработчики SCADA-программ предлагают клиент-серверную технологию: информация должна стекаться на сервер, к которому по ЛВС подключается АРМ пользователей, что приводит к необходимости конфигурирования на базе SCADA ПО сервера и АРМ. Эта работа требует специальных навыков как программирования, так и администрирования ЛВС. При создании БД параметров на сервере для некоторых SCADA-программ необходимо указывать сетевые адреса клиентов, имеющих доступ к тому или иному параметру; для других — на компьютере-клиенте создавать копии БД доступных параметров с перечислением сетевых адресов источников данных.

Особого внимания требует корректность сетевых и внутренних настроек каждого сервера и рабочего места. Передача данных в другие АСУ (например, АСУ производственно-хозяйственной деятельностью) может осуществляться применением стандартных технологий — ODBC и SQL, поддерживаемых большинством SCADA-программ. Декларируется, что использование ODBC и SQL гарантирует взаимодействие с любой популярной БД.

Рассмотрим вопросы конфигурирования процесса обмена данными. Хотя аббревиатура ODBC о чем-то и информирует непрограммиста, но требует от него корректной установки на рабочее место драйверов ODBC, конфигурирования ODBC-интерфейса к приемнику/источнику данных и решения прочих сопутствующих задач. Выполнять ему все это просто нереально, а главное, не нужно. Что касается использования SQL, то и здесь требуются услуги программиста: нужно, как минимум, знание самого языка SQL (средства «могучего», но сложного со множеством тонкостей) и хотя бы основных принципов управления БД.

Возможности SCADA-программ в части формирования отчетно-учетных документов в последнее время ограничиваются протоколированием, поскольку создание шаблонов плохо поддается унификации и требует мощного инструментария. Для этих целей обычно предлагается использовать ПО третьих фирм, например генератор отчетов Crystal Reports или электронную таблицу Microsoft Excel. Передача данных из SCADA-программы в эти приложения осуществляются, как правило, посредством процедур DDE.

Отсюда вытекают такие требования к разработчику, как умение работать с электронными таблицами и БД, программировать на VBA или внутреннем SCRIPT-языке, не говоря уж о знании основных принципов организации DDE-обмена.

Последнее соображение касается использования любого инструментального программного продукта — лучшим пользователем всегда будет являться программист. При этом следует акцентировать внимание на обучении пользователя работе со SCADA-программой. Мало вероятно, что на предлагаемых различных фирмами одно- или двухнедельных курсах возможно сформировать специалистов, освоивших все тонкости работы со SCADA-программой. На самом деле за это время обучающиеся приобретают лишь начальные навыки. И только после завершения ими первого проекта можно говорить об их становлении в качестве полноценных специалистов. Не следует забывать и о требованиях к слушателям курсов: им нужен определенный базис программирования и пользования компьютером.

Обратим внимание на двусмысленность непрофессионального восприятия заказчиками термина «открытая система», применяемого в отношении предлагаемых SCADA-программ. В первую очередь речь идет о возможности организации информационного обмена по сети с ПЛК и другими системами управления. Утверждение о том, что современные SCADA-программы стали «открытыми» заказчиками воспринимается как гарантия отсутствия каких бы то ни было проблем по стыковке с любыми программно-техническими средствами. Однако это не так.

В отношении промышленных протоколов жесткие рамки открытости более прозрачны: надо использовать те ПЛК, драйверы для которых разработаны под конкретную SCADA-программу. Разработка же нового драйвера влечет за собой дополнительные проблемы: организационные, программистические, финансовые.

Для ЛВС проблема стыковки часто завуалирована словами «поддержка TCP/IP», на самом деле не являющимися достаточным основанием для того, что данные, полученные от другой системы управления, попадут в БД конкретного пользователя. Однако, в соответствии с моделью связи OSI (Open System Interconnection), протокол TCP/IP функционально занимает четвертый уровень (уровень транспорта). На этом уровне гарантируется надежное поступление сообщений и обеспечиваются механизмы проверки на ошибку и управление элементами потока данных. Механизм интерпретации данных уровень транспорта (т. е. любой транспортный протокол, включая TCP/IP) не предусматривает, а это значит, что без дополнительных средств получатель не способен понять, какую именно информацию (файл, сообщение, массив данных и т. д.) передал ему отправитель. Нужен драйвер уровня приложений, идентичный используемому в другой АСУ. На сегодня не существует единого драйвера для АСУТП: у каждой SCADA-программы он свой.

Кроме протокольных проблем остаются проблемы взаимопонимания между специалистами (разработчиками разных систем): проблемы сверки терминов, понимания решаемых задач и т. д. Необходимо добиться четкой договоренности по сетевому взаимодействию, объему параметров и представлению их в двоичном виде, а также по интерпретации получаемых блоков данных (какую информацию несет конкретный бит данных).

Обсудим проблему трудоемкости процесса создания ПО АСУТП. При этом возникает иллюзия волшебной палочки, позволяющей в мгновение ока разработать ПО АСУТП, оплатив лишь SCADA-пакет. Действительно, если раньше специалисты основное время тратили на программирование процедур сбора информации и передачи управляющих воздействий, а также на разработку своего ЧМИ, а вопросы архивирования информации, расчетов, формирования отчетно-учетных документов решались в минимальном объеме, то в настоящее время использование SCADA-пакета позволяет программистам удовлетворить существенно возросшее требование к ПО, значительно повысить качество и функциональный объем решаемых на верхних уровнях АСУ задач. При этом время разработки современного ПО пультов управления составляет не дни, а месяцы. Фактически наблюдается закономерность, типич-

ная для технического прогресса: соотношение «потребность — производительность» близко к константе.

Практика эксплуатации ряда SCADA-пакетов различными инжиниринговыми фирмами для одного из конкретных автоматизируемых объектов показала соотношение стоимости ПО АСУТП, равное  $10 \pm 40\%$  (процент увеличивается для мощных SCADA-пакетов, причем общая стоимость ПО, естественно, уменьшается).

## **Основные понятия и положения автоматизированного проектирования**

Проектирование следует рассматривать как процесс управления с обратной связью: результаты проектирования сравниваются с техническим заданием, формирующим требования к объекту, а если они не совпадают, то цикл проектирования повторяется до тех пор, пока отклонения созданного прототипа от технических требований не окажутся в допустимых пределах.

Современный этап автоматизации проектирования связан с созданием систем автоматизированного проектирования (САПР), которые представляют собой комплекс программно-технических средств, взаимосвязанных с коллективами специалистов, выполняющих проектные работы. Концепция автоматизированного проектирования систем управления основана на том, что САПР представляется в качестве человеко-машинной системы управления с обратной связью. САПР АСУТП предназначена для производства технической документации, необходимой для изготовления проектируемого объекта. Это интеллектуальная человеко-машинная система, в рамках которой выполняется весь цикл проектных работ, начиная от НИР и заканчивая изготовлением конструкторской и технологической документации. Понятие «*интеллектуальность*» человеко-машинной системы следует рассматривать как способность раскрывать и использовать интеллектуальные возможности человека, освобождая разработчика от механической и нетворческой работы.

Решение задач автоматизированного проектирования основано на численных процедурах, реализуемых с помощью ЭВМ. Прикладное программное обеспечение САПР включает пакеты прикладных программ (ППП) и аппаратные средства поддержки вычислительных операций, проводимых в процессе автоматизированного моделирования и проектирования систем автоматизированного управления. ППП — это функционально законченные комплексы взаимосвязанных программ, рассчитанные на массовое применение, которое позволяет существенно увеличить про-



изводительность труда специалистов, занятых разработкой и использованием программ для решения достаточно сложных задач.

Для общения с проектировщиками в САПР используются средства ведения диалога и средства получения документов. Типичный пример диалога — введение данных на экран монитора, перевод ЭВМ в режим ожидания ответа и продолжение диалога после его получения.

«Диалоговый режим» общения практически на всех ЭВМ обеспечивается мониторами, снабженными мощной программной поддержкой. Для документирования в САПР применяются различные графопостроители.

## **14.5. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

### **Основные положения и задачи стандартизации**

В соответствии с ГОСТ 1.0—85 стандартизация — это деятельность, заключающаяся в нахождении решений для повторяющихся задач в сфере науки, техники и экономики, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области. Цель стандартизации — создание системы нормативно-технической документации (НТД), определяющей прогрессивные требования к продукции, изготовляемой для нужд народного хозяйства, населения и экспорта, при производстве и применении, а также контроль за правильностью исполнения этой документации.

Объектами стандартизации являются продукция, правила ее разработки, производства и применения и другие виды услуг общественного производства и социальной жизни. В общественном производстве наиболее традиционные объекты стандартизации — продукция производственно-технического назначения, товары народного потребления, бытовые услуги, оказываемые населению предприятиями и организациями службы быта, типовые технологические процессы, формы и методы организации труда и производства, правила выполнения производственных и контрольных операций, испытаний, анализа, измерений, транспортирования и хранения продукции.

Для повышения эффективности использования государственной системы стандартизации (ГСС), повышения уровня разрабатываемых стандартов, проведения норм и требований стандартов (особенно в области производства продуктов питания и повышения их качества, охраны здоровья населения и окружающей среды) в практику, обеспечения выполнения требований стандартов к сырью, материалам, комплектующим изделиям и готовой продукции, а также

к оборудованию, средствам измерений и системам управления во взаимосвязи с национальными, региональными и международными стандартами был создан Всероссийский научно-исследовательский институт экспертизы стандартов (ВНИИЭС), являющийся главным институтом в стране по экспертизе стандартов.

Наибольшее число НТД разработано на продукцию производственно-технического назначения и товары народного потребления.

Производственно-технические отношения, которые возникают и повторяются на различных стадиях жизненного цикла (ЖЦ) изделия между изготовителями и потребителями, устанавливаются и регулируются главным образом стандартами и техническими условиями (ТУ). В них регламентируются единые нормы, требования к качеству и экономичности продукции, правила входного и выходного контроля, маркировки, упаковки, транспортирования, хранения, эксплуатации, гарантии изготовителя и т. д.

Стандартизацию и управление качеством продукции в РФ осуществляет Госстандарт страны, который несет ответственность за технический уровень и качество продукции в масштабах страны, организацию, состояние и развитие стандартизации в научно-техническом прогрессе, повышение эффективности общественного производства, за его научно-технический уровень и технико-экономическую целесообразность.

Госстандарт России определяет основные направления развития: осуществляет разработку научно-методических и технико-экономических основ стандартизации, межотраслевую унификацию изделий в метрологии, отвечает за совершенствование системы стандартизации и метрологии в стране, стандартизацию показателей качества продукции, разработку общих требований к проектированию, производству, приемке и методам испытаний. Он организует работу по аттестации качества продукции, обеспечивает единство и достоверность измерений в стране; несет ответственность за укрепление и развитие государственной метрологической службы и эталонной базы. На Госстандарт России возложены обязанности по созданию новых и совершенствованию существующих методов и СИ высшей точности, стандартизации методов, средств контроля и испытаний, значений физических констант, аттестации стандартных образцов веществ и материалов; организации и проведению государственных испытаний СИ. Он осуществляет государственный надзор за внедрением и соблюдением стандартов и ТУ, за состоянием и применением измерительной техники, в том числе микропроцессорной.

Научно-технический прогресс обуславливает сокращение сроков создания новой техники, необходимой народному хозяйству, которая обладает наиболее прогрессивными производственно-тех-

ническими характеристиками, способна обеспечить значительное повышение производительности труда и стандартное качество продукции.

## **Эффективность разработок АСУТП**

В пищевой промышленности основным направлением автоматизации технологических процессов является совершенствование и внедрение АСУТП. Эффективность АСУТП в значительной степени предопределяется качеством разрабатываемых проектов. При этом не следует забывать, что их надо разрабатывать с минимальными затратами и в сжатые сроки, минимизируя сметную стоимость проекта.

В настоящее время в отраслях пищевой промышленности многие проектные работы автоматизированы. В проектах АСУТП автоматизированным способом разрабатываются сметная и проектная документация монтажно-коммутационных схем для изготовления щитов и пультов контроля и управления. Расширяются работы по автоматизации проектирования программного обеспечения, которое является наиболее трудоемкой частью проекта АСУТП. Стоимость этих работ в большинстве случаев равна половине общей стоимости проектных работ.

Автоматическое проектирование представляет собой процесс взаимодействия человека с ЭВМ по составлению описаний, необходимых для выполнения проектных операций в целях получения соответствующих проектных документов. В комплекс средств автоматизации проектирования входят различные графопостроители, периферийные устройства ЭВМ и специальные приставки, обеспечивающие изготовление (по содержанию и форме) соответствующей проектной документации в необходимом количестве.

### **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ**

1. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП).
2. Функции АСУТП.
3. Задачи АСУТП.
4. Информационные и управляющие функции АСУТП.
5. Разновидности АСУТП.
6. Стандартизация в разработке систем управления.
7. Методология проектирования микропроцессорных систем управления.
8. Разработка и проектирование АСУТП и SCADA-систем.
9. Программное обеспечение открытых SCADA-систем.

## Глава 15. АСУТП ОТРАСЛЕЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Для предприятий отраслей пищевой промышленности характерны специфические особенности, особенно при производстве продуктов питания, здесь преобладают непрерывно-дискретные и дискретные ТП. С их помощью осуществляется переработка скоропортящегося сырья с использованием сложных физико-химических и биохимических методов и строгим соблюдением рецептур для сохранения пищевой и вкусовой ценности продукции. Основная цель — обеспечение стандартного качества продукции.

АСУТП реализуют автоматизированный сбор, обработку информации для формирования управляющих воздействий на объект управления. При управлении производством продуктов питания ввиду сложности и малой изученности технологических процессов их производства роль человека значительна.

Создание и функционирование АСУТП должно дать конкретные технико-экономические результаты: обеспечить низкую себестоимость продукции; ее стандартное качество; достаточное количество и широкий ассортимент пищевых продуктов для удовлетворения потребительского спроса населения; улучшить условия труда обслуживающего персонала.

### 15.1. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПИЩЕВЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ (ХЛЕБОЗАВОДОМ)

Эффективность функционирования АСУ хлебозавода в основном определяется выбором структур АСУТП, его отделений и подразделений, их функциями, комплексом технических средств управления с учетом мощности и необходимого уровня автоматизации. Структурную организацию АСУ хлебозавода следует рассматривать по горизонтали (где выделяются его технологические отделения и подразделения в плане задач управления законченными технологическими процессами производства) и по вертикали (где выделяются уровни управления технологическими процессами). На рис. 15.1 приведена структура АСУ хлебозавода (АСУП).

Технологические отделения и подразделения хлебозавода, как правило, состоят из ряда взаимосвязанных технологических аппаратов, агрегатов, установок, на которых протекает технологический процесс производства полуфабриката, продукта или подготовка вспомогательных материалов, энергоносителей, теплоноси-

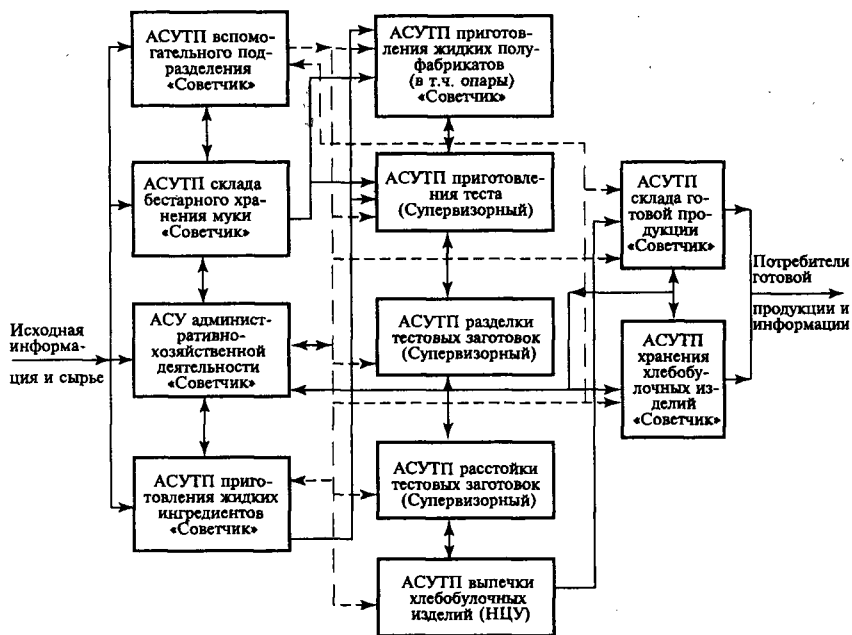


Рис. 15.1. Структура АСУ хлебозавода

телей и других материалов, связи между ними обозначены на рис. 15.1 сплошными линиями.

Автоматизированное управление технологическими отделениями или подразделениями осуществляется сменными технологами под руководством главного технолога и руководителей хлебозавода, связи между ними обозначены на рис. 15.1 пунктирными линиями.

В первую очередь следует автоматизировать наиболее подготовленные отделения и подразделения хлебозавода, а затем, развивая АСУ, подключать новые.

Структура управления и порядок оснащения техническими средствами АСУ хлебозавода большой и средней мощности приведены на рис. 15.2. По вертикали структуру завода можно представить в виде трех иерархических уровней управления. Для хлебозаводов малой мощности и хлебопекарен целесообразна двухуровневая иерархическая структура управления.

Первый уровень структуры управления завода состоит из локальных автоматизированных систем управления, обеспечивающих формирование информации о протекании технологических процессов производства хлебобулочных изделий, смонтированных не-

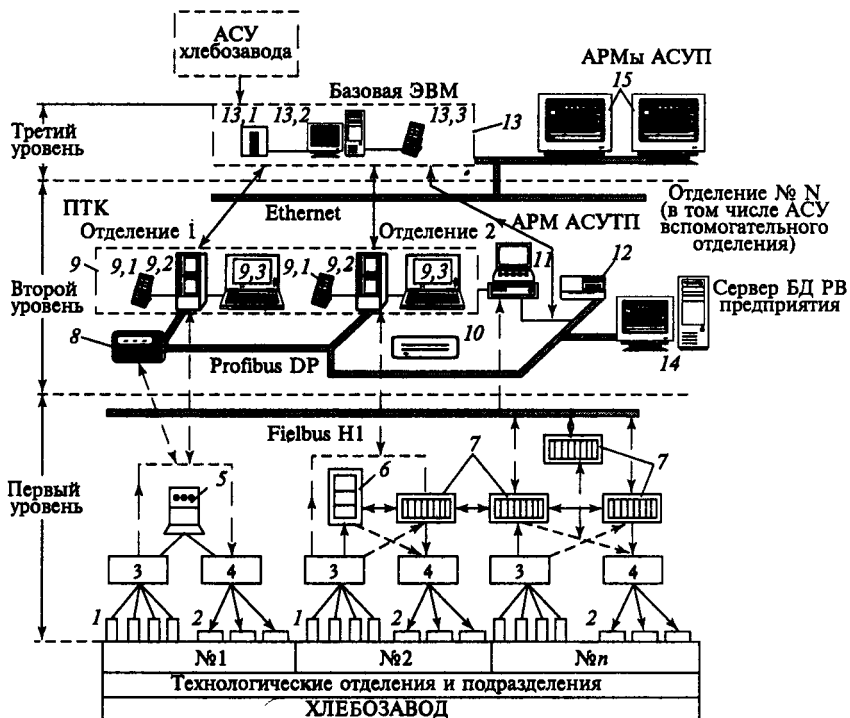


Рис. 15.2. Структура управления хлебозаводом средней и большой мощности:

1 — преобразователи (датчики) технологических параметров, установленные на технологическом оборудовании; 2 — исполнительные устройства и электродвигатели технологического оборудования; 3 — нормирующие преобразователи, сигнализаторы параметров, блоки питания, смонтированные на щитах; 4 — пусковая аппаратура электродвигателей и исполнительных устройств; 5 — пульт оператора по месту; 6 — локальная вычислительная сеть; 7 — локальные микропроцессорные контроллеры; 8 — сетевые микропроцессорные контроллеры; 9 — программно-технический комплекс (ПТК): 9.1 — печатающее устройство 9.2 — микроЭВМ и УСО, 9.3 — видеотерминал; 10 — цветной графический монитор; 11 — АРМы оператора-технолога АСУП; 12 — персональная ЭВМ; 13 — базовая ЭВМ третьего уровня — 13.1 — внешнее запоминающее устройство (винчестер), 13.2 — ЭВМ и видеотерминал, 13.3 — печатающее устройство; 14 — сервер базы данных предприятия; 15 — АРМы АСУП

посредственно по месту аппаратов, агрегатов, установок или линии; позволяющих провести ее обработку и передачу на следующий уровень управления с помощью полевой сети Fieldbus H1.

Каждый из видов технологического оборудования в основном оснащается локальной системой управления ЛВС. При этом обработка информации, ее представление оператору, формирование команд управления осуществляется техническими средствами микропроцессорной техники. Целесообразным является оснащение ТОУ современными интеллектуальными датчиками техноло-

гических параметров, локальными микропроцессорными устройствами для обработки информации, а также микропроцессорными исполнительными устройствами. Информация о состоянии ТООУ передается также на второй иерархический уровень управления для представления оператору и формирования команд управления технологическими процессами.

На первом уровне управления реализуются следующие функции АСУП:

- измерение технологических параметров, обработка и передача сигналов информации на второй уровень;
- регулирование заданных значений технологических параметров;
- формирование управляющих воздействий на исполнительные устройства (клапаны, насосы, мешалки и др.);
- автоматическое управление по заданным алгоритмам отдельными технологическими агрегатами, установками и линиями;
- сбор и передача на второй уровень управления сигналов о состоянии исполнительных устройств, срабатывании защиты и блокировок.

Согласно функциям АСУП, реализуемым на первом уровне, выбирают технические средства автоматизации:

- измерительные преобразователи (датчики) технологических параметров, преобразователи сигналов, сигнализаторы технологических параметров, регистрирующие устройства, регуляторы (контроллеры) по месту;
- исполнительные устройства;
- электропусковую аппаратуру;
- локальные микропроцессорные устройства (контроллеры для логико-программного управления и регулирования технологических процессов), УСО, ПК.

Второй уровень управления хлебозавода образован системами, функцией которых является автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями согласно информации, полученной от систем первого уровня управления. На втором уровне осуществляется координация управления технологическим оборудованием отделений, подразделений и линий, а также обеспечивается взаимосвязь между ними.

На этом уровне управления реализуются следующие функции АСУП:

- отображение оперативной информации о значениях технологических параметров и состоянии технологического оборудования, а также обозначениях вводимых оператором команд и данных;

— формирование и передача управляющих воздействий на исполнительные устройства;

— автоматическое управление по заданной программе и командам оператора работой технологического оборудования, находящегося в технологическом отделе или подразделении;

— координирование режимов работы отделений и подразделений;

— регистрация информации о работе технологического отделения и подразделения на печатающем устройстве, а также ее архивирование и хранение;

— сбор, обработка и передача информации о работе технологических отделений и подразделений на третий уровень управления заводом.

Системы управления второго уровня в основном базируются на применении программно-технических комплексов (ПТК), которые включают базовую ЭВМ (Intel Pentium I, II, III, VI), устройства связи с объектом (УСО), видеотерминалы, печатающие устройства, локальные и сетевые микропроцессорные устройства (контроллеры и др.), а также персональные ЭВМ (IBM PC AT—386, —486), т. е. автоматизированные рабочие места (АРМ) технолога.

Вся информация, необходимая для принятия решений по управлению технологическим процессом, отображается на цветных мониторах и видеотерминальных устройствах.

Ввод команд, данных и регламентов (инструкций) осуществляется оператором (технологом) с помощью клавиатуры. Информация о технологических параметрах и состоянии оборудования, команды управления передаются посредством устройства связи с объектом в ПТК или от локальных микропроцессорных устройств через сетевые микропроцессорные устройства в ЭВМ или персональные ЭВМ (ПЭВМ) посредством промышленной сети Profibus DP.

При использовании распределенных систем микропроцессорных контроллеров (что характерно для хлебопекарного производства) ко второму уровню управления относят сетевые контроллеры и ПЭВМ, которые используют АРМ технолога.

Для хлебозаводов малой мощности и хлебопекарен на втором уровне управления возможно использование средств локальной автоматики, т. е. вторичных измерительных приборов и мнемонических схем для отображения информации, пусковой аппаратуры дистанционного управления и микропроцессорных контроллеров для обработки информации.

Третий уровень управления хлебозавода образован системой централизованного управления, которая реализует задачи опера-



тивной диспетчеризации и координации управления технологическими отделениями и подразделениями согласно задачам АСУ завода и вспомогательного производства.

На третьем уровне управления реализуются следующие функции АСУП:

- диспетчеризация режимов работы технологических отделений и подразделений и координация их взаимодействий со вспомогательным производством;

- ведение баз данных и регистрация текущей и интегрированной информации о функционировании технологических отделений и подразделений в виде отчетной документации;

- сбор, обработка и передача необходимой информации о функционировании отделений и подразделений в АСУ хлебозавода и вспомогательного производства;

- прием и обработка информации из АСУ хлебозавода и вспомогательного подразделения и представление ее руководителям данного предприятия.

Для систем управления третьего уровня характерно применение ПТК и базовой ЭВМ, предназначенных для операторских станций, и обеспечение поддержки и манипулирования достаточно мощными базами данных.

В АСУ хлебозаводов большой и средней мощности достаточно важен обмен информацией как по горизонтали, между технологическими отделениями и подразделениями, так и по вертикали, между уровнями управления отделениями и подразделениями. Здесь эффективно применение протоколов и интерфейсов компонентов АСУП локальной сети, а также стандартных интерфейсов связи между микропроцессорными контроллерами, ПТК и ПЭВМ для промышленных распределенных сетей отечественного производства, а целесообразнее всего — информационной сети Ethernet.

Реализацию систем управления, т. е. АСУ хлебозавода, можно осуществить на базе интегрированной микропроцессорной системы «Даматик XDI» фирмы «Валмет» (Финляндия). Она решает следующие задачи: сбор и обработку технологической информации; контроль и управление технологическими процессами, а также управление электродвигателями и клапанами; групповое управление исполнительными устройствами, программный запуск и блокировку; видеографическое отображение протекания технологического процесса и работы системы управления; печатание рапортов и информационной режимных листов; организацию информационных связей внутри предприятия; обеспечивает возможность расширения вычислительных ресурсов для решения нестандартных задач.

Аппаратурное оформление системы на локальном уровне базируется на микропроцессорных станциях (совокупности кон-

троллеров). Каждая станция рассчитана на 200 входов и выходов. Они монтируются в стандартных шкафах. В каждом шкафу можно собрать до 6 станций. Станции решают следующие задачи: сбор и обработку технологической информации, в том числе с использованием вычислительных операций; автоматическое регулирование и логико-программное управление.

Информация от микропроцессорных станций (МС) передается в системную шину, предусмотрена также дублирующая системная шина. Максимальная длина ее составляет 2 км коаксиального кабеля, протокол связи «*token passing*». К системной шине подключаются устройства второго уровня: операторские станции, станции технологической и аварийной сигнализации, станции вывода трендов и станции управления рецептурами.

Для представления информации обслуживающему персоналу и управления станцией содержат графические телемониторы с высокой разрешающей способностью, сенсорную клавиатуру с программируемыми функциональными клавишами, печатающие и регистрирующие устройства.

Для планирования и управления хлебопекарным производством предусмотрена специальная микропроцессорная станция, которая подключается к системной шине. Она функционирует совместно с видеотерминалом и клавиатурой, при этом имеется и «Винчестер».

Система имеет станции резервирования, диагностики и конфигурации. В системе предусмотрены связи между смежными системными шинами и выход к внешним системам. Она может обслуживать до 50 станций.

Микропроцессорная система «Damatic XDI» позволяет решать задачи управления технологическими отделениями, подразделениями хлебопекарного производства и хлебозаводом в целом.

Система XDI — это распределенная система управления, обладающая мощными средствами автоматизации, начиная с базовых функций управления и заканчивая средствами информационного менеджмента как системы контроля и управления производством и качеством продукции.

Основное назначение системы — повышение производительности и качества продукции при использовании новых средств представления информации производственному персоналу.

Damatic XDI — это интегральная система, предусматривающая взаимодействие между СА и информационными системами с соответствующими приложениями; выполняемым ТП, средствами информационного менеджмента и функциями технического обслуживания; системой и технологическим оборудованием; системой и обслуживающим персоналом.

## *Основные характеристики системы*

- Мультиплатформенность — имеются средства работы на любой программной платформе, которую предпочтет выбрать пользователь.

- Многофункциональный пользовательский интерфейс — предусмотрены средства выполнения любой задачи с одним и тем же ЧМИ.

- Удобные пользовательские программы формирования отчетов, средства воспроизведения ТП, программы архивации и сбора данных, средства анализа и помощи.

- Наличие средства технологического управления и информационного менеджмента.

- Предусмотрены средства базового управления, встроенные возможности ввода/вывода (связь с контакторами блока электродвигателей без промежуточного реле развязки), усовершенствованные средства управления, например обеспечивающие неопределенное управление (fuzzy control), управление с мультипредсказуемостью, усовершенствованные решения по технике безопасности, групповое управление (batch control).

- Менеджмент в течение всего срока службы системы (техническое обеспечение функционирования системы на весь срок службы, начиная с базовых технических средств и заканчивая точной настройкой системы).

- Наличие электронной связи, возможность поиска и устранения неисправностей в режиме РВ, обучение персонала, системный аудит, доступ в сеть Internet.

- Открытая архитектура, позволяющая осуществлять интеграцию с другими видами систем.

В системе обеспечено взаимодействие с удаленными специалистами: критические аварийные сигналы можно автоматически передавать на пейджеры или в радиотелефонную мобильную сеть GSM; имеется возможность использования беспроводных терминалов для обслуживания системы ХДИ. Беспроводные терминалы — это высокопроизводительные компьютеры, позволяющие запускать одновременно несколько программ; они могут находиться внутри зоны действия радиосигналов любой базовой станции и предоставляют обслуживающему персоналу полную свободу передвижения.

Функции системы распределены по станциям, соединенным посредством шинного интерфейса, которые способны функционировать независимо от остальной части системы. В связи с тем что конструкция системного оборудования построена по модульному принципу, ее можно модернизировать и расширять.

## Структура и композиция

Эффективность архитектуры приложений «клиент — сервер» обеспечивается тем, что уменьшается объем данных, передаваемых по каналам связи. Между сервером приложений и АРМ передаются данные ввода/вывода. Все остальные данные циркулируют по системной шине сервера, которая обладает большей пропускной способностью, чем обычные каналы связи, в том числе и сетевые. Благодаря этому увеличивается производительность программ, интенсивно работающих с дисками, обеспечивается лучшее взаимодействие приложений.

При сетевом обмене между отдельными аппаратными компонентами предпочтительно:

- использование широковещательного режима передачи данных с необходимым числом повторов, обеспечивающего детерминированное время обмена в случае большого числа узлов;

- образование канала «точка — точка» при необходимости гарантированной доставки данных во время работы с ПЛК и при дистанционном управлении;

- использование приложений «клиент — сервер» только там, где это эффективно: при неперiodическом сетевом взаимодействии низкой интенсивности (в сравнении с приложением «мастер-слайв», обеспечивающей быструю доставку информации).

Систему Damatic XDI можно расширять на модульной основе, начиная с малогабаритных систем и заканчивая СУ всем предприятием.

При использовании ретранслятора в СУ техническую рабочую станцию можно использовать на расстояниях до 2 км от основной системы. Если системы невозможно физически соединить коаксиальным кабелем или RS-линиями последовательной связи, можно использовать станцию-маршрутизатор Ethernet (ERS) добавлением к концу каждой локальной системной шины.

Обмен данными между приложением автоматизации и информационным приложением Damatic XDI выполняется с помощью маршрутизатора данных Ethernet (EDR), соединяющего шины Ethernet (EDR) и Internet при сохранении именной адресации.

Одна из возможностей системы Damatic XDI — это программирование функций управления ТП на языке JAVA, который упрощает создание приложений, позволяет осуществлять сложные расчеты, обладает большой гибкостью в пределах пакета функциональных блоков, а также имеет повышенную защищенность благодаря современной и надежной операционной среде выполнения задач.

## Операционная среда свободно конфигурируемых протоколов

Эта операционная среда содержит средство для разработки и проектирования интерфейсов специальных приложений с другим оборудованием, подключенным к асинхронному каналу связи. Указанная конфигурация создается с помощью языка программирования Си; в системе Damatic XDI используется адаптированный интерфейс Foundation Fieldbus, что позволяет подключать интеллектуальные цифровые приборы любой фирмы.

В системе Damatic XDI возможна разработка алгоритмов Matlab, включающих высокоуровневый матричный язык Matlab. Он обеспечивает как интерактивное программирование для быстрого создания небольших программ, так и углубленное — для создания больших и сложных программ-приложений. В рабочую среду Matlab входят средства для управления переменными, импорта и экспорта данных, а также для разработки, управления и отладки программ, написанных на языке Matlab. Графическая система Matlab включает высокоуровневые команды для двух- и трехмерной визуализации данных, обработки изображений, анимации и рисования графиков, пакет программ настройки Tune-Up, служебные программы ПИД настройки.

В комплекте PCY Damatic XDI поставляется интегрированная многофункциональная однопользовательская рабочая станция (IWS), которая является станцией ввода/вывода для системы XDI. Она объединяет пользовательские технические интерфейсные станции, станции информации и автоматизации (XEWS, XIS, XOS), а также технические и информационные серверы (EWS, XIS).

Рабочая станция предназначена для работы:

- с малыми недорогими системами, имеющими только одну рабочую станцию интерфейса пользователя XDI;

- с малыми и средними системами XDI, в которых станции REP заменены информационными функциями IWS, а однопользовательский интерфейс оператора реализован с помощью IWS и XOS. Станция IWS также является техническим сервером, и ее можно использовать для архивирования долгосрочных тенденций и аварийных сигнализаций в небольших приложениях.

Система Damatic XDI постоянно развивается, круг решаемых ею задач определяется в соответствии с интересами заказчика. Как следствие эволюция технологии систем проходила одновременно с совершенствованием управления ТП и выполнением требований к имеющейся информации.

Дальнейшее расширение интерактивных возможностей системы, а также обеспечение общезаводской связи происходит за счет добавления в систему Damatic XDI новых функций.

Расширяются также и интерактивные системы: программирование выполняется на языке JAVA; повышается их мобильность, используются возможности сети Web и технологий беспроводной удаленной связи.

Система Damatic XDI реализует описание контуров управления посредством www-технологии, благодаря чему оператор может получить доступ к обновленным документам помощи, используя тот же самый интерфейс, который был применен для управления ТП.

Многофункциональность служебных программ позволяет решить практически любую задачу пользователя, независимо от используемой программной платформы. Такая возможность появилась теперь и для пользователей ОС Microsoft Windows NT с поддержкой нескольких видеомониторов и новой рабочей клавиатурой; ОС Windows NT позволяет пользователям Damatic XDI работать с программой формирования отчетов Wizard for Excel или пользоваться всеми программами для ПК, такими, как MS Excel, MS Word и Lotus Tools, в одном и том же интерфейсе пользователя.

В системе Damatic XDI используется адаптированный интерфейс Foundation, что обеспечивает возможность подключать интеллектуальные цифровые приборы любой фирмы.

Архитектура системы пригодна для использования на любом предприятии независимо от его размера. Новая шина 100 Мбит обеспечивает связь с унифицированными архитектурными возможностями системы.

Система Damatic XDI может быть адаптирована к любому процессу. Постоянная связь между средствами управления ТП и информационной БД помогает осуществить отдельный доступ к информации и своевременно принимать правильные решения, что обеспечивает большую эффективность производства, повышение качества продукции и снижение производственных затрат.

В качестве ПО системы Damatic XDI используется SCADA-пакеты Paragon (Nema Soft USA) или VNS (Ин Сат, РФ), а также любые другие SCADA-пакеты.

Реализацию управления хлебозаводом возможно осуществить и на микропроцессорной технике (второй вариант, который можно реализовать с помощью фирмы «Прософт» (Россия) и др. в комплекте со SCADA-системой Трейс Моуд).

## 15.2. СТРУКТУРА ОРГАНИЗАЦИИ АСУТП ОТДЕЛЕНИЯ, УЧАСТКА, ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ

Структура подразделений пищевого предприятия в основном определяется его мощностью и техническими средствами контроля и управления (рис. 15.3).

Модули:

а) с использованием локальных и сетевых контроллеров, средств отображения и управления ТП, а также АРМ операторов;

б) с использованием управляющей ЭВМ, сетевых контроллеров, средств отображения и управления ТП, а также АРМ операторов и лаборатории;

в) с использованием ПТК, локальных и сетевых контроллеров, средств отображения и управления ТП, а также АРМ операторов и лаборатории.

Здесь состав модулей:

1 — преобразователи (датчики) технологических параметров;

2 — электропневматические исполнительные устройства, пусковая электроаппаратура;

3 — локальные устройства управления ТП;

4 — микропроцессорные локальные контроллеры;

5 — микропроцессорные сетевые контроллеры;

6 — пульт управления оператора;

7 — сервер БД РВ;

8 — программно-технический комплекс (ПТК);

9 — управляющая ЭВМ отечественного или зарубежного производства;

10 — АРМ оператора (технолога, инженера, химика-аналитика и т. п.).

Современные системы управления отделениями и подразделениями пищевых предприятий (в том числе хлебозаводов) большой и средней мощности в основном имеют два иерархических уровня.

Реализацию АСУП производства хлебобулочных изделий можно осуществить посредством следующих вариантов АСУТП отделений и подразделений:

Первый уровень объединяет: измерительные преобразователи (датчики), сигнализаторы достижения параметров, средства управления исполнительными устройствами и пусковой аппаратурой с контроллерами. Технически перспективной является связь интеллектуальных датчиков и ИМ с контроллерами или ПТК посредством цифровой полевой шины Fieldbus H1. Для соединения контроллеров с приборами разных фирм целесообразно применение типового протокола — HART-протокол, который сообщает оператору о неисправностях полевой сети, приборов и контрол-

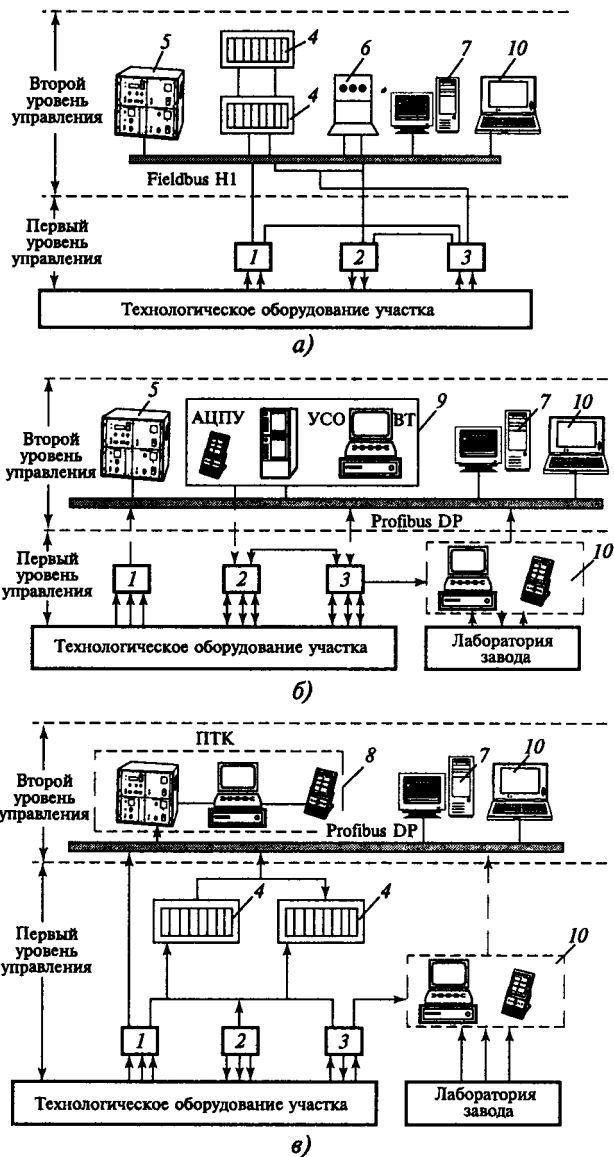


Рис. 15.3. Структурные схемы АСУТП отделения, участка, подразделения пищевого предприятия



леров. Локальные пульта управления технологическим процессом и технологическим оборудованием в большинстве своем расположены по месту объекта управления.

Выбор аппаратуры обычно осуществляется с учетом следующих критериев:

- соответствия технических характеристик требованиям ТЗ;
- наличия необходимой сертификационной документации;
- стоимости технических средств.

На первом уровне АСУТП выполняет следующие функции:

- сбор информации от преобразователей (датчиков) о состоянии объекта и технологического оборудования.

При наличии локальных контроллеров осуществляются:

- первичная обработка информации (фильтрация, линеаризация и масштабирование) входных аналоговых сигналов;
- формирование управляющих воздействий для управления исполнительными устройствами системы;
- передача информации на второй уровень СА объекта.

Технические решения по второму уровню управления могут иметь несколько вариантов (см. рис. 15.3): модуль *a* предусматривает на втором уровне использование локальных и сетевых контроллеров для управления ТП в режиме операторской станции, наличие ЛВС с пультом управления, сервера БД на базе (Pentium 1,11), АРМ оператора-технолога на базе (IBM PC-386, -486).

Этот модуль можно применить для управления технологическими процессами, например на складе бестарного хранения сырья и компонентов; в отделении приготовления жидких ингредиентов, т. е. растворов соли, сахара, жира и другого сырья; на складе готовой продукции и при ее хранении.

АСУТП второго уровня в случае использования модуля *a* выполняет следующие функции:

- прием и обработку информации с помощью локальных и сетевых контроллеров, сервера СУБД и БД, АРМ оператора-технолога;
- формирование управляющих воздействий;
- контроль и управление ТП и ИУ системы;
- передачу информации посредством сетевых структур (Fieldbus H1) на вышестоящий уровень.

Модуль *б* (рис. 15.3) предусматривает на втором уровне управления использование сетевых контроллеров, управляющей ЭВМ на базе (Pentium I, II, III, IV), сервера БД на базе (Pentium I, II), АРМ оператора-технолога или АРМ химика-аналитика на базе (IBM PC-386, -486). Его можно использовать для управления отделениями приготовления полуфабрикатов и их переработки.

Информация о характеристиках сырья, степени готовности полуфабрикатов для дальнейшей переработки поступает на управляющую ЭВМ, сервер БД, а также на АРМ оператора-технолога и АРМ химика-аналитика для контроля и управления ТП.

АСУТП второго уровня этого модуля использования выполняет следующие функции:

- прием и обработку информации с помощью сетевых контроллеров, управляющей ЭВМ, АРМ оператора-технолога и АРМ химика-аналитика;

- формирование управляющих воздействий;
- контроль и управление ТП и ИУ;
- передачу информации посредством сетевых структур (Profibus DP) на вышестоящий уровень управления.

Модуль *в* (рис. 15.3) предусматривает на втором уровне управления использование программно-технического комплекса (ПТК), сервера БД на базе (Pentium I, II), АРМ оператора-технолога и АРМ химика-аналитика на базе (IBM PC-386, -486) для контроля и управления ТП.

Этот модуль АСУТП применяют для управления сложными технологическими процессами производства многих пищевых производств (например, при расстойке и выпечке хлебобулочных изделий, приготовлении полуфабрикатов в виноделии и производстве пива, в кондитерском производстве, производстве сахара и диетических продуктов и других пищевых производств).

АСУТП второго уровня при использовании модуля *в* выполняет следующие функции:

- прием и обработку информации с помощью ПТК, сервера СУБД и БД, АРМ оператора-технолога и АРМ химика-аналитика;
- формирование управляющих воздействий;
- контроль и управление ТП и ИУ;
- передачу информации посредством сетевых структур (Profibus DP) на вышестоящий уровень управления.

Основные функции ПЭВМ, а также персональных компьютеров, совместимых с IBM PC/AT, с цветным телемонитором, клавиатурой и печатающим устройством в режиме АРМ оператора-технолога следующие:

- отображение оперативной информации о технологических параметрах процессов (аналоговых и дискретных), о состоянии технологического оборудования и аварийных ситуациях;

- управление технологическими параметрами процессов с выходом на исполнительные устройства;

- управление работой технологического оборудования — модулей отделения, подразделения (запуск, останов и ввод инициативных сигналов для включения промежуточных состояний и др.);

- координация режимов работы отделения, подразделения со смежными отделениями, подразделениями;
- регистрация информации о функционировании оборудования отделения, подразделения на печатающем устройстве (ведение технологического журнала) и др.

Применяют два режима функционирования АСУТП отделений, подразделений: штатный и вспомогательный.

В *штатном* (автоматизированном) режиме управления предусмотрено автоматическое измерение технологических параметров с отображением на экранах видеотерминалов или дисплеях и других устройств:

- температуры и количества основного и дополнительного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;
- уровней сырья, растворов ингредиентов, полуфабрикатов и др.;
- состава и свойств сырья, растворов, полуфабрикатов и готовой продукции.

При этом осуществляется автоматический контроль состояния технологического оборудования с отображением информации на экранах видеотерминалов или мнемонической схеме; логико-программное управление исполнительными устройствами, электродвигателями и т. п.

Во *вспомогательном* режиме функционирования АСУТП проводят:

- дистанционное (с локальных щитов) управление исполнительными устройствами, электродвигателями оборудования (насосами, мешалками);
- учет количества принимаемого основного и дополнительного сырья;
- контроль технологических параметров по регистрирующим устройствам.

Этот режим используют в период наладки, ремонта оборудования, при проведении профилактических работ или при отказах технических средств управления второго уровня.

### **15.3. АСУТП ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Современные предприятия хлебопекарной и макаронной отраслей — это высокомеханизированные и автоматизированные производства с суточной мощностью 15—100 тонн готовой продукции. Для них характерна выработка нескольких видов продукции из разнообразного по свойствам и составу сырья на комплексно-механизированных и автоматизированных агрегатах и линиях, производимая продукция — штучная. Эти производства комплектуются оборудованием, обеспечивающим реализацию

всех технологических операций, начиная с приготовления жидких ингредиентов, полуфабриката (теста) и заканчивая выходом готовой продукции из печи (сушилки).

На современных хлебозаводе и макаронной фабрике можно выделить три основные стадии производства: подготовительное — мучной склад (БХМ) и отделение для хранения и подготовки дополнительного сырья; основное хлебопекарное (макаронное) производство; склад готовой продукции, хлебохранилище и экспедиция.

Для контроля и управления этими производствами выделяют следующие отделения и подразделения: склад БХМ; приготовления растворов и хранения жидкого сырья; приготовления и разделки теста; выпечки, обеспечения производства (тепло-, водо- и холодоснабжения, электроснабжения, вентиляции, котельная и др.). Каждое отделение, подразделение следует рассматривать как самостоятельные объекты управления.

Конкретные задачи и состав операций по управлению технологическими процессами хлебопекарных и макаронных производств в основном определяются особенностями ОУ, и их можно сформулировать в следующем виде по стадиям производства.

### **Подача муки в производство**

При подаче муки при производстве хлеба и макарон проводят:

— Управление электроприводами и распределительной арматурой при подаче муки в производство.

— Управление работой механизмов склада БХМ и контроль состояния распределительной арматуры.

— Контроль массы (уровня) муки в силосах, в производственных бункерах, сигнализацию достижения предельных (верхних и нижних) значений уровня в емкостях.

— Управление механизмами и устройствами очистки фильтров от отработанного воздуха.

### **Приготовление дополнительного сырья**

Здесь осуществляют:

— Управление электроприводами и распределительной арматурой при приготовлении жидких ингредиентов.

— Контроль уровня в емкостях, сигнализация о достижении предельных (верхних и нижних) значений уровня в них.

— Контроль параметров качества (концентрации, плотности, кислотности и др.) растворов дополнительного сырья.

— Управление механизмами и устройствами подачи дополнительного сырья в производство.

## **Приготовление полуфабрикатов (опары, теста)**

При приготовлении полуфабрикатов предусмотрены:

- Регулирование расходов жидких и сыпучих компонентов (ингредиентов) при их дозировании.
- Регулирование (стабилизация) влажности опары, теста.
- Контроль параметров процесса (температуры, кислотности, реологии и др.) опары и теста.
- Сигнализация достижения предельных значений температуры, кислотности и реологии опары и теста.
- Управление электроприводами и распределительной арматурой при приготовлении опары и теста.
- Управление технологическим оборудованием и механизмами согласно заданной программе и сигнализация рабочего и аварийных режимов работы.

## **Выпечка хлебобулочных изделий**

Здесь происходят:

- Управление запальными устройствами при розжиге печи.
- Стабилизация паровлажностного режима в печи.
- Контроль температуры в 1-й и 3-й зонах печи.
- Регулирование температуры в пекарной камере (2-я зона печи).
- Регулирование тяги в печи.
- Контроль расхода топлива.
- Сигнализация предельных значений параметров, характеризующих состояние печи.
- Управление безопасностью горения.

Для макаронного производства характерны следующие стадии:

- подача муки в производство;
- приготовление дополнительного сырья;
- приготовление полуфабрикатов (аналогично хлебопекарному производству);
- разделка и сушка готового продукта.

При макаронном производстве и в отделении сушки решаются следующие задачи по управлению:

- контроль температуры и влажности воздуха в нижней и верхней зонах предварительной и окончательной сушилок;
- контроль температуры и давления горячей воды по зонам сушилок;
- регулирование температуры и конечной влажности воздуха по зонам сушилок;
- контроль и сигнализация положения регулирующих органов, рабочего и аварийного режимов работы линии.

#### 15.4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДОМ БХМ, ТЕСТОВЕДЕНИЕМ И ВЫПЕЧКОЙ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Реализацию управления складом БХМ можно осуществить с помощью АСУТП (в режиме «советчика») согласно модулю б (см. рис. 15.3), который предусматривает два иерархических уровня.

Первый уровень управления состоит из измерительных преобразователей (датчиков) и сигнализаторов параметров, средств управления исполнительными устройствами и пусковой аппаратурой. Диспетчерские пульта управления технологическим оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется посредством HART-протокола с помощью полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование контроллеров AL-2000S с информационной мощностью (аналоговых входов/выходов 16/256, а дискретных — соответственно 16/256) в количестве трех комплектов с горячим резервированием на базе ЭВМ Pentium I, работающей в режиме операторской станции, наличием ЛВС с диспетчерским пультом управления, сервера БД на базе Pentium I и АРМ оператора-технолога и химика на базе IBM PC-486. Прием и передача информации здесь осуществляются посредством сетевых структур (промышленная сеть Profibus DP). ОС пультов управления осуществляется с помощью ОС Windows NT. Основное ПО пультов технолога, диспетчера и рабочей станции мастера обеспечивается SCADA-программой PARAGON (Nema Soft USA), можно использовать Трейс Моуд. Эта программа реализует основные функции по визуализации измеряемой и контролируемой информации, передаче данных и команд в систему контроля и управления. Она состоит из инструментального (средство разработки конкретного ПО разных пультов) и исполнительного комплексов (реализация разработанного ПО в определенной операционной системе). Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в OPC-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет закупать прикладное ПО для контроллеров, например технологические языки стандарта IEC 1131.3.

Информационная мощность АСУТП склада БХМ (см. схему 15.4) составляет: входов/выходов 23/23, т. е. 46. Из них аналоговых входов/выходов 7/7, дискретных входов/выходов 16/16+14 (сигн.). Контроллеры AL-2000S обеспечивают работу с небольшим резервом.

АСУТП обеспечивает отображение информации, контроль поступления сырья, ввода задания с клавиатуры и управление ТП. Реализация АСУТП склада БХМ осуществляется по варианту б (15.3).

Хранение муки на современном хлебозаводе осуществляется в складах бестарного хранения, а транспортировка из него в производство — при помощи аэрозоль-транспорта.

Для получения информации о массе муки, находящейся в силосах, используют системы тензометрического взвешивания, состоящие из тензопреобразователей, встраиваемых непосредственно в опоры или под опоры силоса муки, АЦП (АДАМ-4016), АЛ-2000S, далее сигнал поступает на ЦАП (АДАМ-4050), управляющие клапаны и пульт ЛВС. Для учета числа партий муки, поступающей в производство, используются электромагнитные счетчики импульсов, которые регистрируют число отвесов, проводимых автоматическими весами при загрузке каждого бункера с выходом на пульт ЛВС для регистрации и АРМ технолога и химика-аналитика.

Предельные уровни муки в силосах контролируются электронными сигнализаторами, АЦП (АДАМ-4012) с выходом на пульт ЛВС и АРМ технолога. Измерение уровня муки в производственных бункерах осуществляется электронными измерителями уровня с выходом на АЦП (АДАМ-4012), пульт ЛВС и АРМ технолога. В последнее время на хлебозаводах стали применять ультразвуковые и электромеханические индикаторы уровня.

Система управления приема муки из автомуковозов в силоса для бестарного хранения и внутрипроизводственной транспортировки муки аэрозоль-транспортом (рис. 15.4) реализует следующие режимы: дистанционное управление приемом муки из автомуковозов в складские силоса и автоматическое управление подачей муки в производство. Управление осуществляется с помощью АЛ-2000S, пульта ЛВС и АРМ технолога и АРМ химика-аналитика.

Она обеспечивает автоматический прием муки и пневмотранспортировку ее в производственные бункера. При этом осуществляют: контроль сырья, поступающего в производство; непрерывное измерение уровня муки и контроль предельных значений, т. е. максимального и минимального уровней в силосах и производственных бункерах; защита от завалов муки (контроль давления воздуха в магистрали перед питателем); управление подачей воздуха на аэрацию силосов и обрушивание сводов в промежуточных бункерах; предупредительная, рабочая и аварийная звуковая и световая сигнализация работы механизмов и устройств.

Мука автомуковозом доставляется на хлебозавод. Прием муки на склад проводят с использованием дистанционного и местного режимов работы. При дистанционном режиме прием муки из автомуковоза осуществляет оператор с пульта управления ЛВС или АРМа. Автомуковоз, снабженный компрессором, подсоединяется

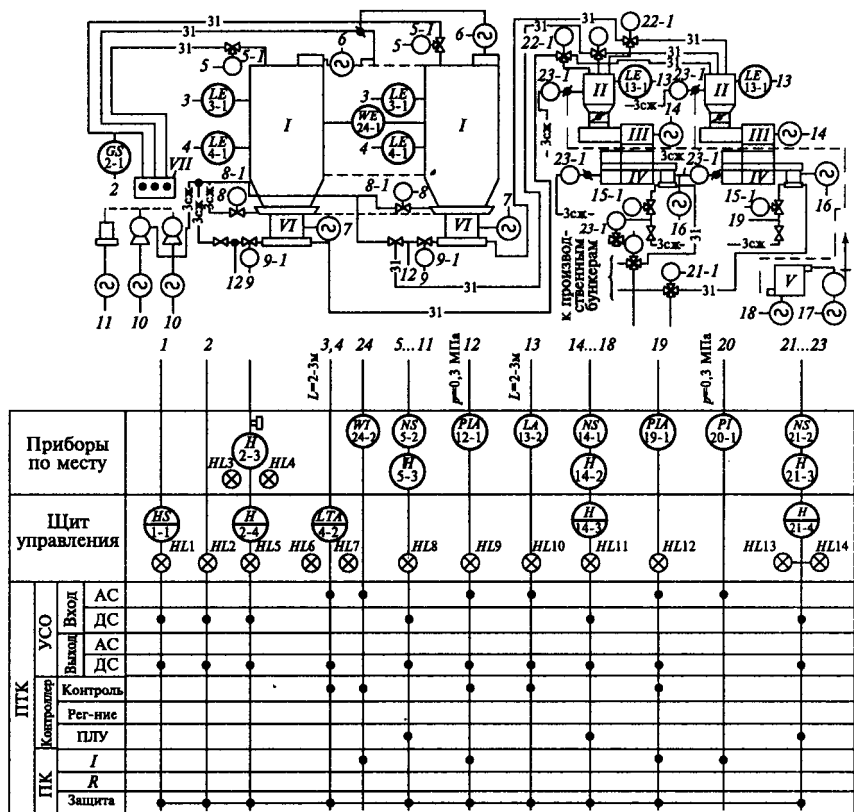


Рис. 15.4. Схема системы управления складом БХМ

при помощи шланга к приемному щитку склада VII. При этом замыкается контакт конечного выключателя (2-1) и загорается табло HL2 «Автомуковоз подсоединен». Шофер автомуковоза сообщает оператору сведения о сорте и качестве поступившей муки, отбирается проба муки для анализа в заводской лаборатории. Оператор на основании полученной информации выбирает для загрузки соответствующий силос, например назначает маршрут поступления муки при помощи вентилях материалопроводов (5-1), устанавливая их в положение «На проход». Сигнализация работы вентилях — загорание ламп HL8. Контроль влажности муки проводит заводская лаборатория (24-2).

Определив по мнемосхеме правильность набранного маршрута, оператор нажимает кнопку (2-4) «Начать разгрузку автомуковоза». Загорается табло HL3 на приемном щитке, и звенит зво-



нок (2-2). По этому сигналу шофер нажимает кнопку (2-3) и включает компрессор автомуковоза на щитке приема. На мнемосхеме загорается табло «Идет разгрузка» HL5. Момент окончания разгрузки автомуковоза определяется по падению давления воздуха в его цистерне, в момент достижения мукой верхнего уровня (3-1) в силосе I на мнемосхеме включается лампа HL7 и загорается табло HL4 «Прекратить разгрузку», выключается звуковая сигнализация и гаснет табло HL3 «Начать разгрузку». Получив команду, шофер перекрывает кран разгрузочного устройства автомуковоза, и материалопровод в течение 10—20 с продувается воздухом работающего компрессора. Останов компрессора осуществляется нажатием кнопки «Стоп» на приемном щите (2-3).

Работа системы при управлении процессом подачи муки в производство может осуществляться в двух режимах: дистанционном и местном. Выбор режима осуществляется оператором с помощью ключа (1-1) на пульте управления (ЛВС или АРМа).

При работе в дистанционном режиме оператор выбирает просеивательную линию, к которой подключает тот или иной производственный бункер. Силоса склада муки I включают на опорожнение. Для этого силоса в нижней части имеют аэрируемые днища, к которым из вентилятора по трубопроводу через клапан (8-1) нагнетается сжатый воздух. Отсюда мука шнеком подается в шлюзовый питатель VI системы ее пневмотранспортирования в производство. Для этого в шлюзовый питатель также поступает сжатый воздух из воздухоудвки 10.

Просеивательная линия запускается следующим образом. Включаются надсепараторный бункер II, магнитный сепаратор, просеиватель III, автоматические весы, питатель IV, рукавный фильтр V, вентилятор и система воздуховода и транспортирования. При срабатывании датчика нижнего уровня муки (13-1) в надсепараторном бункере II, переключатель материалопровода загружаемого бункера (22-1) автоматически устанавливается в положение «Заполнение», а все остальные — «На проход». После открытия электромагнитного вентиля (15-1) подачи сжатого воздуха к питателю просеивателя мука, аэрированная сжатым воздухом, из шлюзового питателя по трубопроводу поступает в воздухоохладители и далее — в просеиватель III. Отработанный воздух через матерчатый фильтр выбрасывается в атмосферу. Если давление сжатого воздуха перед питателем снижается (19-1), сигнализируя об освобождении материалопровода, включается электродвигатель 16 питателя соответствующей маршрута просеивательной линии. Затем включается электропривод просеивателя III и вентиль (23-1) подачи воздуха на обрушение сводов в надсепараторных бункерах II, открываются вентили подачи воздуха

к подсилосным питателям выбранных силосов и осуществляется запуск питателей.

Просеянная мука проходит через автоматические весы, поступает в материалопровод и направляется к расходным производственным бункерам с помощью поворотного клапана (21-1). После этого включается вентилятор 17 и привод встряхивающего фильтра V в линии аэрации.

При заполнении бункера мукой до верхнего уровня электроприводы питателя складского силоса и просеивателя автоматически останавливаются. Через открытые вентили подачи воздуха к питателям осуществляется продувка материалопровода. По окончании продувки включаются встряхивающие фильтры силосов и надсепараторного бункера II. В схеме предусмотрены аварийная остановка механизмов, световая и звуковая сигнализация их состояния, а также при завалах материалопровода.

Реализацию управления отделением приготовления жидких ингредиентов (растворов соли, сахара, жира и др.) осуществляют с помощью АСУТП (в режиме «советчика»), подобно применению системы управления складом БХМ по модулю б (см. рис. 15.3), которая также имеет два иерархических уровня. При этом на втором уровне управления следует использовать контроллер AL-2000S в комплекте с ЭВМ (Pentium II) для отображения информации, ввода задания и осуществления непрерывного контроля качественных показателей приготовления растворов, поступающих в производство.

## **Система управления процессом тестоприготовления**

Тестоприготовление является основным, наиболее продолжительным процессом, во многом предопределяющим качество хлебобулочных изделий. К основным операциям тестоприготовления относят: дозирование сырья и полуфабрикатов, их смешивание и замес, затем следует брожение.

Все тестоприготовительные агрегаты, эксплуатируемые в настоящее время в отрасли, в зависимости от применяемой технологической схемы и конструкции оборудования подразделяются на агрегаты непрерывного и порционного (периодического) действия.

Процесс непрерывного приготовления теста характеризуется жестко фиксированной последовательностью технологических операций, исключающей возможность их повторения в целях исправления дефектов продукта. При непрерывном замесе отсутствует корректировка влажности теста путем регулировки дозатора одного из компонентов, как это происходит в тестомесильных маши-

нах дискретного действия. Специфические особенности непрерывного тестоприготовления значительно влияют на показатели процессов замеса и брожения. Стабилизация качественных показателей теста в этом случае может быть достигнута совершенствованием технических и эксплуатационных характеристик оборудования, позволяющим полностью автоматизировать процесс.

В процессе непрерывного замеса выявляются три источника ошибок, приводящих к отклонению качественных показателей теста от заданных: погрешность работы дозирующего оборудования; колебания качества муки, поступающей в производство; несоблюдение условий проведения замеса. Компоненты, подаваемые в смеситель, дозируются весовыми дозаторами непрерывного действия. Погрешность дозирования приводит к изменению соотношения компонентов, предусмотренного рецептурой, и вызывает изменение качественных показателей теста.

К условиям проведения замеса теста относят следующие факторы: колебания температуры и влажности окружающей среды; концентрация и влажность компонентов теста; частота вращения рабочих органов; продолжительность замеса и затраты механической энергии на обработку теста и ряд других характеристик тестомесильного оборудования.

Входными (управляющими) переменными замеса теста являются величины расходов компонентов (муки, опары, соли, сахара, жира и др.), подаваемых соответствующими дозаторами.

Выходными (управляемыми) переменными могут быть: выход теста, влажность, вязкость, кислотность, температура и другие параметры, предусмотренные технологическими инструкциями.

Спецификой интенсивного замеса теста является зависимость ряда показателей процесса от степени механической обработки теста, которая характеризуется удельным расходом энергии и продолжительностью замеса. Удельный расход энергии может быть определен при интегрировании мощности, потребляемой электродвигателем тестомесильной машины в процессе замеса, отнесенной к массе обрабатываемого теста.

Тестоприготовительный агрегат предназначен для выработки массовых сортов хлеба из пшеничной муки I, II и высшего сортов. Приготовление опары (I фаза) осуществляется в установке V непрерывным способом (рис. 15.5).

Мука (30—35% общего количества) на замес опары подается автоматическим дозатором IV в смеситель непрерывного действия III, где непрерывно смешивается с дрожжевым молоком и водой. Дозирование воды и дрожжевого молока осуществляется двухкомпонентной дрожжевой станцией II. Поддержание заданной температуры воды обеспечивается темперирующим устройством.

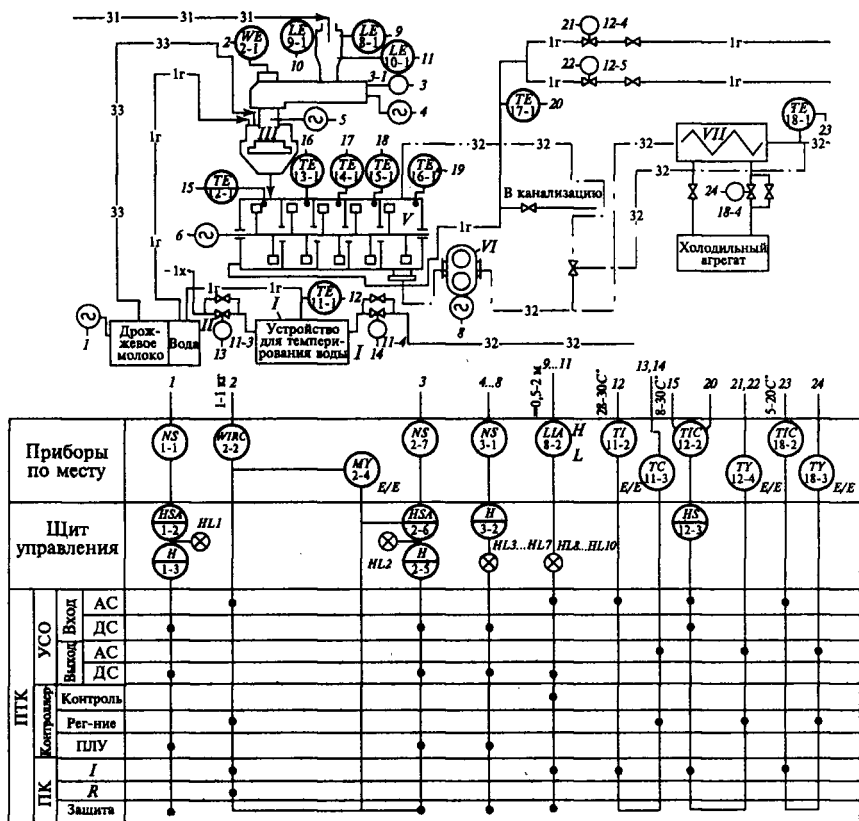


Рис. 15.5. Схема системы управления процессом приготовления опары

вом I путем смешивания холодной и горячей воды (вентили II-3, II-4). Из смесителя смесь самотеком поступает в установку для брожения V, где пройдя через отверстия в поперечных перегородках корытообразной емкости, сбрызгивается в течение 3,5 ч. Готовая опара влажностью 65—68% шестеренчатым насосом VI перекачивается через теплообменный аппарат VII к шестикомпонентной дозировочной станции. В теплообменном аппарате VII жидкую опару охлаждают в целях компенсации нагрева теста, возникающего при его интенсивной механической обработке в ходе замеса.

Замес теста (II фаза) осуществляется в тестомесильной машине I непрерывного действия РЗ-ХТО (рис. 15.6) в отдельных рабочих камерах. В камере предварительного смешивания происходит перемешивание исходных компонентов.

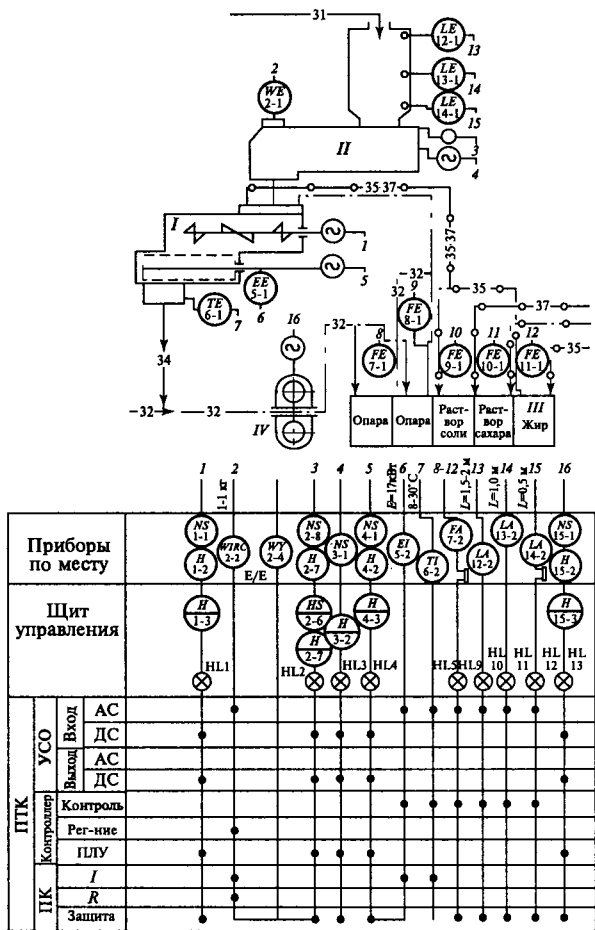


Рис. 15.6. Схема системы управления процессом приготовления теста

Мука в камеру подается автоматическим весовым дозатором непрерывного действия II. Жидкая опара дозируется шестикомпонентной дозировочной станцией III, имеющей две секции для опары. Остальные секции дозировочной станции проводят подачу растворов сахара, соли и растопленного жира. Шестая секция является резервной и может быть использована при приготовлении теста из ржаной или ржано-пшеничной муки. Расход заданного компонента обеспечивается установкой задания каждому каналу станции. Интенсивная механическая обработка теста происходит в рабочей камере пластификатора тестомесильной машины.

**Управление процессом тестоприготовления** может быть реализовано с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю б (см. рис. 15.3), который предусматривает два иерархических уровня.

Первый уровень управления включает измерительные преобразователи (датчики) и сигнализаторы параметров, средства управления исполнительными устройствами и пусковой аппаратурой. Пульты управления ТП и технологическим оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Взаимосвязь аппаратуры обеспечивается с помощью HART-протокола посредством полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование сетевых контроллеров AL-2000S достаточной информационной мощности (аналоговых входов/выходов 16/256, дискретных входов/выходов 16/256) в количестве трех комплектов с горячим резервированием на базе управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующей в режиме рабочей станции. Наличием сервера БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ оператора-технолога и АРМ химика-аналитика на базе IBM PC-486. Прием и передача информации обеспечиваются посредством сетевых структур (например, промышленной сети Profibus DP). ОС пультов функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное ПО пультов управления обеспечивается либо SCADA-программой PARAGON, либо программой Трейс Моуд, реализующими основные функции визуализации измеряемых и контролируемых показателей, передачи данных и команд в систему для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в OPC-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет закупать прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУТП приготовления опары (см. рис. 15.5) составляет входов/выходов 24/24, т. е. 48. Из них аналоговые входы/выходы 12/8, дискретные входы/выходы 12/16, что значительно меньше информационной мощности контроллера AL-2000S, т. е. имеется определенный резерв.

Информационная мощность АСУТП приготовления теста (см. рис. 15.6) составляет входы/выходы 16/16, т. е. 32. Из них аналоговые входы/выходы 11/11, дискретные входы/выходы 5/5, т. е. также имеется определенный резерв.

АСУТП приготовления опары и теста обеспечивают отображение информации, контроль поступления сырья, ввода задания и

команд с клавиатуры пультов, а также управление технологическим процессом.

Для обработки результатов анализа состояния основного и дополнительного сырья, готовности полуфабрикатов и теста, оформления товарно-транспортных накладных с поставщиками используют АРМ лаборатории на базе IBM PC-486, которая по одному из стандартных интерфейсов связана с АРМ технолога, отделениями склада БХМ, приготовления жидких компонентов, полуфабрикатов и теста.

Команды управления и данные вводятся в компьютер оператором-технологом с помощью клавиатуры и видеотерминалов. В АСУТП тестоведения входят модули ввода аналоговых, дискретных и числоимпульсных сигналов, необходимых для формирования информации от измерительных преобразователей технологических параметров и дискретных устройств, а также модулей вывода дискретных и аналоговых сигналов для непосредственного управления ТП исполнительными устройствами (клапанами, заслонками, электродвигателями и др.).

Указанная система управления обеспечивает выполнение следующих функций:

- регулирование расходов компонентов, подаваемых дозаторами 2 и 3 посредством тензометрической системы с выходом на АЦП (ADAM-4012), регулирующий канал AL-2000S, далее на ЦАП (ADAM-4021) и управление задвижкой (З) (см. рис. 15.5);

- регулирование продолжительности брожения опары, реализуемое путем изменения степени заполнения рабочей емкости установки для брожения; регулирование температуры жидкой опары в процессе брожения изменением подачи холодной и горячей воды в рубашку установки (12,13) регулирующим каналом AL-2000S, (II-2) (см. рис. 15.5);

- регулирование интенсивности механической обработки теста при замесе в тестомесильной машине, осуществляемое изменением частоты вращения месильных органов пластификатора 5, логико-программным каналом AL-2000S (5-2) (см. рис. 15.6);

- световая и звуковая сигнализация об отклонениях от заданного режима работы оборудования, фиксируемая на пульте управляющей ЭВМ и АРМ технолога;

- контроль и сигнализация наличия уровня компонентов в расходных емкостях и дозаторах (8-2... 11-2, 12-2... 14-2) (см. рис. 15.5 и 15.6), реализуемые с помощью AL-2000S, АЦП (ADAM-4012) и ЦАП (ADAM-4021);

- контроль потребляемой мощности при замесе и качественных показателей теста, осуществляемые посредством АЦП (ADAM 4012), логико-программным каналом AL-2000S с выхо-

дом на ЦАП (ADAM-4021) и регистрация на АРМ технолога и управляющей ЭВМ (5-2) и (18-2);

- контроль температуры, проводимый с помощью (ADAM-4013), и ее отображение на АРМ технолога и ЭВМ (6-2);

- ручной и автоматический режимы управления механизмами агрегата, которое осуществляется с пульта АРМ технолога и ЭВМ (1-2);

- автоматическая блокировка для отключения механизмов при возникновении аварийных режимов, выполняемая с пульта АРМ технолога и управляющей ЭВМ.

**Безопасный (однофазный) способ приготовления теста** характеризуется внесением всех предусмотренных по рецептуре компонентов одновременно для получения определенной порции теста. В системе управления порционным замесом теста (рис. 15.7) агрегат для порционного приготовления теста по экспрессной технологии с использованием концентрированных молочнокислых заквасок (МКЗ) включает тестомесильную машину периодического действия ТПИ-1 (III) с интенсивной механической обработкой теста, порционный автоматический дозатор муки VII с циферблатным указателем, комплекс дозаторов II объемного действия с отдельным электроприводом на каждый жидкий ингредиент.

Применение высококислотной, самоконсервируемой закваски с интенсивным замесом обеспечивает получение высококачественных хлебобулочных изделий при значительном снижении затрат сухих веществ муки при брожении и сокращении продолжительности тестоведения. Мука из подготовительного отделения при помощи питающих шнеков загружается в силос VI. Одновременно из подготовительного отделения жидкие ингредиенты насосами перекачиваются в сборники для хранения. В тестомесильную машину III подаются мука из силоса VI питающим шнеком и дозатором и вода из сборника при включении клапана 20. Приготовление молочнокислой закваски осуществляется в месильном аппарате. После брожения ее перекачивают в мерный бак I, а из бака шестеренным насосом — в сборник МКЗ. В аппарат для брожения кроме закваски добавляют такое же (50%) количество питательной смеси из муки и воды. Закваска из мерного бака поступает через весовой дозатор II в месильную машину III, куда также дозируют растворы дрожжей, соли, сахара, муки и другие компоненты согласно рецептуре.

Дозирование муки и жидких компонентов осуществляется дозаторами VII и II. В тестомесильной машине III периодического действия ТПИ-1 происходит интенсивная механическая обработка теста. Полученное тесто после замеса поступает в нагрева-



**Рис. 15.7. Схема  
системы управления  
порционным замесом теста**



тель-экструдер, откуда подается посредством питающего шнека IV в емкость для кратковременного брожения.

Система управления процессом порционного приготовления теста может быть реализована с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю б (см. рис. 15.3). Этот модуль построения АСУТП предусматривает два иерархических уровня.

Первый уровень управления включает измерительные преобразователи (датчики) и сигнализаторы параметров, средства управления исполнительными устройствами и пусковую аппаратуру. Пульты управления ТП и технологическим оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Взаимосвязь аппаратуры производится с помощью HART-протокола посредством полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень предусматривает использование сетевых контроллеров ТКМ-51 с информационной мощностью (аналоговых входов/выходов 64/32, дискретных входов/выходов 192/160) в количестве трех комплектов с горячим резервированием на базе управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующей в режиме рабочей станции, наличием сервера БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ оператора-технолога и АРМ химика-аналитика на базе IBM PC-486. Прием и передача информации осуществляются посредством сетевых структур (например, промышленной сети Profibus DP). ОС пультов функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное ПО пультов управления обеспечивается SCADA-программой PARAGON, (возможно использование Трейс Моуд), реализующей основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления, и состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в OPC-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет закупать прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУТП приготовления теста (см. схему 15.7) составляет входов/выходов 26/26, т. е. 52. Из них аналоговых входов/выходов 7/7, дискретных 19/19+12(сигн.), т. е. обеспечивается определенный резерв.

АСУТП приготовления теста обеспечивает: отображение информации; контроль поступления сырья; ввода задания и команд с клавиатуры пультов, а также управление технологическим процессом.

Система управления (см. рис. 15.7) с помощью управляющей ЭВМ (Pentium I) в режиме операторской станции, сервера БД,

сетевых контроллеров ТКМ-51, АРМ технолога и химика-аналитика обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление подачей муки и жидких компонентов с помощью тензометрических систем с выходом на АЦП (АДАМ-4016) и на логико-программный канал ТКМ-51 затем на ЦАП (АДАМ-4021) для регистрации на пультах АРМ технолога и ЭВМ с помощью вентилях (1-1, 7-1, 9-1, 13-1);

- управление последовательностью включения агрегатов и механизмов (с пультов ЭВМ и АРМ технолога);

- контроль наличия компонентов в сборниках (с помощью электронных сигнализаторов-уровнемеров и АЦП (АДАМ-4012) с выходом на пульта ЭВМ и АРМ технолога;

- контроль качественных показателей теста по величине энергозатрат с помощью логико-программного канала ТКМ-51 и выходом на пульта ЭВМ и АРМ технолога (18-1, 19-1);

- контроль температуры жидкого жира, воды и МКЗ при помощи модуля (АДАМ-4013) с выходом на пульта АРМ технолога и ЭВМ для регистрации;

- автоматическое дозирование компонентов теста в соответствии с заданной рецептурой при помощи тензометрической системы (модуль АДАМ-4016) и логико-программного канала ТКМ-51 (8-4) с выходом на ЦАП (АДАМ-4021) и на клапаны (1-7) и пульта ЭВМ и АРМ технолога;

- автоматическое регулирование интенсивности механической обработки теста с помощью логико-программного канала ТКМ-51 (18-3) с выходом на пульта ЭВМ и АРМ технолога для регистрации;

- автоматический контроль температуры жидких компонентов с помощью модуля (АДАМ-4013) и логико-программного канала ТКМ-51 с выходом на регистрацию на пультах ЭВМ и АРМ технолога.

### **Система управления процессом выпечки хлебобулочных изделий**

Выпечка хлебобулочных изделий должна протекать под воздействием тепла и влаги и является завершающим этапом производственного цикла приготовления этих изделий. Внутри тестовой заготовки, а также на ее поверхности протекает сложный комплекс физических, коллоидных, микробиологических и биохимических процессов, в результате которых она превращается в готовое хлебобулочное изделие.

Процессы, протекающие в тестовой заготовке в период выпечки, носят, как правило, нестационарный характер. Объект

управления — процесс выпечки — это объект с распределенными параметрами. Скорость протекания процессов в тестовой заготовке зависит от скорости изменения температуры в соответствующем слое. Тестовая заготовка в пекарной камере проходит различные этапы гидротермической обработки, включающие операции увлажнения, теплообмена излучением, конвекцией и теплопроводностью.

Основными качественными показателями хлебобулочных изделий, определяемыми кинетикой тепло- и массообмена в пекарной камере, являются объем и форма изделия, толщина, окраска и глянецовитость корки, аромат и вкус. Основными факторами, влияющими на объем и форму хлебобулочных изделий, являются параметры процесса гидротермической обработки этих изделий в зоне увлажнения: температура и влажность среды в пекарной камере; структурно-механические свойства теста; продолжительность выпечки.

Выпечка хлебобулочных изделий осуществляется на современных печах, представляющих собой комплекс теплотехнических, транспортно-механических устройств, снабженных средствами управления основными параметрами процесса. В хлебопекарной промышленности в основном применяются хлебопекарные печи, работающие на газовом и жидком топливе, с рециркуляцией продуктов сгорания, а также на электрообогреве.

Систему управления технологическим процессом выпечки хлебобулочных изделий можно реализовать с помощью АСУТП (в режиме НЦУ) по модулю *в* (см. рис. 15.3), которая предусматривает два иерархических уровня управления.

Первый уровень управления состоит из измерительных преобразователей (датчиков) и сигнализаторов параметров, средств управления ИУ и пусковой аппаратуры. Пульты управления ТП и технологическим оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Они изготовлены в виде прочных, предназначенных для наружной установки, металлических корпусов (массой 15 кг) со встроенными в них ПЛК AL-2000S, модемов, блоков бесперебойного питания, аккумуляторов и других необходимых устройств. Применение радиомодемов значительно снижает затраты на монтажные работы при построении системы и ее обслуживании в дальнейшем. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется с помощью HART-протокола посредством полевой сети Profibus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование сетевых контроллеров AL-2000S с информационной мощностью (аналоговые входы/выходы 16/256, дискретные входы/выходы 16/256) в количестве трех комплектов с горячим резервированием

на базе ПТК с управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующей в режиме операторской рабочей станции. Наличием сервера ОРС и БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ оператора-технолога и АРМ химика-аналитика на базе ЭВМ IBM PC-486. Прием и передача информации осуществляется посредством промышленной сети Profibus DP, возможно использование Modbus. ОС функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное ПО системы управления обеспечивается SCADA-программой возможно применение Трейс Моуд, реализующей основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в ОРС-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без использования специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет применять прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУТП выпечки хлебобулочных изделий (рис. 15.8.) составляет входы/выходы 15/15, т. е. 30. Из них аналоговые входы/выходы 8/8, дискретные входы/выходы 7/7 × 9 (сигн.), т. е. имеется достаточный резерв.

АСУТП выпечки хлебобулочных изделий обеспечивает отображение информации о состоянии ТП, контроль поступления заготовок, ввод задания и команд с клавиатур ПТК и АРМ оператора-технолога, а также управления ТП.

Система управления печным агрегатом РЗ-ХПА (рис.15.8) реализует следующие функции: измерение температуры в основных зонах печи (в зоне увлажнения 1-2), в первой (2-2) и второй (3-2) зонах пекарной камеры при помощи комплекта, включающего термоэлектрические преобразователи (типа J и АЦП ADAM-5017) (1-1, 2-1, 3-1) или модуль ADAM-5018 с выходом на ПТК; поддержание закона изменения температуры среды в пекарной камере с помощью регулирующего канала контроллера (5-2) и (6-2); автоматическую блокировку превышения температуры смеси топочных рециркуляционных газов; контроль наличия пламени датчиком (8-1) совместно с автоматом контроля пламени (8-3); контроль и блокировку давления воздуха в вентиляторе горелки; автоматический розжиг печи (12-2); контроль разряжения в топке устройством (7-2) и логико-программным каналом контроллера с выходом на ЦАП (ADAM-5024) и клапаны; регулирование давления газа в газопроводе с помощью логико-программного канала AL-2000S (15-1); автоматическое управление прерывистым движением конвейера печи при помощи

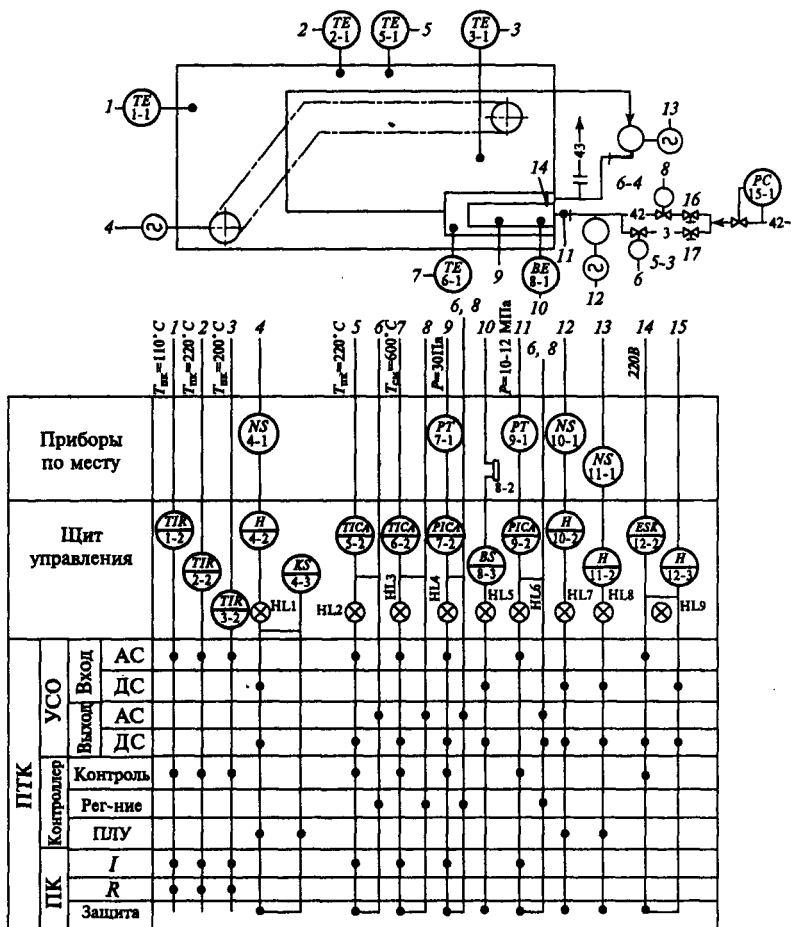


Рис. 15.8. Схема системы управления печным агрегатом P3-XPA

магнитного пускателя (4-1) привода конвейера и реле времени (4-3); ручной пуск и аварийный останов конвейера при помощи операторской станции; обеспечение безопасности; световую сигнализацию режима работы вентилятора HL7, рециркуляционного дымососа (HL8), конвейера (HL1); световую и звуковую сигнализацию аварийного режима (8-2) HL5 на пульте операторской станции технолога и пульта управляющей ЭВМ (Pentium I).

Последовательность работы системы автоматического управления тепловым режимом пекарной камеры следующая: если температура среды в пекарной камере (термоэлектрический преобразователь 5-1) меньше заданной, вентили клапанов (5-3) и (6-4) от-

крыты, в горелку поступает больше газа, что приводит к включению режима «Большой факел». Одновременно операторская станция управления обеспечивает при помощи исполнительного механизма увеличение подачи воздуха в топку. При достижении в пекарной камере заданной температуры или превышении ее с пульта ПТК подается команда на закрытие клапана (5-3) и прекращение подачи воздуха в топку. При этом открыт только клапан (6-4), расход газа в топке снижается, что соответствует режиму «Малый факел». Предварительная настройка вентилей 16 и 17 обеспечивает расчетный расход газа через клапаны (5-3) и (6-4). Работа в режиме «Малый факел» приводит к постепенному снижению температуры среды в пекарной камере. Когда температура среды становится меньше заданной, срабатывание регулирующей системы приводит к открытию клапана (5-3) и горелка вновь перейдет в режим работы «Большой факел». Применение регулирующего канала контроллера AL-2000S с ЦАП (ADAM-5024) и клапанов (5-3) и (6-4) обеспечивает ПИД-закон изменения температуры в печи. Открытие клапанов (5-3) и (6-4) сопровождается включением сигнальных ламп HL2 и HL3 на пульте ПТК (Pentium I).

Для обеспечения необходимой надежности и безопасности работы печи предусмотрены следующие виды блокировки и защиты: для защиты каналов печи от быстрого прогорания (температура более 600°C) — автоматическая блокировка превышения температуры смеси топочных и рециркуляционных газов; при увеличении температуры смеси газов более 600° С регулирующий контроллер (6-2) отключает горелку путем закрытия клапанов (5-3) и (6-4); автоматическое выключение горелки при повышении температуры в камере смешения более 600° С, при уменьшении разрежения в камере ниже 10 кПа, при отрыве пламени или его проскоке в горелку, при отсутствии давления в вентиляторе горелки, которые сопровождаются соответствующей сигнализацией на пульт ПТК АРМ технолога.

Система автоматики безопасности предусматривает автоматический розжиг печи в следующей последовательности: продувка газопроводов в печи перед пуском в течение 1—2 мин; включение подачи топлива или электроэнергии (для печей с электрообогревом); воспламенение топлива с помощью электродов зажигания 14, включение высокого напряжения (10—15 кВ), которое подается от трансформатора зажигания (12-2) (для печей на твердом и жидком топливе); прогрев топки в режиме «Малый факел» в течение 1—2 мин или включение щадящего прогрева печи с электрообогревом; отключение горелки при отсутствии пламени в течение 15 с после подачи топлива.



Средства контроля и управления движением конвейера, измерения температуры по зонам пекарной камеры расположены на пульте ПТК операторской станции, которая размещена у посадочного окна печи и имеет канал связи с АРМ технолога. На пульте управления, который смонтирован со стороны топки и имеет связь с операторской станцией и с АРМ технолога, также расположены средства управления и безопасности.

### **15.5. АСУТП МАКАРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Задачи, возникающие при управлении макаронным производством, во многом схожи с задачами, стоящими перед хлебопечением. К ним относятся управление следующими отделениями этого производства: бестарного хранения муки; замеса, уплотнения и формования теста; операций разделки, резки, укладки сырых макарон; сушки макарон; конечных операций приготовления макарон (накопления, стабилизации, фасовки, транспортирования и складирования).

Процесс сушки макарон является самым длительным и наиболее ответственным. Сушка макарон сопровождается сложным комплексом явлений тепло- и массообмена, определяющим во многом качество продукции. В процессе сушки по мере удаления влаги изменяются структурно-механические свойства макарон. Они приобретают свойства упругого и хрупкого тела, теряя свойства пластичности.

Качество работы системы управления здесь определяет режим сушки. В целях сокращения продолжительности сушки макарон и обеспечения в то же время их прочности, процесс разбивается на два периода: предварительной и окончательной сушки. Предварительная сушка характеризуется интенсивным удалением влаги из сырых макарон при сохранении пластичности (до влажности около 20 %). Окончательная сушка представляет собой период медленного удаления влаги из макарон, приобретающих при этом свойства упругого материала.

Автоматические поточные линии для производства макарон состоят из ряда отдельных технологических агрегатов, транспортных механизмов и обеспечивают высокую степень механизации и автоматизации всех стадий производства готовой продукции высокого качества. Сушка макарон часто осуществляется в подвешенном состоянии на металлических стержнях — бастунах. Система управления периодом предварительной сушки, осуществляемой в составе автоматической поточной линии Бб-ЛМВ, приведена на рис. 15.9.

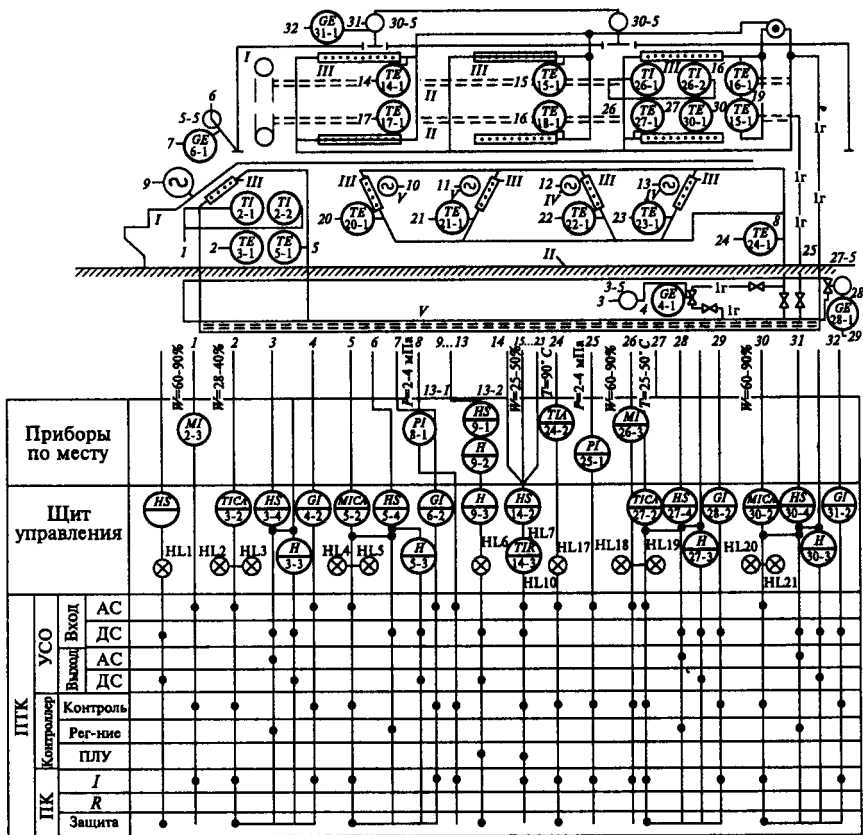


Рис. 15.9. Схема системы управления периодом сушки макарон

Предварительная сушка конструктивно представляет собой герметизированный и теплоизолированный тоннель I, разделенный перекрытием на два этажа, образующих две зоны сушки. В первой (нижней) зоне находится один гребенчатый транспортер II во второй (верхней) — два транспортера. В нижней части сушилки размещен транспортер V для возврата порожних бастунов. Для подогрева сушильного воздуха используются водяные калориферы III из ребристых труб, трубопроводы, насосы и регулировочная арматура.

Горячая вода (80—90°C) подается в систему подогрева первой зоны непосредственно от централизованной сети теплоснабжения. В систему подогрева второй зоны помимо горячей воды частично подается отработанная теплая вода из первой зоны при помощи насоса.

Вентилирование в первой зоне осуществляется при помощи вентиляторов IV, которые расположены попарно. Два вентилятора при входе макарон в сушилку засасывают воздух из помещения, подают теплый воздух в нижнюю зону.

Четыре пары вентиляторов обеспечивают рециркуляцию сушильного воздуха с продувкой его через калориферы. Часть влажного воздуха выходит из зоны в помещение. Система вентиляции зон сушилки обеспечивает частичную рециркуляцию сушильного воздуха; влажный воздух частично выбрасывается в помещение и частично смешивается с более сухим, поступающим из помещения.

Заданные параметры сушки, т. е. температура и относительная влажность сушильного воздуха, поддерживаются автоматически. Система управления обеспечивает контроль температуры и влажности воздуха в нижней и верхней зонах предварительной сушилки (2-3, 3-2, 5-2, 26-8, 30-2); контроль давления и температуры горячей воды по зонам сушилки (8-1, 24-2, 25-1); регулирование температуры и относительной влажности воздуха по зонам предварительной сушки (3-2, 5-2, 27-2, 30-2); контроль положения регулирующих органов (4-2, 6-2, 28-2, 31-2); световую сигнализацию рабочего и аварийного режимов работы сушилки.

Реализацию управления сушилкой можно осуществить с помощью АСУТП в режиме НЦУ по модулю в согласно рис. 15.3, которая предусматривает два иерархических уровня управления.

Первый уровень управления состоит из измерительных преобразователей (датчиков) и сигнализаторов параметров, средств управления ИУ и пусковой аппаратуры. Пульты управления ТП и технологическим оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Они состоят из прочных, предназначенных для наружной установки, металлических корпусов (массой 15 кг) со встроенными в них ПЛК AL-2000S, модемов, блоков бесперебойного питания, аккумуляторов и других необходимых устройств. Применение радиомодемов значительно снижает затраты на монтажные работы при построении системы и ее обслуживание в дальнейшем. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется с помощью HART-протокола посредством полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование сетевых контроллеров AL-2000S с достаточной информационной мощностью (аналоговые входы/выходы 16/256, дискретные входы/выходы 16/256) в количестве трех комплектов с горячим резервированием на базе ПТК с управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующих в режиме операторской рабочей станции, наличие сервера ОПС и БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ опера-

тора-технолога и АРМ химика-аналитика на базе ЭВМ IBM PC-486. Прием и передача информации осуществляются посредством промышленной сети Profibus DP, возможно использование сети Modbus. ОС функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное ПО системы управления обеспечивается SCADA-программой, возможно применение Трейс Моуд, реализующей основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в OPC-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без использования специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет применять прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта ШС 1131.3).

Информационная мощность АСУТП сушки макарон на линии Б6-ЛМВ (см. рис. 15.9) составляет: входы/выходы 16/16, т. е. 32. Из них аналоговые входы/выходы 16/16, дискретные входы/выходы 16/16+21 (сигн.), т. е. имеется достаточный резерв.

АСУТП сушки макарон на линии Б6-ЛМВ обеспечивает отображение информации о состоянии ТП, контроль поступления заготовок, ввод задания и команд с клавиатур ПТК и АРМ оператора-технолога, а также управления ТП.

Работа АСР сушилки базируется на использовании психометрического метода измерения и регулирования параметров сушильного воздуха, что осуществляется с помощью регулирующего канала AL-2000S (3-2, 5-2, 27-2, 30-2) с выходом на регистрацию на ПТК и АРМ технолога. Датчики температуры и влажности воздуха установлены в обеих зонах предварительной сушки. В качестве датчиков температуры используются термопреобразователи сопротивления (ТСМ и ADAM-5017H) или модули ADAM-5013 (3-1, 5-1, 27-1, 30-1). Один из каждой пары термометров является «мокрым», а другой — «сухим».

Автоматическая система регулирования обеспечивает режим сушки поддержанием требуемой разницы между показаниями «сухого» и «мокрого» термометров. В системе регулирования температуры воздуха регулирующим параметром является расход горячей воды в калорифере, дозирование которой происходит с помощью клапанов (3-5, 27-5), посредством ЦАП (модуль ADAM-5024) в верхней и нижней зонах сушилки. Регулирующим воздействием при регулировании влажности воздуха является расход сушильного воздуха в смеси с сухим из помещения в сис-

теме вентиляции (5-4, 30-4) посредством ЦАП (модуль ADAM-5024) с выходом на исполнительный механизм (5-5, 30-5).

Контроль температуры горячей воды на выходе из калориферов предварительной сушки осуществляется термopреобразователем сопротивления TCM и АЦП (ADAM-5017) или модулями ADAM-5013 (14-1 + 23-1) в комплекте с логико-программным каналом AL-2000S сушильного воздуха и контролируется психометрами (2-3, 26-3).

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. АСУТП отраслей пищевой промышленности.
2. Структура управления пищевым предприятием.
3. Структура организации АСУТП отделения, участка, подразделения пищевого предприятия.
4. Классификация структур АСУТП пищевого предприятия.
5. Состав и структура АСУТП хлебопекарного и макаронного производств.
6. Структура микропроцессорных средств управления этими производствами.
7. Система управления складом БХМ и подачей муки в производство.
8. Система управления процессом тестоприготовления.
9. Система управления процессом выпечки хлебобулочных изделий.
10. Система управления макаронным производством.
11. Какие функции реализуют АСУТП отраслей пищевой промышленности?
12. Поясните структуру управления хлебозаводом средней и большой мощности.
13. В чем различие различных структурных схем АСУТП отделения, участка, подразделения пищевого предприятия?
14. Чем определяется выбор структуры АСУТП подразделений пищевого предприятия?
15. Как происходит управление подачей муки в производство?
16. Как происходит управление приготовлением дополнительного сырья?
17. Что предусматривает управление приготовлением полуфабрикатов (опары, теста)?
18. Как происходит управление выпечкой хлебобулочных изделий?
19. Как осуществляют управление безопасностью горения печи?
20. Какие задачи по управлению решаются при макаронном производстве?
21. Каковы особенности АСУТП макаронного производства?

## Глава 16. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Биотехнологические процессы, в которых целевой продукт образуется в результате жизнедеятельности микроорганизмов, давно применяются в пищевой промышленности, причем область их применения постоянно расширяется. К числу наиболее крупных относятся производства хлебопекарных дрожжей, спирта, вина, пива, уксусной и лимонных кислот и других продуктов. При всем своем разнообразии они имеют много общего в структуре (последовательности операций), аппаратурном оформлении, целях и задачах управления.

### 16.1. АСУТП ПРОИЗВОДСТВА СПИРТА

Типичным примером применения биотехнологического процесса является производство спирта, которое состоит из трех основных стадий: приготовления питательной среды (сусла) из крахмального сырья, например зерна; дрожжегенерации и сбраживания сусла дрожжами; выделения спирта из культуральной жидкости (бражки) путем брагоректификации.

Эффективность функционирования АСУ производства спирта определяется выбором структур АСУТП отделений и подразделений, их функциональными возможностями, комплексом аппаратных и программных средств микропроцессорной техники с учетом мощности предприятия и уровня автоматизации. Структурную организацию АСУ спиртового завода следует рассматривать как по горизонтали (где выделяются отделения и подразделения производства спирта, функционирующие в режиме задач управления законченным технологическим процессом спиртового производства), так и по вертикали (где выделяются уровни управления технологическим процессом этого производства). На рис. 16.1 приведена структура АСУ спиртового завода (АСУП).

Технологические отделения и подразделения в основном состоят из совокупности взаимосвязанных технологических аппаратов, агрегатов и установок, на которых протекает технологический процесс производства спирта и подготовка энергоносителей, теплоносителей и других материалов (на схеме обозначены сплошными линиями).

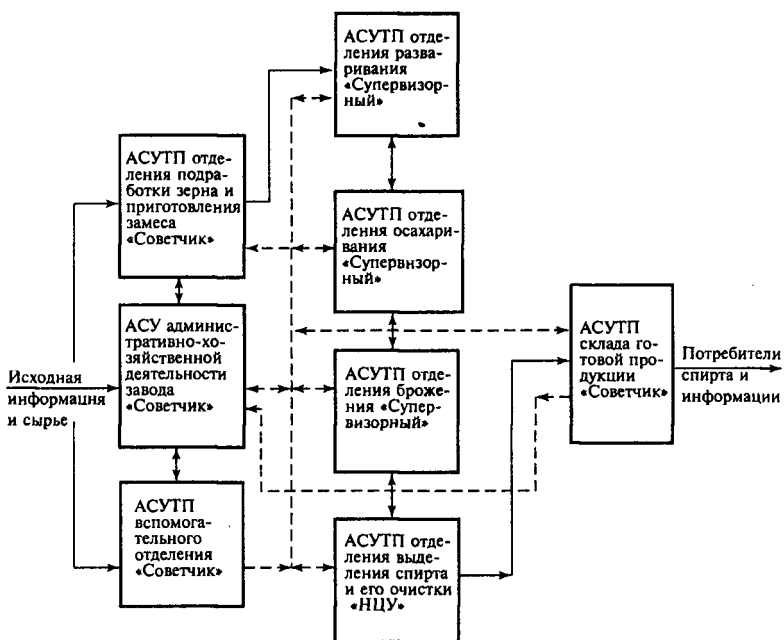


Рис. 16.1. Структура АСУ спиртового завода

Автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями осуществляется сменными технологами с помощью ПТК, SCADA-программы, АРМ АСУТП и АСУП и под руководством главного технолога и руководства спиртового завода (на схеме обозначены пунктирными линиями).

В первую очередь оснащаются микропроцессорными аппаратами и программными средствами наиболее подготовленные отделения и подразделения согласно изученности и достаточности информации об этих объектах управления, а затем, развивая АСУ спиртового завода, подключаются новые.

Структура управления и оснащения техническими микропроцессорными средствами АСУ спиртового завода (АСУП) приведена на рис. 16.2; по вертикали ее целесообразно представить в виде трех иерархических уровней управления.

Первый уровень управления состоит из локальных автоматизированных систем, обеспечивающих формирование информации о ходе технологического процесса производства спирта, которые смонтированы непосредственно на (или рядом) аппаратах, агрегатах и установках или на линии обработки и передачи информации на второй уровень.

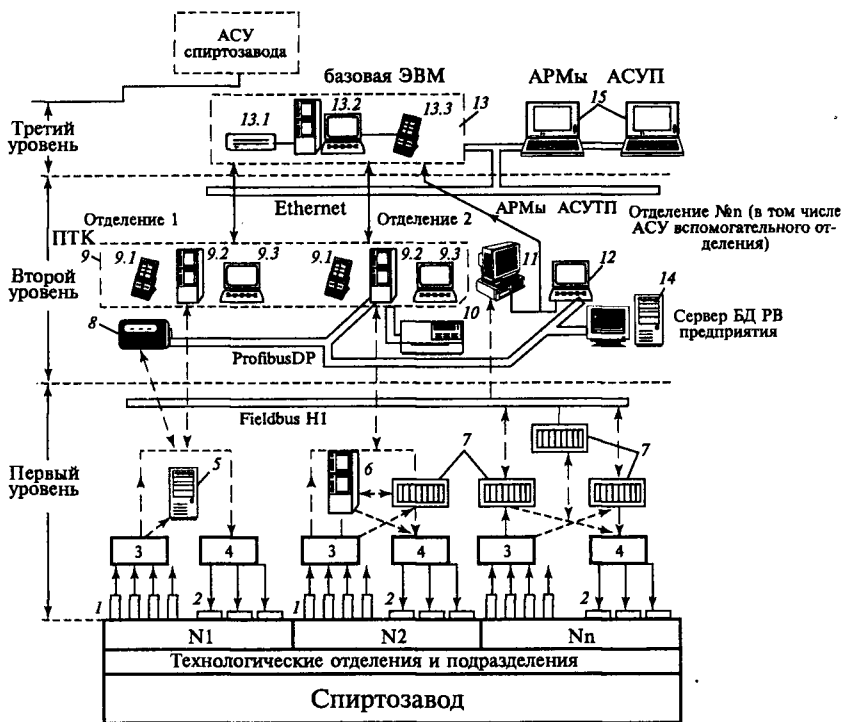


Рис 16.2. Структура управления спиртозаводом:

1 — преобразователи (датчики) технологических параметров, установленные на технологическом оборудовании; 2 — исполнительные устройства и электродвигатели технологического оборудования; 3 — нормирующие преобразователи, сигнализаторы параметров, блоки питания, смонтированные на щитах; 4 — пусковая аппаратура электродвигателей и исполнительных устройств; 5 — пульт оператора по месту; 6 — локальная вычислительная сеть; 7 — локальные микропроцессорные контроллеры; 8 — сетевые микропроцессорные контроллеры; 9 — программно-технический комплекс (ПТК): 9.1 — печатающее устройство, 9.2 — микроЭВМ и УСО, 9.3 — видеотерминал; 10 — цветной графический монитор; 11 — АРМы оператора-технолога АСУП; 12 — персональная ЭВМ; 13 — базовая ЭВМ третьего уровня; 13.1 — внешнее запоминающее устройство (винчестер), 13.2 — ЭВМ и видеотерминал, 13.3 — печатающее устройство; 14 — сервер базы данных предприятия в режиме РВ; 15 — АРМы АСУП.

Каждый вид оборудования в основном оснащается локальной системой управления. При этом обработка информации, ее представление оператору-технологу, формирование команд управления осуществляются техническими микропроцессорными средствами. Целесообразным является использование современных преобразователей (датчиков) технологических параметров, локальных микропроцессорных устройств для обработки информации, а также исполнительных устройств. Обработанная информация о состоянии объекта управления передается на второй уровень для пред-



ставления ее оператору и формирования команд управления технологическим процессом.

На первом уровне реализуются следующие функции АСУТП:

- измерение технологических параметров, обработка их и передача сигналов информации на второй уровень;
- регулирование заданных значений технологических параметров;
- формирование управляющих воздействий на исполнительные устройства (клапаны, заслонки, мешалки, насосы и др.);
- автоматическое управление по заданным алгоритмам отдельными технологическими аппаратами, агрегатами, установками;
- сбор и передача на второй уровень сигналов о состоянии исполнительных устройств, срабатывании систем защиты и блокировок.

Согласно реализуемым на первом уровне функциям АСУП выбирают технические средства управления:

- измерительные преобразователи (датчики) технологических параметров, нормирующие преобразователи сигналов, сигнализаторы технологических параметров и регуляторы (контроллеры);
- исполнительные устройства;
- электропусковую аппаратуру;
- локальные микропроцессорные устройства (контроллеры для логико-программного управления и регулирования технологическими процессами), УСО, ПК.

Второй уровень управления образован системами, функцией которых является автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями в соответствии с информацией, полученной от систем первого уровня управления. На втором уровне проводят координацию управления технологическим оборудованием отделений, подразделений, а также осуществляют взаимосвязь между ними.

На втором уровне управления реализуются следующие функции АСУТП:

- отображение оперативной информации о значениях технологических параметров и состоянии технологического оборудования, а также о значениях, вводимых оператором команд и данных;
- формирование и передача управляющих воздействий на исполнительные устройства;
- автоматическое управление по заданной программе и командам оператора функционированием технологического оборудования, находящегося в технологическом отделении и подразделении;
- координирование режима работы отделений и подразделений;

— регистрация информации о работе технологического отделения и подразделения на печатающем устройстве, а также ее архивирование и хранение;

— сбор, обработка и передача информации о работе технологических отделений и подразделений на третий уровень управления.

Действие систем управления второго уровня в основном базируется на применении программно-технических комплексов (ПТК), которые состоят из базовой ЭВМ, устройств связи с объектом (УСО), видеотерминалов, печатающих устройств, локальных и сетевых микропроцессорных устройств (контроллеры и др.), а также ПЭВМ (т. е. автоматизированные рабочие места (АРМ технологов). Вся информация, необходимая для принятия решений по управлению технологическим процессом, отображается на цветных мониторах и видеотерминальных устройствах.

Ввод данных, команд и регламентов (инструкций) осуществляется оператором-технологом с помощью клавиатуры. Информация о технологических параметрах и состоянии оборудования, команды управления передаются посредством интерфейсов через сетевые микропроцессорные контроллеры на ПТК и АРМ оператора-технолога и химика-аналитика.

При использовании распределительных систем микропроцессорных контроллеров их и ПЭВМ, которые формируют АРМ технолога и химика-аналитика, относят ко второму уровню управления.

Третий уровень формируется системой централизованного управления, которая предназначена для оперативной диспетчеризации и координации управления технологическими отделениями и подразделениями завода и вспомогательного подразделения согласно задачам АСУ.

На третьем уровне реализуются следующие функции АСУТП:

- диспетчеризация режимов работы технологических отделений и подразделений, а также координация их взаимодействий со вспомогательным подразделением;
- ведение баз данных и регистрация текущей и интегрированной информации о функционировании технологических отделений и подразделений в форме отчетной документации;
- прием и обработка информации от АСУ спиртового завода и вспомогательного подразделения и представление ее руководству предприятия.

Для систем управления третьего уровня характерно применение базовой ЭВМ, предназначенных для операторских станций ПЭВМ и АРМ, а также обеспечение поддержки и манипулирования достаточно мощными базами данных.

При управлении спиртовым заводом важен обмен информацией как между технологическими отделениями и подразделе-

ниями, по горизонтали, так и между уровнями управления отделений и подразделениями, по вертикали. Для обеспечения поддобного обмена эффективно применение протоколов и интерфейсов компонентов АСУП- локальной сети, а также стандартных интерфейсов связи между ПМК, ПТК и ПЭВМ.

Реализацию задач управления можно осуществить с помощью систем управления, созданных ЗАО «Текон» (г. Москва), фирмой «Прософт» (Россия) и другими предприятиями.

### **16.1.1. ОТДЕЛЕНИЕ ПОДРАБОТКИ ЗЕРНА И ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗАМЕСА**

Сусло готовится на головных участках производства, где зерно подвергается очистке и дроблению, смешивается с водой, образуя замес, который подвергается тепловой обработке (развариванию) и осахариванию под действием ферментов солода или ферментных препаратов, получаемых путем микробиологического синтеза.

В системе управления отделением подработки зерна и приготовления замеса (рис. 16.3) зерно со склада системой транспортеров I и норией II подается в приемный бункер III, из которого поступает на очистку в сепаратор IV и далее через промежуточный бункер V на порционные весы VI, которые обеспечивают контроль общего количества зерна, поступившего в производство. Затем поток зерна направляется транспортером VII и норией VIII в бункер-накопитель IX, из которого попадает в измельчающее устройство X. Размолотое зерно поступает в смесительную камеру смесителя-предразварника XI, где перемешивается с водой в однородную массу — замес. Из смесительной камеры замес подается в камеру предразварника, где нагревается «острым» вторичным паром.

Система управления отделением переработки зерна и приготовления замеса может быть реализована при помощи АСУТП, действующей в режиме «Советчик» по модулю *в* (см. рис. 15.3), который предусматривает использование локальных и сетевых контроллеров и ЭВМ и имеет два иерархических уровня.

На первом уровне монтируются измерительные преобразователи (датчики), сигнализаторы параметров, локальные контроллеры (ТКМ21), средства управления исполнительными устройствами и пусковой аппаратуры. Пульты управления ТП и оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Они состоят из металлических корпусов (массой 15 кг) со встроенными в них ТКМ21 в количестве трех комплектов (с «горячим» резервированием), модемов, блоков бесперебойного пита-

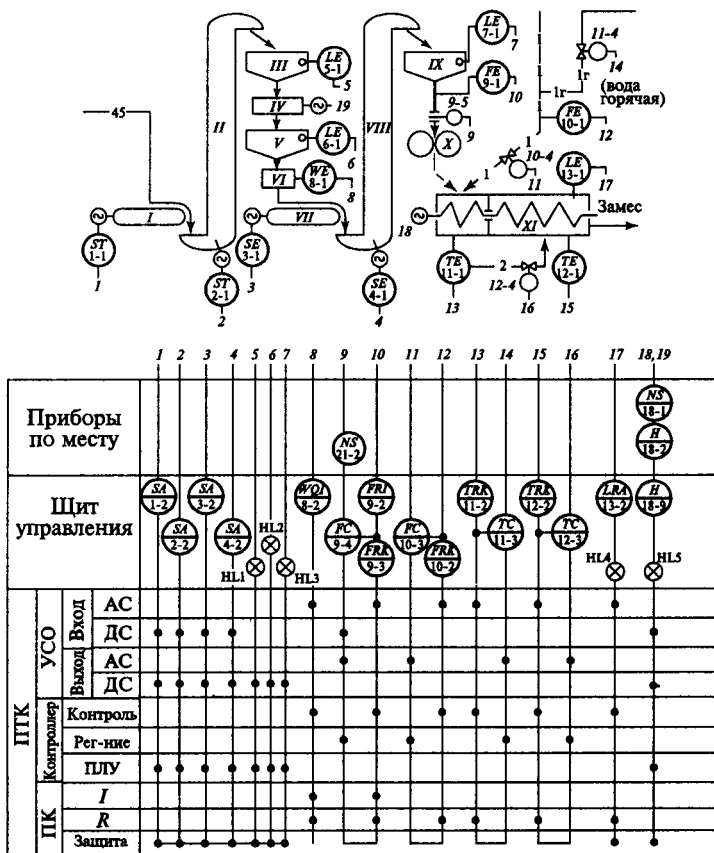


Рис. 16.3. Схема системы управления отделением подработки зерна и приготовления замеса

ния, аккумуляторов и других необходимых устройств. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется с помощью HART-протокола посредством полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень предусматривает использование сетевых контроллеров ТКМ-51 с информационной мощностью, обеспечивающей аналоговых входов/выходов 64/32, дискретных входов/выходов 192/160 в количестве трех комплектов (с «горячим» резервированием) на базе ПТК «САРГОН» с управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующего в режиме операторской рабочей станции. Этот уровень управления имеет также сервер ОРС и БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ химика-аналитика и АРМ оператора-технолога на базе ЭВМ IBM PC-486. Прием и передача ин-

формации осуществляются посредством промышленной сети Profibus DP, возможно использование Modbus. ОС функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное ПО системы управления обеспечивается SCADA-программой Трейс Моуд, реализующий основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в OPC-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет применить прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУТП отделения подработки зерна и приготовления замеса (см. рис. 16.3.) составляет: входы/выходы 19/19, т. е. 38. Из них аналоговые входы/выходы 9/9, дискретные входы/выходы 10/10+5 (сигн.), т. е. имеется достаточный резерв.

АСУТП отделения подработки зерна и приготовления замеса обеспечивает отображение информации о состоянии ТП в режиме РВ, контроль поступления сырья и материалов, ввод задания и команд с клавиатур ПТК и АРМ оператора-технолога, а также управление ТП. Команды управления и данные вводятся в ПТК технологом с клавиатуры ЭВМ. В ПТК в этом случае входят модули ввода аналоговых, дискретных и чисто импульсных сигналов, необходимых для приема информации ПТК от измерительных преобразователей технологических параметров, информации о состоянии оборудования, от дискретных устройств, а также модулей вывода аналоговых и дискретных сигналов для управления исполнительными устройствами (клапанами, вентилями, заслонками, электродвигателями и др.).

### **Стадия подработки зерна**

Основными задачами на этой стадии являются дистанционное управление, блокировка и сигнализация о работе системы машин и механизмов, которая обеспечивает транспортировку зерна со склада на переработку по определенному маршруту. Это осуществляет система управления, сигнализации и блокировки, в электрическую схему которой поступают сигналы о частоте вращения электродвигателей норий и транспортеров, о их скорости от реле скорости ( $1-1+4-1$ ) и уровне зерна в бункерах от емкостных датчиков уровня с выходом на АЦП (ADAM-4012) ( $5-1+7-1$ ) и которая подает импульсы сигнализации на пульты ПТК и АРМ технолога.

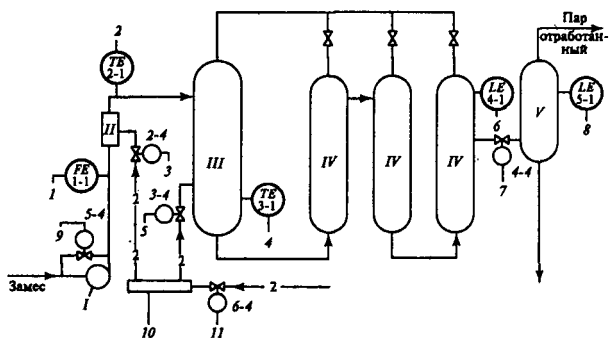
Автоматический учет зерна, поступающего со склада в переработку, обеспечивает контактный счетчик (8-1), который при каждом отвесе порционных весов формирует электрический импульс, который посредством АЦП (ADAM-4016) поступает на счетчик-электроимпульсов (8-2), установленный на пульте управления ПТК, для фиксации на телемониторе и суммирования. Производительность (нагрузка) головных участков устанавливается с пульта ПТК или ПЭВМ (АРМ оператора). В состав САР входят дозатор-расходомер зерна (9-1), нормирующий преобразователь (9-2) и АЦП (ADAM-4012), регистратор АЦПУ (9-3), регулирующий канал ТКМ 51, поддерживающий ПИ-закон регулирования (9-4), ЦАП (ADAM-4021) и исполнительное устройство (9-5), в качестве которого используется регулирующая заслонка (шибер) с электрическим мембранным исполнительным механизмом.

### Стадия приготовления замеса

Основной задачей управления на этой стадии является получение определенной концентрации крахмала в замесе, что обеспечивает САР соотношения расходов зерна и воды, поступающих в предразварник-смеситель с помощью регулирующего контроллера ТКМ-51. Расход воды фиксируется индукционным расходомером (10-1) с электровыходом, сигнал с которого поступает на АЦП (ADAM-4012) и далее на телемонитор ПТК и ПЭВМ (10-2), а также на регулирующий канал ТКМ-51 (10-3) в качестве регулирующей переменной. Электрический сигнал, пропорциональный расходу зерна, с нормирующего преобразователя (9-2) поступает на контроллер соотношений ТКМ-51 (10-3) в качестве задания, при этом оно может быть набрано на клавиатурах ПТК и ПЭВМ. Командный сигнал с выхода контроллера соотношения подается на привод регулирующего клапана (10-4) подачи воды. Системой управления предусмотрено регулирование температур в смесительной камере и камере предразварника, а также регулирование уровня массы в камере предразварника. Обе САР температуры состоят из датчиков — терморезисторных термометров (ТСМ) с электровыходом (11-1), (12-1) и выходом на АЦП (ADAM-4012) или модулей (ADAM-4013), регистрирующих устройств (АЦПУ) (11-2) и (12-2), регулирующих каналов ТКМ-51, выполняющих ПИ-закон регулирования, (11-3), (12-3) с выходом на регулирующие клапаны: (11-4) — на линии подачи холодной воды в смеситель и (12-4) — на линии подачи пара в предразварник. Для измерения уровня разваренной массы используется емкостной датчик (13-1) и модуль (ADAM-4012) в комплекте с регистрирующим устройством АЦПУ (13-2) и сигнализацией на пультах ПТК и АРМ технолога.

## 16.1.2. ОТДЕЛЕНИЕ РАЗВАРИВАНИЯ

В отделении разваривания (рис. 16.4) замес из предразварника-смесителя подается плунжерным насосом I в контактную головку II, где нагревается «острым паром», и далее — в варочную колонну III первой ступени, куда также подается «острый пар». Затем разваренная масса последовательно проходит через варочные колонны IV второй ступени и поступает в сепаратор V, где от нее отделяется пар. Основными задачами управления в этом отделении являются стабилизация температурного режима разваривания и поддержание заданной производительности (нагрузки), которая определяется потребностью отделения осахаривания.



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Приборы по месту											PE 6-1	
Щит управления		PT 1-2	TC 2-3	TC 3-3	LC 4-3	LC 5-3	PC 6-3					
ПТК	УСО	Вход	FR 1-3	TRA 2-2	TRA 3-2	LRA 4-2	LRA 5-2	PR 6-2				
		Выход										
	Контроль	АС										
		ДС										
ПК	Рег-ние											
	ПЛУ											
	Защита											

Рис. 16.4. Схема системы управления отделением разваривания

На первом уровне управления монтируются измерительные преобразователи (датчики), сигнализаторы параметров, локальные контроллеры (ТКМ-21), средства управления исполнительными устройствами и пусковой аппаратуры. Пульты управления ТП и оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Они состоят из металлических корпусов (массой 15 кг) со встроенными в них ТКМ-21 в количестве трех комплектов (с «горячим» резервированием), модемов, блоков бесперебойного питания, аккумуляторов и других необходимых устройств. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется с помощью HART-протокола посредством полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование сетевых контроллеров ТКМ-51 с информационной мощностью, обеспечивающей аналоговых входов/выходов 64/32, дискретных входов/выходов 192/160, в количестве трех комплектов (с «горячим» резервированием) на базе ПТК «САРГОН» с управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующей в режиме операторской рабочей станции, наличие сервера OPC и БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ химика-аналитика и АРМ оператора-технолога на базе ЭВМ IBM PC-486. Прием и передача информации осуществляются посредством промышленной сети Profibus DP, возможно использование Modbus. ОС функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное ПО системы управления обеспечивается SCADA-программой Трейс Моуд, реализующей основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в OPC-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет применить прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУТП отделения разваривания (см. рис. 16.4) составляет входы/выходы 11/11, т. е. 22. Из них аналоговые входы/выходы 6/6, дискретные входы/выходы 5/5, т. е. имеется достаточный резерв.

АСУТП отделения разваривания обеспечивает: отображение информации о состоянии ТП в режиме РВ, контроль поступления сырья и материалов, ввод задания и команд с клавиатур ПТК и АРМ оператора-технолога, а также управление ТП.

Стабилизацию температурного режима обеспечивают САР температуры массы на выходе из контактной головки и САР температуры в первой варочной колонне, которые идентичны. Датчика-



ми температуры являются терморезисторные термометры (ТСМ) и АЦП (ADAM-4012) (2-1) и (3-1) (или модули ADAM-4013), сигнал с которых поступает на регистрирующие АЦПУ (2-2) и (3-2) и регулирующей канал контроллера ТКМ-51, выполняющий ПИ-закон регулирования, (2-3) и (3-3) и затем — на ЦАП (ADAM-4021) и регулирующие клапаны (2-4) и (3-4), установленные на трубопроводе подачи пара в соответствующий аппарат.

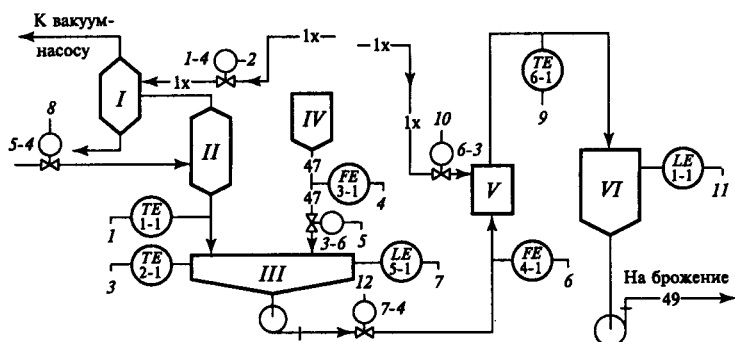
Производительность отделения определяется расходом замеса, который регулируется САР уровня в сепараторе V. При изменении потребления разваренной массы отделением осахаривания, например при его увеличении, уровень массы в сепараторе снижается. Нормированный сигнал от датчика уровня (5-1) и АЦП (ADAM-4012) поступает на регистрирующий прибор АЦПУ (5-2) (или монитор) ПЭВМ, контроллер ТКМ-51 и регулирующий клапан (5-4), который увеличивает расход замеса, приводя его в соответствие с расходом разваренной массы.

Автоматический контроль расхода замеса осуществляется с помощью индукционного расходомера (1-1), (1-2) и АЦП (ADAM-4012) с регистрацией на АЦПУ (1-3). Стабилизацию уровня в последней варочной колонне второй ступени осуществляется САР, состоящей из датчика уровнемера (4-1) и АЦП (модуль ADAM-4012) с выходом на регистрирующий АЦПУ (4-2) и регулирующей канал контроллера ТКМ-51 (4-3) с выходом на ЦАП (ADAM-4021) и регулирующей клапан (4-4), установленный на линии перетока массы в сепаратор. Для стабилизации давления в коллекторе пара служит САР, состоящая из датчика давления (6-1) и АЦП (модуль ADAM-4012) с выходом на регистрирующее АЦПУ (6-2), регулирующей канал контроллера ТКМ-51 (6-3), ЦАП (ADAM-4021) и регулирующей клапан (6-4).

### **16.1.3. ОТДЕЛЕНИЕ ОСАХАРИВАНИЯ**

В отделении осахаривания (рис. 16.5.) разваренная масса охлаждается в вакуум-испарителе II и поступает в осахариватель III, куда дозируется ферментный раствор из сборника IV. В результате ферментативного гидролиза крахмал осахаривается и разваренная масса крахмалистого сырья превращается в питательную среду для дрожжегенерации и брожения суслу, которое после охлаждения в теплообменнике V собирается в сборнике VI.

На первом уровне управления монтируются измерительные преобразователи (датчики), сигнализаторы параметров, локальные контроллеры (ТКМ-21), средства управления исполнительными устройствами и пусковой аппаратуры. Пульты управления ТП и оборуодованием в основном расположены по месту объекта управ-



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Приборы по месту														
Щит управления		TRA 1-2	TC 1-3	TRC 2-2	FT 3-2 E/E	FRA 5-4	FCI 3-5	FT 4-2 E/E	LRA 5-2		TRC 6-2		LC 7-3	
ПТК	УСО	Вход	•											
		Выход		•				•				•		
	Контролер	АС												
		ДС												
		Контроль	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
ПК	Рег-нис		•	•						•		•	•	
	ПЛУ													
	I				•									
	R	•		•	•	•		•			•	•	•	
Защита														

Рис. 16.5. Схема системы управления отделением осахаривания

ления. Они состоят из металлических корпусов (массой 15 кг) со встроенными в них ТКМ-21 в количестве трех комплектов (с «горячим» резервированием), модемов, блоков бесперебойного питания, аккумуляторов и других необходимых устройств. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется с помощью HART-протокола посредством полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование сетевых контроллеров ТКМ-51 с информационной мощностью, обеспечивающей аналоговых входов/выходов 64/32, дискретных входов/выходов 192/160, в количестве трех комплектов (с «горя-

чим» резервированием) на базе ПТК «САРГОН» с управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующего в режиме операторской рабочей станции, наличием сервера OPC и БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ химика-аналитика и АРМ оператора-технолога на базе ЭВМ IBM PC-486. Прием и передача информации осуществляются посредством промышленной сети Profibus DP, возможно использование Modbus. ОС функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное ПО системы управления обеспечивается SCADA-программой Трейс Моуд, реализующей основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы обеспечивает функционирование СУ в OPC-сервере, что гарантирует работу сетевых структур без специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет применить прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУ ТП отделения осахаривания (рис. 16.5) составляет: входы/выходы 12/12, т. е. 24. Из них аналоговых входов/выходов 8/8, дискретных входов/выходов 4/4, т. е. имеет место достаточный резерв.

АСУТП отделения осахаривания обеспечивает отображение информации о состоянии ТП в режиме РВ, контроль поступления сырья и материалов, ввод задания и команд с клавиатур ПТК и АРМ оператора-технолога, а также управление ТП.

Основными задачами управления в этом отделении являются: поддержание заданного режима осахаривания, которое сводится к стабилизации температуры реакционной массы в осахаривателе и концентрации в ней фермента. Для регулирования температуры служит двухконтурная (каскадная) САР: температура массы на выходе вакуум-испарителя измеряется терморезисторным термометром ТСМ с АЦП (ADAM-4012) или модулем (ADAM-4013), сигнал которого поступает на регистрирующее АЦПУ (1-2) и регулирующий канал контроллера ТКМ 51 (1-3) и далее — на ЦАП (ADAM-4021) и регулирующий клапан (1-4), который изменяет расход воды в барометрическом конденсаторе I. Температура массы в осахаривателе измеряется термопреобразователем ТСМ и АЦП (ADAM-4012) (2-1) или модулем (ADAM-4013) с выходом на регистрирующее АЦПУ (монитор ПЭВМ) (2-2) и регулирующий канал контроллера ТКМ-51, выполняющий ПИ-закон регулирования, далее выходной сигнал этого контроллера поступает на пульт управления ПТК (2-3) в качестве задания на контрол-

лер ТКМ-51. Применение каскадной САР обеспечивает высокое качество регулирования температуры в осахаривателе.

Для поддержания концентрации фермента в реакционной массе служит САР соотношения расходов суслу и ферментосодержащего раствора. Эта САР состоит из индукционных расходомеров (3-1) и АЦП (ADAM-4012) (3-2) для ферментосодержащего раствора и соответственно (4-1) и АЦП (ADAM-4012) (4-2) для суслу или модулей (ADAM-4017) (3-3) и (4-3), далее сигнал поступает на регистрирующее устройство АЦПУ (или монитор ПЭВМ) (3-4) и канал контроллера соотношения ТКМ-51 (3-5), выходной сигнал которого поступает на ЦАП (ADAM-4021) и регулирующий клапан, установленный на трубопроводе подачи ферментосодержащего раствора в осахаривателе.

Температура суслу на выходе из теплообменника V стабилизируется САР, которая включает термопреобразователь ТСМ и АЦП (ADAM-4012) или модуль (ADAM-4013), регистрирующее устройство АЦПУ (или монитор ПЭВМ) и регулирующий канал ТКМ-51 (6-2), клапан, установленный на трубопроводе подачи холодной воды (6-3).

Для регулирования уровня массы в осахаривателе используется САР, где датчиком служит электронный уровнемер (5-1) и АЦП (ADAM-4012). Его выходной сигнал поступает на регистрирующее устройство (5-2) и регулирующий канал контроллера ТКМ-51 (5-3), который воздействует на ЦАП (ADAM-4021) и регулирующий клапан (5-4), установленный на трубопроводе подачи разваренной массы в вакуум-испаритель. Идентичная по структуре САР используется для поддержания уровня суслу в сборнике VI. В этой системе регулирующий контроллер ТКМ-51 воздействует на клапан (7-4), установленный на трубопроводе подачи суслу из осахаривателя в теплообменник.

#### **16.1.4. ОТДЕЛЕНИЕ БРОЖЕНИЯ**

Основная стадия производства спирта, на которой образуется целевой продукт, — брожение. Наибольшее распространение получил непрерывный способ брожения, осуществляемого в батарее ферментаторов (бродильных аппаратов), соединенных последовательно. Перед началом процесса в головной ферментатор I (рис. 16.6.) вводят культуру посевных дрожжей-сахаромицетов, выращенных в посевных ферментаторах IV, и подают поток осахаренного суслу. После заполнения головного ферментатора избыток культуральной жидкости по переливной трубе поступает во второй ферментатор II и т. д., пока не будут заполнены все аппараты батареи. Из последнего ферментатора III культуральная

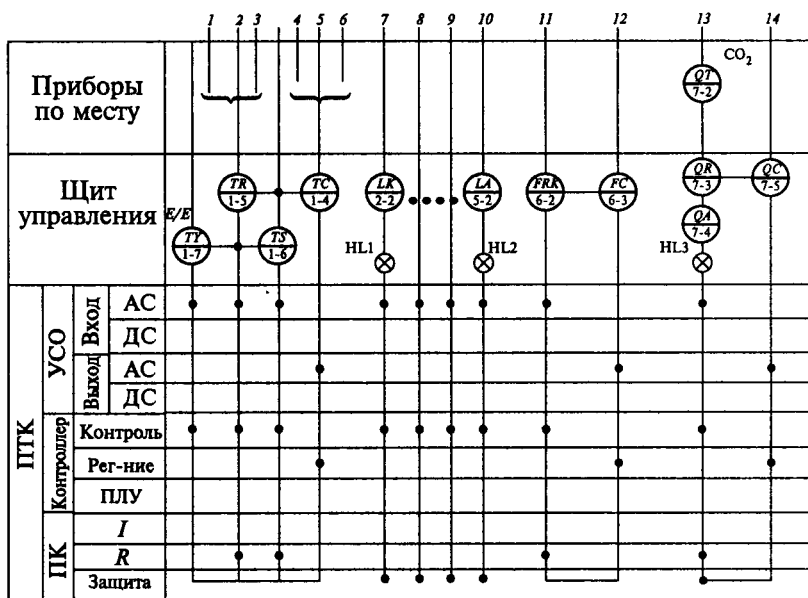
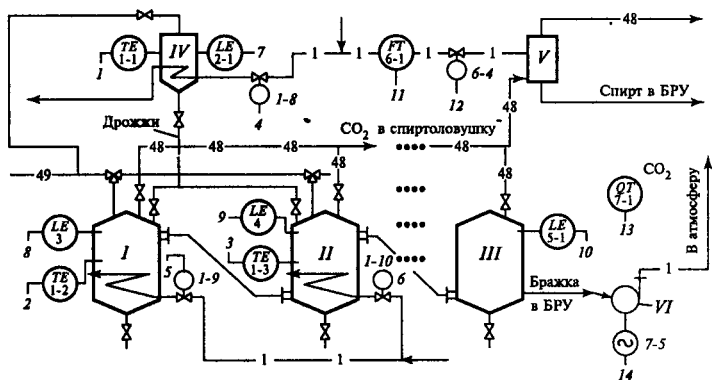


Рис. 16.6. Схема системы управления отделением брожения

жидкость (бражка) с объемной долей спирта 8–9% подается в отделение брагоректификации. В посевных ферментаторах IV и первых трех головных бродильных аппаратах микробиологические процессы протекают особенно интенсивно и сопровождаются значительным тепловыделением, поэтому они снабжены теплообменниками и охлаждаются водой.

Систему управления отделением брожения можно реализовать с помощью АСУТП (супервизорный режим по модулю б (см. рис. 15.3), которая предусматривает два иерархических уровня.

На первом уровне управления монтируются измерительные преобразователи (датчики), сигнализаторы параметров, средства управления исполнительными устройствами, пусковая аппаратура и АРМ химика-аналитика. Пульты управления ТП и оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Это стационарный пульт, предназначенный для установки на передней поверхности защитных шкафов со встроенными в них модемами или радиомодемами, блоки бесперебойного питания, аккумуляторы и другие необходимые устройства. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется посредством HART-протокола с помощью полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование сетевых контроллеров ТКМ-51 с информационной мощностью, обеспечивающей аналоговые входы/выходы 64/32, дискретные входы/выходы 192/160, в количестве трех комплектов (с «горячим» резервированием) на базе ПТК «САРГОН» с управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующего в режиме операторской рабочей станции, наличие сервера OPC и БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ химика-аналитика и АРМ оператора-технолога на базе ЭВМ IBM PC-486. Прием и передача информации осуществляются посредством промышленной сети Profibus DP, возможно использование Modbus. ОС функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное программное обеспечение связано с SCADA-программой Трейс Моуд, реализующей основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы гарантирует функционирование СУ в OPC-сервере, что обеспечивает работу сетевых структур без специальных драйверов. В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет применять прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУТП отделения брожения (рис. 16.6) составляет: входы/выходы 14/14, т. е. 28. Из них аналоговые входы/выходы 9/9, дискретные входы/выходы 5/5, т. е. имеется достаточный резерв.

АСУТП отделения брожения осуществляет отображение информации о протекании ТП в режиме РВ, контроль поступления сырья и материалов, ввод задания и команд с клавиатур ПТК и АРМ оператора-технолога, а также управление ТП.

Основной задачей управления на стадиях дрожжегенерации и брожения является поддержание оптимальной температуры в посевах и головных бродильных ферментаторах. Как объекты ре-

гулирования они обладают большой инерционностью и значительным временем запаздывания. Температура в каждом аппарате измеряется термопреобразователями сопротивления ТСМ и АЦП (ADAM-5017H) или модулем ADAM-5013 (1-1, 1-2, 1-3), которые подключены к регулирующему каналу контроллера ТКМ-51 (1-4) с выходом на регистрирующее устройство АЦПУ (1-5). Выходные сигналы посредством нормирующих усилителей (1-7) управляют подачей холодной воды в соответствующие ферментаторы посредством ЦАП (ADAM-5024) и регулирующих клапанов (1-8) ÷ (1-10).

Для предотвращения инфицирования культуральной жидкости ферментаторы периодически стерилизуют «острым» паром, что в целом неблагоприятно сказывается на работе системы управления температурным режимом. Для устранения этого предусмотрена возможность шунтирования в период стерилизации сопротивлений дополнительным резистором. Переливы в ферментаторах предотвращаются электронными сигнализаторами уровня (2-1) ÷ (5-1) и АЦП (модуль ADAM-5017H), включенными в электрическую схему световой и звуковой сигнализации с выходом на пульты ЭВМ и АРМ технолога. В ходе брожения выделяются газы, в основном содержащие углекислый газ и пары спирта. Отходящие газы направляются в спиртоловушку V, которая орошается водой. Пары спирта растворяются в воде, образовавшаяся водноспиртовая смесь подается в брагоректификационную установку, а углекислый газ поступает на переработку в цех углекислоты. Системой управления предусмотрено регулирование расхода воды, поступающей из спиртоловушки. Расход измеряется индукционным расходомером (6-1) и АЦП (ADAM 5017H), выходной сигнал которого подается на регистрацию АЦПУ (6-2) и в регулирующий канал контроллера ТКМ-51, выполняющего ПИ-закон регулирования (6-3), и далее — на ЦАП (модуль ADAM-5024). Выходной управляющий сигнал с контроллера посредством ЦАП подается на регулирующий клапан (6-4), установленный на линии подачи воды.

Для обеспечения безопасных условий работы в бродильном отделении предусмотрены автоматические контроль и регулирование концентрации углекислоты в воздухе производственного помещения. Пробы воздуха непрерывно просасываются через приемник газоанализатора ГИАМ-15М (7-3), в комплект которого входит устройство отображения информации (телемонитор и АЦПУ) ЭВМ и контроллер ТКМ-51 (7-5). Если концентрация углекислого газа в помещении превышает предельно допустимую норму, то посредством ЦАП (ADAM-5024) включается электродвигатель привода вентилятора VI, а также световая и звуковая сигнализация (7-4) на пультах ЭВМ и АРМ технолога.

### 16.1.5. ОТДЕЛЕНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СПИРТА ИЗ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ (БРАЖКИ) И ЕГО ОЧИСТКИ ОТ ПРИМЕСЕЙ

Выделение спирта из культуральной жидкости является заключительной стадией получения спирта и осуществляется в брагоректификационных установках (БРУ). Существует несколько вариантов технологических схем БРУ, однако принципы управления ими схожи, поэтому в качестве примера рассмотрим управление трехколонной установкой косвенного действия (рис. 16.7).

Бражка из бродильного отделения подается в теплообменник I, где нагревается парами воды и спирта, затем поступает в верхнюю часть бражной колонны VI и по тарелкам стекает вниз. Навстречу потоку жидкости поднимаются пары воды и спирта, которые образуются за счет теплоты греющего пара, подаваемого в кипятильник колонны. В результате теплообмена концен-

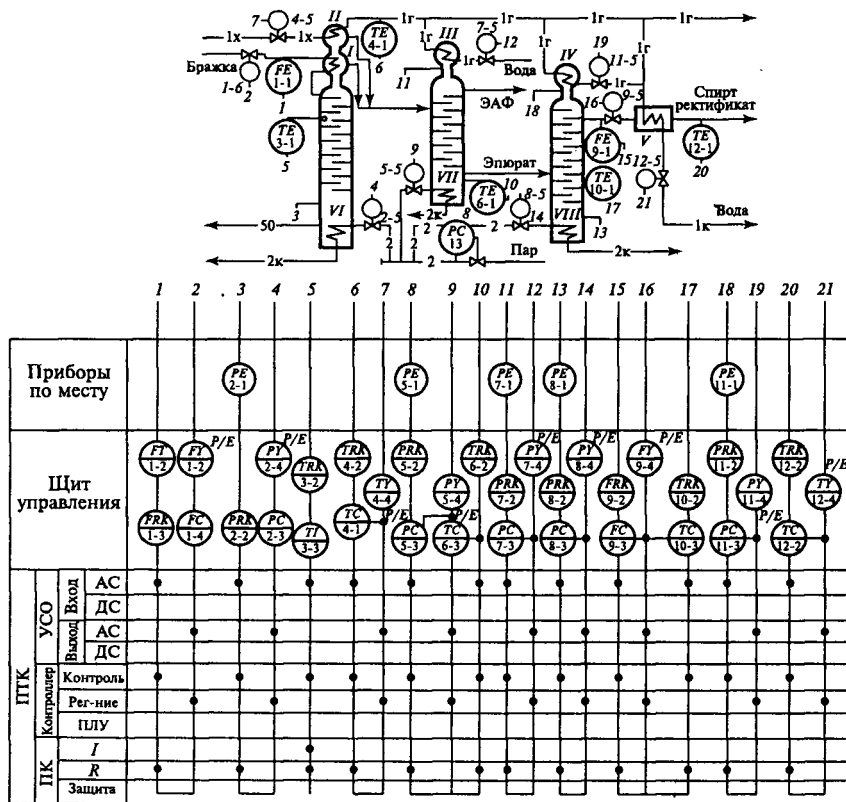


Рис. 16.7. Схема системы управления брагоректификационным отделением



трация спирта в потоке пара возрастает, а в жидкости уменьшается. Бражка, из которой отогнан спирт, называется бардой. Она отводится из нижней части колонны и, являясь основным отходом спиртового производства, используется либо непосредственно в качестве корма для скота, либо как сырье для производства кормовых дрожжей. Пары спирта и сопутствующих ему примесей выходят из верхней части колонны, охлаждаются в теплообменнике I потоком бражки и окончательно конденсируются в дефлегматоре II, куда подается охлаждающая вода.

Очистка спирта-сырца осуществляется в эспираторной колонне VII, куда на перегонку поступает конденсат спирта-сырца из дефлегматора II. Обогрев колонны происходит за счет охлаждения пара, который подается в кипятильник. Температурный режим в эспираторной колонне рассчитан на разделение спирта, который здесь является высококипящим компонентом смеси, и легколетучих примесей (эфиров, альдегидов, метанола и др.), которые концентрируются в верхней части колонны III и выходят из нее в виде эфиральдегидной фракции (ЭАФ).

Очищенный спирт концентрацией 20—30% (эпюратор) выводится из нижней части эспираторной колонны и подается в ректификационную колонну VIII для окончательной очистки и концентрирования. В этой колонне легколетучим компонентом является спирт, а основным высококипящим — вода, поэтому концентрация спирта возрастает по высоте колонны. Обогрев этой колонны, как и двух других, осуществляется «глухим» паром, который подается в кипятильник.

Спирт-ректификат концентрацией 96% отбирается с 10—15 тарелок в верхней части колонны и проходит через теплообменник V, где охлаждается водой. Пары спирта выходят через верхнее отверстие и после конденсации в дефлегматоре IV возвращаются в колонну в качестве флегмы. Из нижней части колонны отбираются сивушные масла, еще ниже отводится вода с остатками спирта.

Систему управления брагоректификационным отделением можно реализовать с помощью АСУТП в режиме НЦУ по модулю *в* (см. рис. 15.3), которая предусматривает два иерархических уровня управления.

На первом уровне управления монтируются измерительные преобразователи (датчики), сигнализаторы параметров, средства управления исполнительными устройствами, пусковая аппаратура и АРМ химика-аналитика. Пульты управления ТП и оборудованием в основном расположены по месту объекта управления. Это стационарный пульт, предназначенный для установки на передней поверхности защитных шкафов со встроенными в них моде-

мом или радиомодемом, блоком бесперебойного питания, аккумулятором и другими необходимыми устройствами. Взаимосвязь аппаратуры осуществляется посредством HART-протокола с помощью полевой сети Fieldbus H1.

Второй уровень управления предусматривает использование сетевых контроллеров ТКМ-51 с информационной мощностью, обеспечивающей аналоговых входов/выходов 64/32, дискретных входов/выходов 192/160, в количестве трех комплектов (с «горячим» резервированием) на базе ПТК «САРГОН» с управляющей ЭВМ (Pentium I), функционирующего в режиме операторской рабочей станции. Предусмотрено и наличие сервера ОРС и БД на базе ЭВМ (Pentium I), АРМ химика-аналитика и АРМ оператора-технолога на базе ЭВМ IBM PC-486. Прием и передача информации происходят посредством промышленной сети Profibus DP, возможно использование сети Modbus. ОС функционирует с помощью ОС Windows NT. Основное программное обеспечение связано с программой Трейс Моуд, реализующей основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе для контроля и управления. Оно состоит из инструментального и исполнительного комплексов. Открытость SCADA-программы гарантирует функционирование СУ в ОРС-сервере, что обеспечивает работу сетевых структур без специальных драйверов, В качестве ОС контроллеров используют типовую систему OS-9 или версии Windows, что позволяет применить прикладное ПО для контроллеров (например, технологические языки стандарта IEC 1131.3).

Информационная мощность АСУТП брагоректификационного отделения (см. рис. 16.7) составляет: входы/выходы 21/21, т. е. 42. Из них аналоговые входы/выходы 12/12, дискретные входы/выходы 9/9, т. е. имеет место достаточный резерв.

АСУТП брагоректификационного отделения осуществляет отображение информации о протекании ТП в РВ, контроль поступления сырья и материалов, ввод задания и команд с клавиатур ПТК и АРМ оператора-технолога, а также управления ТП.

Брагоректификационное отделение является взрывоопасным, поэтому в нем допускается установка только средств автоматизации во взрывобезопасном исполнении. В системе управления брогоректификационной установкой (БРУ) использованы необходимые средства пневматической ветви ГСП. Нагрузка БРУ определяется расходом бражки, для регулирования подачи которой используется система, состоящая из комплекта индукционного расходомера (1-1) и АЦП (модуль ADAM-5017), устройства отображения информации (АЦПУ и телемонитор) (1-3), регулирующего канала контроллера, поддерживающего ПИ-закон регулиро-

вания ТКМ-51 (1-4). Затем управляющий сигнал поступает на ЦАП (модуль ADAM-5024), электропневмопреобразователь (1-5) и регулирующий клапан (1-6). Важным технологическим параметром, определяющим режим работы любой из колонн БРУ, является величина давления в ее нижней части, которая зависит от расхода греющего пара в кипятильник. Для регулирования давления в схеме управления БРУ использованы однотипные системы, которые состоят из датчиков (5-2) + (8-2) в комплекте с регулирующим каналом контроллера ТКМ-51, обеспечивающим выполнение П-закона регулирования (8-3), и контроллерами ТКМ-51, выполняющими ПИ-закон регулирования (2-3) и (5-3), и ЦАП (модуль ADAM-5024) и электропневмопреобразователи (2-4), (5-4), (8-4), с выходом на регулирующие клапаны (2-5), (5-5), (8-5), установленные на трубопроводах подачи пара в кипятильник соответствующей колонны.

Основным параметром, характеризующим состояние процесса в каждой колонне, является концентрация целевого продукта (спирта) в основном технологическом потоке на выходе из аппарата. Из-за отсутствия серийных датчиков для автоматического измерения концентрации спирта ее непосредственное регулирование достаточно сложно. Однако при постоянном давлении в колонне между концентрацией и температурой кипения жидкости на контрольной тарелке устанавливается высокая корреляционная зависимость, которую можно использовать для косвенного регулирования концентрации.

В бражной колонне температура на контрольной тарелке регулируется двухконтурной (каскадной) САР. Температура измеряется терморезисторным термометром ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модулем (ADAM-5013) (3-1), нормированный сигнал которого подается на телемонитор и АЦПУ (3-2) и регулирующий канал контроллера ТКМ-51, обеспечивающий ПИ-закон регулирования (3-3). Сигнал с этого контроллера поступает в качестве задания на контроллер ТКМ-51 (2-3) давления в нижней части колонны. В рабочем режиме, если по каким-либо причинам концентрация спирта в верхней части колонны изменяется, например уменьшается, то температура на контрольной тарелке снижается, становясь меньше заданной. Контроллер (3-3) увеличит заданное значение давления для контроллера (2-3), которое окажется больше, чем текущее давление в нижней части колонны. В результате увеличится подача пара в кипятильник и интенсифицируется процесс кипения, а также усилятся все тепло- и массообменные процессы в колонне, что со временем приведет к восстановлению требуемого режима работы системы посредством

ЦАП (ADAM-5024) с выходом на электропневмопреобразователь (2-4) и клапан (2-5).

Аналогичная по структуре САР (6-1, 6-2, 6-3) применяется для стабилизации технологического режима в эдюрационной колонне. Отличие состоит лишь в том, что в данной САР регулируется температура в нижней части колонны, откуда отбирается целевой продукт-эпюрат.

Особенно высокие требования предъявляются к качеству регулирования концентрации спирта, отбираемого из ректификационной колонны, поскольку он является конечным продуктом производства. Для такого регулирования используется двухконтурная (каскадная) САР, которая регулирует расход спирта-ректификата с коррекцией по температуре на контрольной тарелке. Датчиком расхода является индукционной ротаметр (9-1) и АЦП (модуль ADAM-5017), электрический сигнал которого подается на телемонитор и АЦПУ (9-2) и регулирующий канал контроллера ТКМ-51, выполняющий П-закон регулирования (9-3), затем на ЦАП (ADAM-5024) и электропневмопреобразователь (9-4) с выходом на регулирующий клапан (9-5).

Температура на контрольной тарелке измеряется терморезисторным термометром ТСМ и АЦП (ADAM-5013) (10-1), нормированный сигнал которого поступает на регистрирующее устройство АЦПУ и на телемонитор для отображения (10-2), и далее на регулирующий канал контроллера ТКМ-51, выполняющий ПИ-закон регулирования (10-3). Сигнал с выхода этого контроллера подается в качестве задания на контроллер ТКМ-51 (9-3).

Схемой управления БРУ предусмотрено регулирование расхода охлаждающей воды, подаваемой в дефлегматор всех колонн. При этом подача воды в дефлегматор бражной колонны обеспечивает стабилизацию температуры отходящей нагретой воды (4-1) ÷ (4-5). В эдюрационной и ректификационной колоннах применены однотипные системы регулирования давления в верхней части колонны, которые состоят из датчиков (7-1) и (11-1) и АЦП (модуль ADAM-5017Н), электрический сигнал с которых поступает на АЦПУ и телемонитор (7-2) и (11-2) и регулирующие каналы контроллеров ТКМ-51, поддерживающими ПИ-закон регулирования (7-3) и (11-3), и затем на ЦАП (ADAM-5024), электропневмопреобразователи (7-4) и (11-4) и на регулирующие клапаны на линии подачи охлаждающей воды в дефлегматор соответствующей колонны (7-5) и (11-5).

Наряду со стабилизацией основных технологических параметров брагоректификации, система управления БРУ обеспечивает регулирование давления пара в коллекторе с помощью регулятора 13 прямого действия «после себя», т. е. ПЛК(ТКМ-51), а так-

же температуры спирта-ректификата после теплообменника V(12-1)–(12-5) см. контур (4-1–4-5). Измерение и учет объема спирта, получаемого из БРУ, а также содержание в нем чистого алкоголя осуществляется с помощью специального устройства, так называемым контрольным снарядом (на рис. 16.7 не показан).

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Состав и структура АСУТП производства спирта.
2. Структура микропроцессорных средств управления этим производством.
3. Система управления отделением подработки зерна и приготовления замеса.
4. Система управления отделением разваривания.
5. Система управления отделением осахаривания.
6. Система управления отделением брожения.
7. Система управления отделением выделения спирта и его очистки.
8. Чем определяется эффективность функционирования АСУ производства спирта и сахара?
9. Какие функции реализуются на первом уровне АСУТП? На втором уровне управления? На третьем уровне управления?
10. АСУТП отделения подработки зерна и приготовления замеса при производстве спирта.
11. АСУТП отделения разваривания.
12. АСУТП отделения осахаривания.
13. АСУТП отделения брожения при производстве спирта.
14. Поясните назначение основных элементов схемы системы управления брагоректификационным отделением.
15. АСУТП отделения выделения спирта.
16. АСУТП очистки спирта от примесей.
17. Какие основные задачи решаются при управлении отделением осахаривания?
18. Перечислите основные этапы производства спирта на спиртовом заводе.
19. Как обеспечиваются безопасные условия работы в бродильном отделении спиртового завода?
20. По какой схеме реализуется АСУТП брагоректификационного отделения?

## Глава 17. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ СВЕКЛОСА- ХАРНОГО И САХАРОРАФИНАДНОГО ПРОИЗВОДСТВ

Свеклосахарное производство представляет собой последовательность взаимосвязанных процессов, протекающих в ряде отделений и аппаратов. Получение сахарного песка из свеклы включает гидромеханические, механические, тепловые, диффузионные и другие процессы.

Свеклосахарное производство является непрерывно-поточным, характеризуется высокими значениями потоков материала и энергии, сложностью процессов массотеплообмена, большой протяженностью производственных линий, наличием внутренних обратных связей по параметрам.

Свеклосахарное производство как объект управления характеризуется большим разбросом значений контролируемых параметров (свыше 400), наличием транспортного запаздывания и инерционными свойствами отдельных аппаратов, распределенными значениями параметров по времени и протяженности аппаратов.

Производство сахара из сахарной свеклы начинается с процесса подачи свеклы в свеклоперерабатывающее отделение, где происходит ее очистка, измельчение. Из полученной стружки получают диффузионный сок. Очистка диффузионного сока от органических примесей и получение сахарного сиропа происходит в отделении дефекоосатурации. Затем в отделении выпаривания осуществляют выпаривание поступающего сока до заданного содержания сухих веществ.

Эффективность функционирования АСУ свеклосахарным производством определяется в основном выбором структур АСУТП отделений и подразделений, их функциями, комплексом аппаратных и программных средств вычислительной техники с учетом мощности и уровня автоматизации. Структурную организацию АСУ свеклосахарного завода целесообразно рассматривать по горизонтали (где выделяются технологические отделения и подразделения свеклосахарного завода, функционирующие в плане задач управления законченным технологическим процессом свеклосахарного производства) и по вертикали (где выделяются уровни управления технологическим процессом этого производства). На рис. 17.1 представлена структура АСУ свеклосахарного завода.

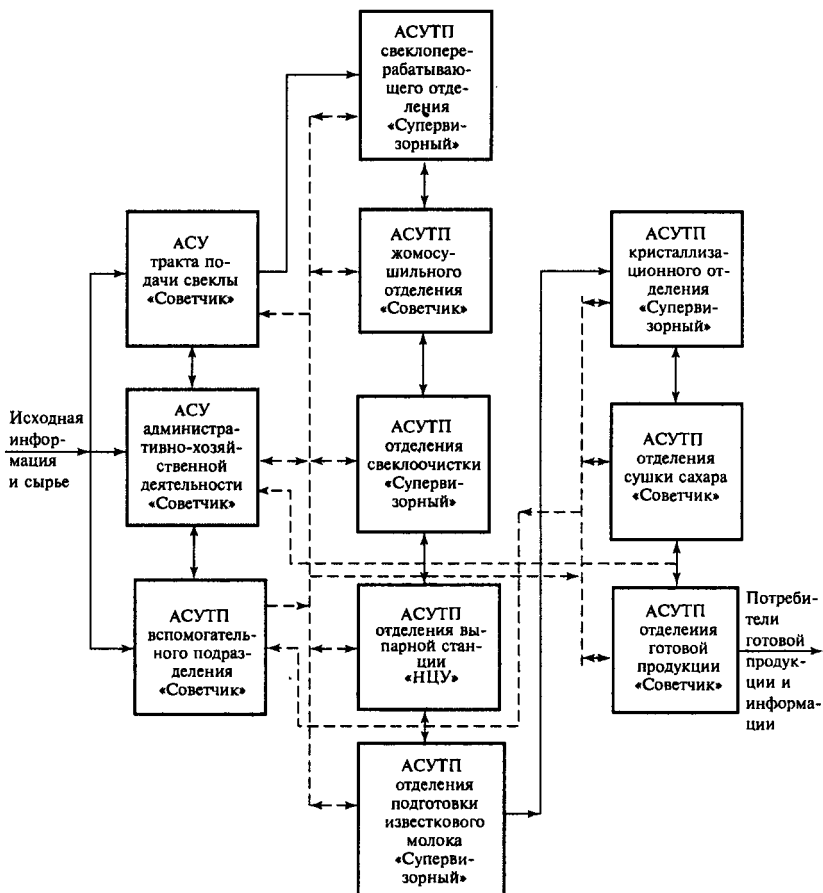


Рис. 17.1. Структура АСУ свеклосахарного завода

Технологические отделения и подразделения, как правило, состоят из ряда взаимосвязанных технологических аппаратов, агрегатов и установок, на которых протекает технологический процесс производства сахара-песка и подготовка вспомогательных материалов, энергоносителей, теплоносителей и других материалов (обозначены сплошными линиями).

Автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями осуществляется сменными технологами на автоматизированных рабочих местах (АРМ) под руководством главного технолога и администрации свеклосахарного завода (обозначены пунктирными линиями).

При автоматизации микропроцессорными средствами в первую очередь обеспечиваются наиболее подготовленные в плане изученности и достаточности информации отделения и подразделения для управления, а затем, развивая АСУ свеклосахарного завода, подключаются новые.

Структура управления и оснащение техническими микропроцессорными средствами АСУ свеклосахарного завода большой и средней мощности приведена на рис. 17.2. По вертикали ее можно представить в виде трех иерархических уровней управления.

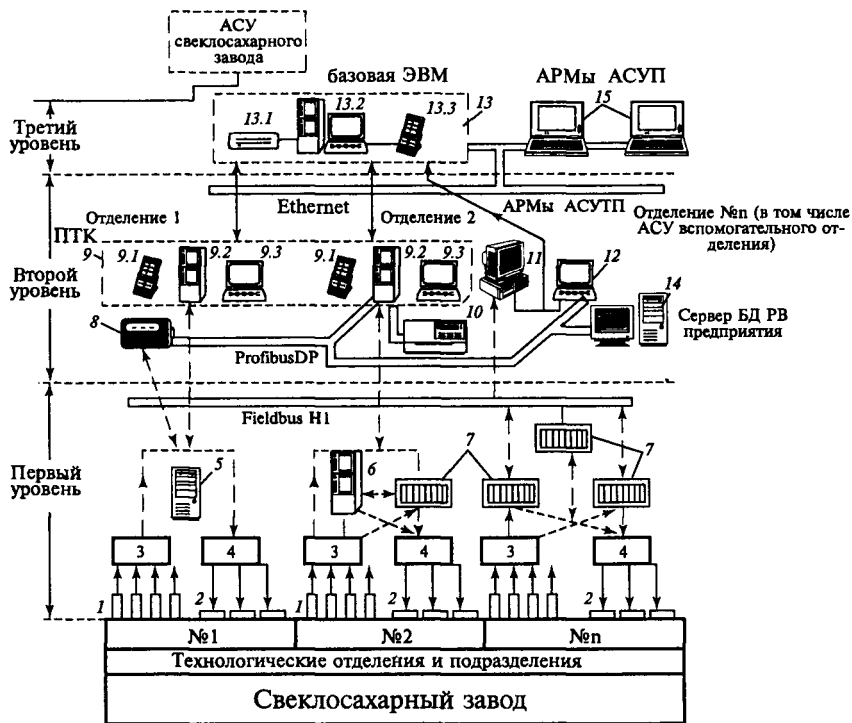


Рис. 17.2. Структура управления свеклосахарным заводом:

1 — преобразователи (датчики) технологических параметров, установленные на технологическом оборудовании; 2 — исполнительные устройства и электродвигатели технологического оборудования; 3 — нормирующие преобразователи, сигнализаторы параметров, блоки питания, смонтированные на щитах; 4 — пусковая аппаратура электродвигателей и исполнительных устройств; 5 — пульт оператора по месту; 6 — локальная вычислительная система; 7 — локальные микропроцессорные контроллеры; 8 — сетевые микропроцессорные контроллеры; 9 — программно-технический комплекс (ПТК): 9.1 — печатающее устройство, 9.2 — микроЭВМ и УСО, 9.3 — видеотерминал; 10 — цветной графический монитор; 11 — АРМы операторов АСУП; 12 — персональная ЭВМ; 13 — базовая ЭВМ третьего уровня: 13.1 — внешнее запоминающее устройство (винчестер), 13.2 — ЭВМ и видеотерминал, 13.3 — печатающее устройство; 14 — сервер базы данных РВ предприятия; 15 — АРМы АСУП



Для свеклосахарных заводов малой мощности можно применить двухуровневую иерархическую структуру управления.

Первый уровень управления состоит из локальных автоматизированных систем управления, обеспечивающих формирование информации о протекании технологического процесса свеклосахарного производства. Эти системы смонтированы непосредственно на аппаратах, агрегатах, установках или поточной линии обработки информации и ее передачи на второй уровень управления.

Технологическое оборудование определенного вида в основном оснащается локальной системой управления. При этом обработка информации, ее представление оператору, формирование команд осуществляются техническими средствами микропроцессорной техники. Целесообразным является использование интеллектуальных преобразователей (датчиков) технологических параметров, локальных микропроцессорных устройств для обработки информации, а также применение исполнительных устройств. Обработанная информация о состоянии объекта управления передается на второй уровень управления для представления оператору-технологу и формирования команд управления технологическим процессом.

**На первом уровне управления реализуются следующие функции АСУП:**

- измерение технологических параметров, обработка результатов измерений и передача сигналов информации на второй уровень;
- регулирование заданных значений технологических параметров;
- формирование управляющих воздействий на исполнительные устройства (клапаны, мешалки, насосы и др.);
- автоматическое управление по заданным алгоритмам отдельными технологическими аппаратами, агрегатами, установками и линиями;
- сбор и передача на второй уровень управления сигналов о состоянии исполнительных устройств, срабатывании систем защиты и блокировки.

В соответствии с функциями АСУП, реализуемыми на первом уровне, осуществляется выбор технических средств управления, включающих:

- измерительные преобразователи (датчики) технологических параметров, регистрирующие устройства, нормирующие преобразователи сигналов, сигнализаторы технологических параметров и регуляторы (контроллеры);
- исполнительные устройства;

- электропусковую аппаратуру;
- локальные микропроцессорные устройства (контроллеры для логики-программного управления и регулирования технологическими процессами), УСО, ПК.

**Второй уровень** управления образован системами, функцией которых является автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями согласно информации, получаемой от систем первого уровня. На втором уровне происходит координация управления технологическим оборудованием отделений, подразделений и линий, а также осуществляется взаимосвязь между ними.

На втором уровне управления реализуются следующие функции АСУТП:

- отображение оперативной информации о значениях технологических параметров и состоянии технологического оборудования, а также о значениях вводимых оператором команд и данных;
- формирование и передача управляющих воздействий на исполнительные устройства;
- автоматическое управление по заданной программе и командам оператора работой технологического оборудования, находящегося в технологическом отделении и подразделении;
- координирование режима работы отделений и подразделений;
- регистрация информации о работе технологического отделения и подразделения на печатающих устройствах, а также ее архивирование и хранение;
- сбор, обработка и передача информации о работе технологических отделений и подразделений на третий уровень управления.

Системы управления второго уровня в основном базируются на применении программно-технических комплексов (ПТК), которые состоят из базовой ЭВМ, устройств связи с объектом (УСО), видеотерминалов, печатающих устройств и сетевых микропроцессорных устройств (контроллеры и др.), а также персональных ЭВМ, т. е. представляют собой автоматизированные рабочие места (АРМ).

Вся информация, необходимая для принятия решений по управлению технологическим процессом, отображается на цветных мониторах и видеотерминальных устройствах.

Ввод команд, данных и регламентов (инструкций) осуществляется оператором-технологом с помощью клавиатуры. Информация о технологических параметрах и состоянии оборудования, команды управления передаются посредством интерфейсов через сетевые микропроцессорные контроллеры в ЭВМ и АРМ технолога.

При использовании распределенных систем микропроцессорных контроллеров ко второму уровню управления относят сете-

вые контроллеры и ПЭВМ, которые формируют АРМ технолога, лаборатории и др.

**Третий уровень** управления образован системой централизованного управления, которая реализует задачи оперативной диспетчеризации и координации управления технологическими отделениями и подразделениями, согласно задачам АСУ свеклосахарного завода и вспомогательного подразделения.

На третьем уровне реализуются следующие функции АСУП:

- диспетчеризация режимов работы технологических отделений и подразделений, а также координация их взаимодействий со вспомогательным подразделением;
- ведение баз данных, регистрация текущей и интегрированной информации о функционировании технологических отделений, подразделений в форме отчетной документации;
- прием и обработка информации от АСУ свеклосахарного завода и вспомогательного подразделения и представление ее руководству данного предприятия.

Для систем управления третьего уровня характерно применение ПТК и ПЭВМ, предназначенных для операторских станций и АРМ и обеспечения поддержки и манипулирования достаточно мощными базами данных.

В АСУ свеклосахарными заводами большой и средней мощности важен обмен информацией как по горизонтали, между технологическими отделениями и подразделениями, так и по вертикали, между уровнями управления каждого отделения и подразделения. Для такого обмена информацией эффективно применение протоколов и интерфейсов компонентов АСУП управляющей сети, а также стандартных интерфейсов связи между микропроцессорными контроллерами, ПТК и ПЭВМ. Реализацию задач управления этим производством можно осуществить с помощью систем управления НПФ «Круг» (г. Пенза), фирмы «Прософт» (Россия) и др.

Для реализации управления производством сахара целесообразно применение комплекса «КРУГ-2000».

ПТК «КРУГ-2000» включает пакет программ «КРУГ-2000», любой сертифицированный контроллер (например, Р-130, ТК-301 и др.) и последнюю разработку фирмы «ТРЕИ GBH» — промышленный контроллер «ТРЕИ-5В».

Хорошие метрологические, надежностные, эксплуатационные и временные характеристики контроллеров серии «ТРЕИ-5В» обеспечили то, что большинство ПТК серии «КРУГ-2000» выпускается в составе: контроллеры «ТРЕИ-5В» + пакет программ «КРУГ-2000».

Комплекс «КРУГ-2000» предназначен для создания современных АСУТП на объектах со сосредоточенными и распределенными параметрами. На базе ПТК созданы системы, охватывающие уровни управления агрегатом, группами агрегатов, технологической установкой, цехом, производством и объединением.

**Особенности ПТК «КРУГ-2000»** следующие:

— Все программные и технические компоненты сертифицированы Госстандартом РФ.

— Соответствие стандартам России, МЭК и другим действующим нормативным документам, в частности принятым для АСУТП.

— Открытость системы при наращивании и внесении изменений.

— Поддержка 100%-го «горячего» резервирования станций оператора, контроллеров, сетей.

— Поддержка международных стандартов сетевых протоколов.

— Ремонтпригодность и эффективное сопровождение на объектах России.

**Информационные функции:** измерение и контроль параметров; обнаружение, сигнализация и регистрация случаев отклонений параметров от установленных границ; ручной ввод данных; формирование и выдача оперативных данных; архивирование; анализ срабатывания блокировок и защит; решение расчетных задач.

**Управляющие функции:** непосредственное цифровое регулирование процессов с использованием всех известных законов автоматического регулирования; реализация схем регулирования формированием их из библиотеки алгоблоков с использованием технологического языка Кругол; выдача задающих сигналов регуляторам со станции оператора и дискретных управляющих воздействий на контроллер с клавиатуры ЭВМ.

Система обеспечивает контроль прохождения команд с клавиатуры на монитор и контроллер.

**Вспомогательные функции:** тестирование и самодиагностика КТС, перенастройка системы (реконфигурация ПО), подробная экранная помощь оператору, поддержка единого системного времени.

**Техническая структура ПТК** включает:

— контроллеры — УСО;

— средства организации ЛВС и межсетевого взаимодействия; АРМ — станцию оператора;

— АРМ — станцию лаборатории (СЛ);

— АРМ службы АСУТП — станцию инжиниринга (СИ);

— сервер БД, предназначенный для ведения БД РВ и БД проекта;

- сервер приложений, выполняющий сложные расчетные задачи;
- архивный сервер — станцию архивирования (СА);
- коммуникационный сервер, обеспечивающий связь с контроллерами, УСО, датчиками различных фирм-производителей, с другими системами с помощью модемов;
- систему бесперебойного питания; сервисные средства для эксплуатации, поверки, контроля работы, наладки и обслуживания и др.

Все компоненты объединяются в «прозрачную» ЛВС, при этом в конкретной системе могут быть представлены только некоторые из компонентов. В ПТК предусмотрено использование ЛВС, выделенных физической и телефонной линий, коммутируемой телефонной линии, радиоканала.

Локальная сеть АСУ базируется на сетевой (10 или 100 Мбит/с) Ethernet-технологии (витая пара или оптоволокно). В качестве базового протокола сетевого (и межсетевого) взаимодействия использован протокол TCP/IP или UDP/IP. При этом предусмотрена программная «надстройка» протокола с обеспечением его адаптации к специальным требованиям, предъявляемым СРВ при обмене данными, предусмотрена возможность 100%-го «горячего» резервирования сетей.

### **Программное обеспечение**

*Системное ПО.* В составе ПТК используются следующие ОС:

- DOS, 32-разрядное расширение (защитный режим) с встроенным диспетчером задач РВ (сетевая версия) — применяются в контроллере, станциях оператора, СИ, СА, СЛ;
- QNX или DOS — применяется в контроллере;
- Windows NT — применяется во всей системе, кроме контроллера.

Возможно одновременное использование во всей системе нескольких ОС. Конкретный выбор ОС осуществляется с учетом быстродействия, надежности, стоимостных и других характеристик.

*Фирменное ПО* — пакет программ «КРУГ-2000». В состав этого пакета программ входят следующие программные средства из набора типового SCADA-пакета:

- СРВ контроллера, станции оператора, СЛ, СИ и СА — обеспечивают выполнение всех функций системы в режиме РВ (исполняемые модули);
- генератор БД — предназначен для конфигурации и настройки БД;

— графический редактор — обеспечивает изображение статических элементов схем: линии, круга, эллипса, прямоугольника, спецсимволов, текста и др.;

— редактор динамики — используется для отображения динамически изменяющихся элементов мнемосхем;

— генератор печатных документов — предназначен для печати отчетных документов в произвольной форме;

— технологический (пользовательский) язык — обеспечивает реализацию задач пользователя в РМВ;

— верификатор БД — используется для проверки БД на противоречивость после генерации системы и правильности внесения изменений.

ПТК и его компоненты сертифицированы.

## 17.1. СВЕКЛОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Свеклоперерабатывающее отделение является одним из основных на свеклосахарном заводе. В диффузионной установке извлекают сахар, содержащийся в свекле. Полученный диффузионный сок на последующих отделениях подвергают очистке и обработке в целях получения товарного сахара-песка. Параметры качества полученного диффузионного сока, его технологические свойства, а также потери сахара в жоме (обессахаренной стружке) во многом определяют дальнейший ход процесса и показатели работы завода.

В свеклоперерабатывающем отделении, наряду с основным оборудованием — диффузионными аппаратами разных конструкций, размещены свеклорезки, аппараты для подготовки, подогрева и подачи массы, сборник диффузионного сока, транспортеры и пр. На современных свеклосахарных заводах наибольшее распространение получили наклонные и колонные диффузионные аппараты.

Рассмотрим работу диффузионного отделения, оснащенного наклонными диффузионными аппаратами А1-ЦДС-20, и систему управления им (рис. 17.3).

Наклонный диффузионный аппарат представляет собой корытообразный корпус, внутри которого смонтированы транспортирующие стружку шнеки. Корпус снабжен жомовыгрузочным устройством и системой обогрева. Размеры аппарата (в м) зависят от расчетной производительности: длина —  $22 \div 35$ , высота —  $7 \div 10$ , ширина —  $5 \div 8$ .

Систему управления свеклоперерабатывающим отделением можно реализовать с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю *в* (см. рис. 15.3).

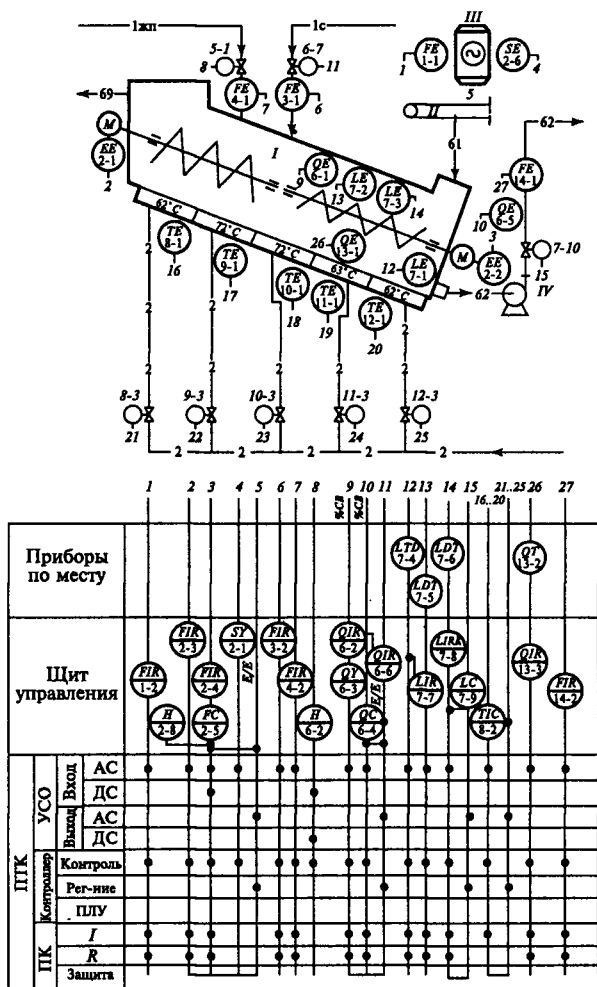


Рис. 17.3. Схема системы управления свеклоперерабатывающим отделением

АСУТП свеклоперерабатывающего отделения представляет собой РСУ малого масштаба, включающую подсистемы сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

Объект управления включает: наклонный диффузионный аппарат (1); транспортер (2); свеклорезку (3); асинхронный электродвигатель (4).

Основные компоненты системы: контроллеры TREI-5B; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе

ЭВМ (Pentium I) в промышленном исполнении и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet со 100%-м резервированием; станцию архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисководами (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ «КРУГ-2000»; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 17.3.): общее число входных и выходных сигналов 27/27, т. е. 54, контролируемых аналоговых входов/выходов (расход, величина рН и другие) — 18, контролируемых дискретных (с учетом состояния запорной арматуры) — 9; дискретных управляющих — 4; контуров регулирования — 9; запорной арматуры — 9; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование — 13), из них аналоговых параметров — 18, входных дискретных — 4, выходных дискретных — 4. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 + 80$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при наличии до 200 динамических элементов в кадре —  $0,15 + 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 + 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Время наработки на отказ контроллера — 75 000 ч (в дублированном исполнении — 150 000 ч).

Контроллеры TREI-5B обеспечивают ввод, обработку и вывод всех сигналов объекта управления.

Информационная мощность серии контроллеров TREI-5B составляет  $30 + 30\,000$  входов/выходов. Использовано аналоговых входов/выходов — 18/18; дискретных входов/выходов — 9/9. Имеется достаточный резерв.

Измельченная в виде стружки свекла подается транспортером II в головную часть аппарата I, экстрагирующая жидкость (жомпресовая и сульфитированная вода) — в хвостовую часть аппарата. Стружка, заполняющая все внутреннее пространство аппарата, перемещается от головной его части к хвостовой двумя парами шнеков, вращающихся независимо один от другого. В процессе транс-



портирования свекловичная стружка обессахаривается, превращаясь в жом, а вода, движущаяся в противотоке со стружкой, обогащается сахаром и превращается в диффузионный сок. Жом выгружается из аппарата ленточными шнеками. Вода, полученная при отжиме жома, очищается и возвращается в диффузионный аппарат в целях снижения потерь сахара. Сульфитированная вода подается в аппарат после обработки в сульфитаторе сернистым газом до придания ей слабокислой реакции ( $pH$  около 6). Полученный диффузионный сок отделяется от стружки на лобовом сите и откачивается насосом IV на дальнейшую переработку. Для улучшения диффузии сахара из стружки в раствор аппарат снабжен секционной паровой рубашкой.

Эффективность работы диффузионного отделения определяется его производительностью, содержанием сахара в диффузионном соке и потерями сахара в жоме. На экстракцию сахара влияют многие факторы: температурные режимы по зонам аппарата, качество свекловичной стружки, время диффундирования,  $pH$  среды в аппарате, соотношение расходов стружки и воды и др.

При проектировании системы управления диффузионным отделением учитывают свойства объекта управления (диффузионного аппарата), определяющие специфику построения отдельных контуров регулирования. Диффузионный аппарат является объектом с распределенными параметрами, так как температурные режимы сокоотружечной смеси и содержание в ней сахара неодинаковы по зонам аппарата. Объект управления обладает значительными инерционными свойствами как по каналу стабилизации температурного режима сокоотружечной смеси, так и по каналу регулирования концентрации диффузионного сока.

С учетом свойств объекта управления типовая система управления предусматривает: стабилизацию удельной нагрузки аппарата; стабилизацию концентрации диффузионного сока; стабилизацию температурных режимов по зонам диффузионного аппарата; измерение расходов стружки, экстрагирующих жидкостей диффузионного сока; стабилизацию уровня в головной части аппарата; измерение  $pH$  сокоотружечной смеси.

Удельная нагрузка на диффузионный аппарат равна массе стружки, приходящейся на единицу объема корпуса, и определяет производительность отделения. Удельную нагрузку оценивают по величине тока, потребляемого электродвигателями приводов транспортирующих шнеков, и регулируют изменением производительности свеклорезки III. Время чистого запаздывания по этому каналу регулирования достигает 20 мин, а постоянная времени составляет 30 мин, поэтому АСР построена по двухконтурной схеме с использованием основной информации — от привода хвостовых шнеков и дополнительной — от привода головных шнеков.

Нагрузка электродвигателей шнеков измеряется с помощью калиброванных шунтов (2-1) и (2-2) с выходом на АЦП (ADAM-5017), далее сигнал поступает на отображение (монитор) и регистрацию (АЦПУ) ПТК (2-3) и (2-4) и на контроллер. В зависимости от изменения нагрузки регулирующий канал контроллера TREI-5B (2-5) вырабатывает управляющий выходной сигнал на ЦАП (ADAM-5024) для управления приводом свеклорезки. Частота вращения измеряется тахогенератором (2-6), выходной сигнал которого через делитель напряжения (2-7) и АЦП (ADAM-5017) поступает на вход регулирующего канала контроллера TREI-5B. Номинальная частота вращения устанавливается с клавиатуры персонального компьютера Pentium I (2-8).

Стабилизация концентрации диффузионного сока осуществляется изменением расхода воды, подаваемой в диффузионный аппарат. С учетом инерционных свойств объекта управления САР построена по двухконтурной схеме. На регулирующий канал контроллера TREI-5B (6-4) поступает сигнал о величине и скорости изменения концентрации сахара в сокоотружечной смеси в средней зоне диффузионного аппарата. Содержание сухих веществ в сокоотружечной смеси и диффузионном соке, определяющее концентрацию сахара, измеряют комплектами рефрактометров (6-1) и (6-5), и их выходные сигналы поступают на АЦП (ADAM-5017) и телемониторы (6-2) и (6-6) ПТК и АРМы технолога и химика-аналитика. Контроллер с логико-программным каналом управления TREI-5B (6-4) предназначен для введения в сигнал пропорциональных составляющих по содержанию сухих веществ в сокоотружечной смеси, согласно входной информации о их содержании с телемониторов (6-2) и (6-6), которая характеризует скорости изменения контролируемого параметра. Содержание сухих веществ в диффузионном соке регистрируется АЦПУ (6-7) ПТК, АРМ технолога и лаборатории.

Автоматическое регулирование температуры сокоотружечной смеси в наклонном диффузионном аппарате с учетом его инерционных свойств проводят по пяти зонам. Контур САР построен на базе идентичных средств управления. Датчиками температуры служат термосопротивления ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модуль (ADAM-5013) (8-1) ÷ (12-1). Сигналы этих датчиков поступают на регулирующие каналы контроллера TREI-5B, реализующего ПИ-закон регулирования (8-2) ÷ (12-2). Далее управляющие сигналы посредством ЦАП (ADAM-5024) преобразуются и поступают на клапаны (8-3) ÷ (12-3), установленные на линии расхода пара, подаваемого к каждой из секций аппарата.

Необходимая продолжительность контакта стружки с соком достигается путем автоматической стабилизации уровня в голов-

ной части аппарата, который измеряется пьезометрическим методом, заключающимся в измерении перепада давления воздуха, продуваемого через трубки, опущенные в контролируемую среду. Сигнал от дифманометра (7-6), характеризующий уровень сока, поступает на АЦП (ADAM-5017), на АЦПУ и монитор ПТК (7-8) и регулирующий канал контроллера TREI-5B (7-9). Далее управляющий сигнал, характеризующий изменение расхода откачиваемого диффузионного сока, поступает на ЦАП (ADAM-5024) и далее — на регулирующий клапан (7-10). Системой управления предусмотрен контроль перепада уровней сокостружечной смеси по длине аппарата и на любом сите. Уровень по длине аппарата измеряется датчиками (7-1) и (7-2) так же, как и уровень в головной части аппарата пьезометрическим методом.

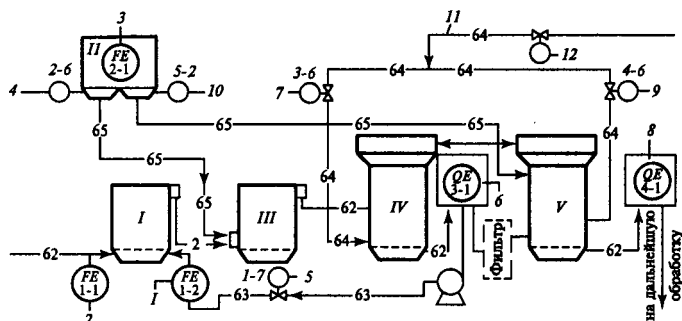
Перепады давления измеряются дифманометрами (7-4) и (7-5), выходные сигналы которых поступают на ЦАП (ADAM-5024) и далее отображаются на мониторах и регистрируются на АЦПУ (7-7) ПТК и АРМ технолога.

Схемой управления предусмотрен контроль расходов экстрагирующих жидкостей и диффузионного сока индукционными расходомерами, в комплект которых входят датчики (3-1, 4-1, 14-1), АЦП (ADAM-5017) с выходом на печатающее устройство АЦПУ и монитор (3-2, 4-2, 14-2) ПТК и АРМ технолога. Расход свекловичной стружки измеряется ленточными весами с встроенным в них дифференциально-трансформаторным датчиком (1-1) и АЦП (ADAM-5017), функционирующим в комплекте с монитором и печатающим устройством АЦПУ (1-2) ПТК и АРМ технолога. Измерение рН сокостружечной смеси осуществляется измерительным комплектом, состоящим из чувствительного элемента (13-1), высокоомного преобразователя (13-2), АЦП (ADAM-5017) с выходом на печатающее устройство АЦПУ и монитор (13-3) ПТК, АРМ технолога и лаборатории.

## 17.2. ОТДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКОСАТУРАЦИИ

Очистка диффузионного сока от органических примесей на свеклосахарных заводах осуществляется в отделении дефекосатурации, позволяющей за счет последовательного воздействия реагентов провести эффективное отделение осадка от сахарного сиропа. Технологический процесс этого отделения включает операции предварительной defeкации, основной defeкации, I и II сатурации (см. рис. 17.4).

В предdefекаторе I — цилиндрической емкости с мешалкой — проводится смешивание диффузионного сока с соком I сатурации, содержащим большое количество растворенной извести



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Приборы по месту				FT 2-2		pH 3-2		pH 4-2					PT 6-1
Щит управления		FIR 1-4	FIR 1-3	FIR 2-3	H 2-3	FFC 2-4	HC 1-6	QR 3-4	QY 3-3	QY 4-3	QC 4-5	HC 6-1	PИД 6-2
ПТК	УСО	Вход	АС										
		Выход	ДС										
	Контролер	Контроль											
		Рег-ние											
ПК	ПЛУ												
	I												
	R												
Защита													

Рис. 17.4. Схема системы управления отделением дефекации

и частиц карбоната кальция. В полученной таким образом суспензии органические примеси выпадают в осадок в виде крупных рыхлых хлопьев. На дальнейшую обработку сок подается самотеком через переливной патрубок, регулирующий уровень в преддефекаторе.

В основном дефекаторе III за счет дополнительной обработки диффузионного сока раствором извести — известковым молоком — уничтожаются микроорганизмы и выпадают в осадок анионы органических кислот. Дефекатор конструктивно подобен преддефекатору, но смесь сока и известкового молока поступает в него по одному патрубку. Нейтрализация извести дефекованно-

го сока осуществляется в два этапа сатурационным газом, содержащим около 30%  $\text{CO}_2$ . В аппарате IV сатурации I большая часть извести превращается в карбонат кальция, адсорбирующий органические примеси. В этом аппарате отделяют осадок от сока, который направляется в аппарат II сатурации V (для окончательного удаления извести из раствора). Аппарат I сатурации IV представляет собой цилиндрический корпус с коническим днищем и расширенной верхней частью, в которой собирается большое количество пены. Сатурационный газ подводится в нижнюю часть аппарата, проходит слой сока и выбрасывается в атмосферу. В верхнюю зону аппарата сатурации II (аналогичной конструкции) подают фильтрованный сок сатурации I и незначительное количество известкового молока для улучшения качества осадка после сатурации II.

Эффективность работы отделения дефекосатурации оценивают по ее производительности, полноте удаления примесей, количеству извести и сатурационного газа, израсходованных на процесс очистки. Перечисленные параметры могут меняться в значительных пределах и в основном зависят от химического состава диффузионного сока, поступающего на обработку, его температуры, плотности известкового молока и состава сатурационного сока.

Станция дефекосатурации как объект управления имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при проектировании системы управления: все аппараты станции обладают распределенностью параметров, обуславливающих интенсивность протекания в них химических реакций; высокая скорость химических реакций определяет жесткие требования к временным показателям переходных процессов в САР; объект управления подвергается большому числу возмущающих воздействий, которые не удастся нейтрализовать; имеют место изменения состава диффузионного сока, изменение плотности известкового молока и содержания  $\text{CO}_2$  в сатурационном газе. Качество проведения предварительной и основной дефекаций характеризуется содержанием извести в суспензии, выходящей из аппаратов. Из-за отсутствия средств экспресс-анализа этого параметра в промышленных условиях управление дефекацией осуществляют поддержанием соотношений входных потоков для каждого аппарата.

При стабилизации температуры диффузионного сока, поступающего на очистку, схема управления отделения дефекосатурации (см. рис. 17.4) обеспечивает: стабилизацию соотношения расходов сока и известкового молока, подаваемых в аппарат основной дефекации; стабилизацию соотношения расходов диффузионного и рециркуляционного соков сатурации I, подаваемых в преддефекатор; стабилизацию значений  $pH$  сока сатураций I и II.

Система управления отделением сокоочистки может быть реализована с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю *в* (см. рис. 15.3).

АСУТП отделения дефекосатурации представляет собой РСУ малого масштаба, включающую подсистемы сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

Объект управления включает: преддефекатор (1), аппарат (2) сатурации V, дефекатор 3, аппарат (1) сатурации IV.

**Основные компоненты системы:** контроллеры TREI-5B; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I в промышленном исполнении) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet со 100%-м резервированием; станцию архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ «КРУГ-2000»; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 17.4): общее число входных и выходных сигналов 12/12, т. е. 24. Из них контролируемых аналоговых (расход, величина  $pH$  и давление) — 6; контролируемых дискретных (с учетом состояния запорной арматуры) — 6; дискретных управляющих — 1; контуров регулирования — 5; запорной арматуры — 5; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) из них: аналоговых параметров — 6, входных дискретных — 1, выходных дискретных — 6. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

## Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 80$  мс, при передаче на пульты оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при наличии до 200 динамических элементов в кадре —  $0,15 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Время наработки на отказ контроллера — 75 000 ч, в дублированном исполнении — 150 000 ч.

Контроллеры TREI-5B обеспечивают ввод, обработку и вывод всех сигналов объекта управления. Использовано: аналоговых входов/выходов — 6/6; дискретных входов/выходов — 6/6.

Информационная мощность серии контроллеров TREI-5B обеспечивает —  $30 \div 30000$  входов/выходов.

Автоматическое регулирование соотношения расходов «диффузионный сок — сок сатурации I» осуществляют путем воздействия на расход рециркуляционного сока. Расход продуктов, поступающих в преддефекатор, измеряется электромагнитными расходомерами с помощью датчиков (1-1) и (1-2), их сигналы преобразуются в АЦП (ADAM-5017), которые установлены на соответствующих магистралях. Нормированные сигналы датчиков поступают на АЦПУ (1-3) и монитор (1-4), которые регистрируют измеряемые параметры, далее сигналы подаются на ПТК и АРМ технолога и регулирующий канал контроллера TREI-5B (1-5), который формирует управляющее воздействие (по соотношению) посредством ЦАП (ADAM-5024), далее сигнал поступает на клапан, установленный на линии подачи сока сатурации I (1-7). Задания вводятся с пульта ПТК и АРМ технолога (1-6). Стабилизацию соотношения расходов «диффузионный сок — известковое молоко» поддерживают, воздействуя на подачу известкового молока в аппарат основной дефекации. Специфические свойства раствора извести (колебания плотности) и осаждение из суспензии твердых частиц обуславливают установку на магистрали подачи известкового молока дозатора II специальной разработки. Она представляет собой щелевой расходомер с двумя клапанами, через которые раствор извести подается в аппараты основной дефекации и сатурации II. Напоромер (2-1), измеряющий уровень в напорной камере щелевого расходомера, формирует сигнал, пропорциональный текущему расходу известкового молока, подаваемого в дефекатор. Этот сигнал поступает на АЦП (ADAM-5017) и на ПТК, монитор и АЦПУ (2-3) для отображения и далее на регулирующий канал контроллера TREI-5B (2-4), который сравнивает сигналы, пропорциональные текущим значениям расходов диффузионного сока и известкового молока (1-3) и (2-3), и формирует управляющий сигнал в зависимости от возникающего рассогласования. Численные значения соотношения можно менять с ПТК и АРМ технолога, а расход известкового молока — посредством ЦАП (ADAM-5024) и регулирующего клапана (2-6) дозатора.

Стабилизацию  $pH$  сока сатураций I и II проводят двумя контурами регулирования, построенными на использовании идентичных средств управления. В аппараты IV и V установлены погружные датчики величины  $pH$  (3-1) и (4-1) в комплекте с высокоомными преобразователями (3-2) и (4-2). Нормированные сигналы посту-

пают на усилители-преобразователи (3-3) и (4-3) и АЦП (ADAM-5017), далее — на ПТК и АРМы технолога и лаборатории, а также на монитор и АЦПУ (3-4) и (4-4) и на регулирующие каналы контроллера TREI-5B, выполняющие ПИ-закон регулирования (3-5) и (4-5). Сформированные регулирующие воздействия направляются на ЦАП (ADAM-5024) и заслонки, которые смонтированы на трубопроводе подачи сатурационного газа (3-6) и (4-6).

К отфильтрованному соку сатурации I перед аппаратом сатурации II добавляют незначительное количество известкового молока. Система управления предусматривает возможность управления клапаном (5-2), установленным на дозаторе, с пульта ПТК и АРМ технолога.

Предусмотрены контроль и стабилизация давления в магистрали сатурационного газа, сигнализация падения давления в магистрали. Комплект средств управления включает дифманометр (6-1) с дифференциально-трансформаторным выходом, сигнал которого поступает на АЦП (ADAM-5017), далее — на монитор и АЦПУ, на ПТК и АРМ технолога и регулирующий канал контроллера TREI-5B (6-2), а управляющий сигнал подается на ЦАП (ADAM-5024) и на электропневмопреобразователь (6-3), далее — на пневматический исполнительный механизм (заслонку) для сброса сатурационного газа в атмосферу.

### 17.3. ОТДЕЛЕНИЕ ВЫПАРИВАНИЯ

Выпарная станция (ВС) занимает важное место в общей технологической и тепловой схемах сахарного завода. Кроме своего основного назначения — выпаривания поступающего сока до заданного содержания сухих веществ при определенной производительности сахарного завода — она обеспечивает вторичными соковыми парами теплообменную аппаратуру завода, снабжает котельную конденсатом для питания паровых котлов, а завод — аммиачной водой для технологических нужд.

Для выпаривания сока на сахарных заводах применяют многокорпусные выпарные установки, позволяющие последовательно многократно использовать пар, поступающий в первый корпус. На ВС сок концентрируется с 15—16% до 65—70% сухих веществ (плотность 1,32 г/см<sup>3</sup>) и превращается в сироп, который подвергается дальнейшей обработке в вакуум-аппаратах.

При функционировании ВС сок направляется в первый корпус и последовательно переходит из корпуса в корпус. Свежий пар поступает только в первый корпус. Второй корпус обогревается соковым паром первого корпуса, а третий — соковым паром второго и т. д. Для многократного использования греющего пара, поступающего в



первый корпус, в последующих корпусах температура снижается благодаря последовательно убывающему остаточному давлению в надсоковых пространствах аппаратов. Так как процесс выпаривания непрерывен, а количество поступающего сока и отбор сокового пара из выпарных аппаратов изменяются во времени, то поддержание оптимального режима работы ВС возможно только при автоматическом управлении процессом выпаривания. Оптимальным считается режим, обеспечивающий заданную производительность ВС при стабилизации уровня сока в корпусах выпарных аппаратов, что гарантирует наилучшие условия теплообмена и бесперебойное снабжение потребителей соковым паром необходимого потенциала.

Систему управления ВС реализуют с помощью АСУТП (режим НЦУ) по модулю *в* (см. рис. 15.3).

АСУТП отделения выпаривания представляет собой РСУ среднего масштаба, включающую подсистемы сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

Объект управления включает: пятикорпусную выпарную станцию (1, 2, 3, 4, 5-й выпарные аппараты), сборник 6, подогреватель 7 и два асинхронных электродвигателя.

Основные компоненты системы: контроллеры TREI-5B; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I в промышленном исполнении) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet со 100%-м резервированием; станцию архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ «КРУГ-2000»; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 17.5): общее число входных и выходных сигналов 29/29, т. е. 58. Из них контролируемых аналоговых (температуры, уровня, расхода, давления, плотности) — 23; контролируемых дискретных (с учетом состояния запорной арматуры) — 16; дискретных управляющих — 2; контуров регулирования — 10; запорной арматуры — 10; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 35 из них: аналоговых параметров — 23, входных дискретных — 6, выходных дискретных — 6. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях

аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \pm 80$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при наличии до 200 динамических элементов в кадре —  $0,15 \pm 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \pm 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска: системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Время наработки на отказ контроллера 75 000 ч (в дублированном исполнении — 150 000 ч).

Контроллеры TREI-5B обеспечивают ввод, обработку и вывод всех сигналов объекта управления.

Информационная мощность серии контроллеров TREI-5B обеспечивает  $30 \div 30000$  входов/выходов. Использовано: аналоговых входов/выходов — 23/23; дискретных входов/выходов — 6/6. Имеем достаточный резерв.

В качестве примера рассмотрим систему управления пятикорпусной ВС с повышенным температурным режимом (рис. 17.5).

Работа этой ВС отличается рядом преимуществ: меньшей чувствительностью к изменению расхода и концентрации сока, поступающего на выпаривание; меньшим временем пребывания сока в зоне высоких температур вследствие переноса отборов пара из первых корпусов в последние, что при прочих равных условиях уменьшает разложение сахара и нарастание цветности сока при выпаривании; меньшей продолжительностью варки утфеля в вакуум-аппаратах за счет повышения температуры греющего пара.

Сок температурой  $86^\circ\text{C}$  нагревается в группе подогревателей VII и при достижении температуры  $126^\circ\text{C}$  поступает в корпус I выпарной станции. Туда же подается ретурный пар давлением 0,29 МПа и температурой  $136^\circ\text{C}$ .

Система управления обеспечивает: стабилизацию давления сокового пара корпусов I и II ВС; стабилизацию разрежения в корпусе V; стабилизацию уровней сока по выпарным аппаратам; подачу аммиачной воды в сборник сока перед ВС при падении уровня в корпусе I; измерение температуры по корпусам I—V ВС; контроль давления пара и перепада давления между паровой камерой и надсоковым пространством в корпусе I; измерение плотности сиропа, откачиваемого на дальнейшую переработку; контроль расхода сока, поступающего в переработку, и сиропа, откачиваемого из ВС. Давление сокового пара корпуса I стабилизируется по жесткой программе. По мере отложения накипи на поверхности нагрева выпарного аппарата заданное значение давления периодически повышают в целях сохранения требуемой производительности ВС. Контур стабилизации давления включа-

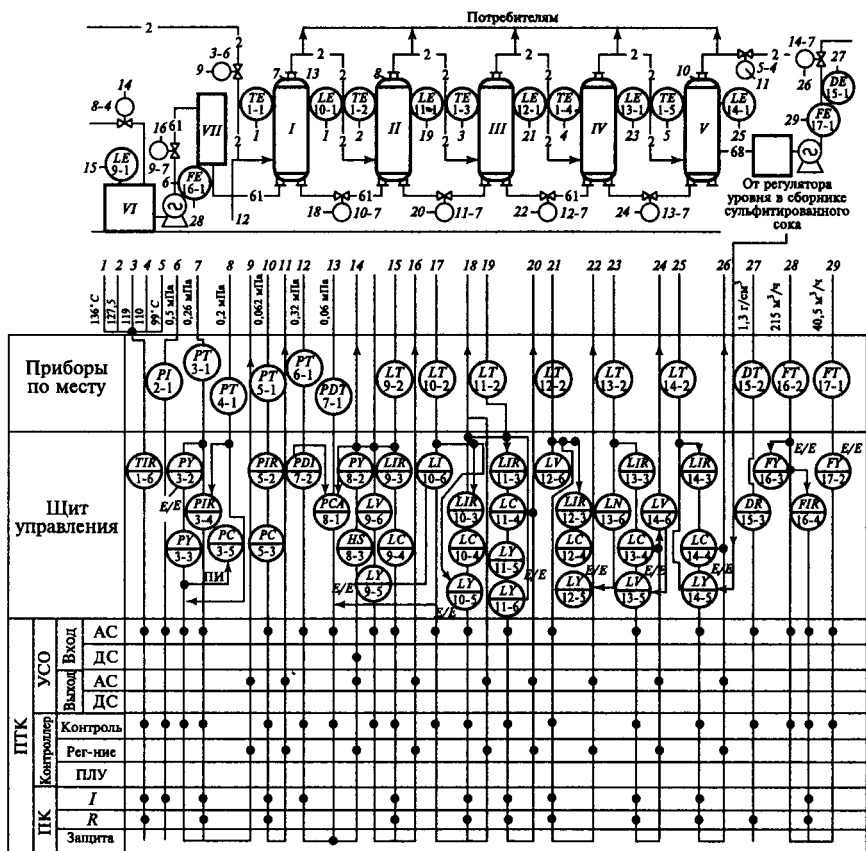


Рис. 17.5. Схема системы управления отделением выпаривания

ет: пневматический преобразователь давления (3-1), нормированные усилители-преобразователи (3-2), (3-3) и АЦП (ADAM-5017), которые осуществляют умножение сигнала на постоянный коэффициент и селектирование большего сигнала (этот сигнал, поступает и от преобразователя (4-1), установленного на корпусе II, далее сигналы подаются на монитор и АЦПУ пульта ПТК (3-4) и на регулирующий канал контроллера TREI-5B (3-5), выполняющий ПИ-закон регулирования с выходом на ЦАП (ADAM-5024) и клапан (3-6). Давление поддерживается за счет регулирования поступления ретурного пара в паровую камеру корпуса I выпарной станции. В контуре предусмотрено также ручное дистанционное управление регулирующим клапаном (3-6) с пульта ПТК и АРМ технолога.

Разряжение в корпусе V поддерживается измерительным преобразователем разности давления (5-1) и АЦП (ADAM-5017), сигнал которого поступает на монитор и АЦПУ (5-2) пульта ПТК, а также на регулирующий канал контроллера TREI-5B (5-3) с выходом на ЦАП (модуль ADAM-5024) и регулирующий клапан (5-4), установленный на линии подачи пара.

При стабилизации уровней в выпарных аппаратах обеспечиваются наилучшие условия для теплопередачи, что повышает производительность ВС. Работа узла регулирования уровней осуществляется по принципу продольной стабилизации. Возникающие в любой зоне системы возмущения последовательно передаются на корпус I выпарной станции. Если количество сока, поступающего в выпарную станцию, недостаточно для восстановления минимально допустимых уровней в аппаратах, системой управления предусмотрена подача аммиачной воды в сборник сока VI перед ВС. Любой контур регулирования реализован с использованием комплекта буйкового уровнемера (13-1), пневматического позиционера (13-6), нормированного усилителя для селектирования меньшего сигнала (13-5). Сигнал с преобразователя (13-2) поступает на АЦП (ADAM-5017), далее — на монитор и АЦПУ (13-3) и на регулирующий канал контроллера TREI-5B (3-4) с выходом на ЦАП (модуль ADAM-5024) и регулирующий клапан 13-7 (обозначения элементов контура приведены для САР уровня в корпусе IV ВС).

Аммиачную воду в сборник сока перед ВС подают при оголении поверхности обогрева выпарных аппаратов. Параметром, который наиболее точно фиксирует начало предварительного режима, является разность давлений между греющим и соковым парами первого выпарного аппарата. При оголении поверхности нагрева теплопередача от пара к кипящей жидкости резко уменьшается, давление греющего пара возрастает, а сокового — падает, что приводит к увеличению перепада давления. Росту перепада давления соответствует увеличение нагрузки аппарата, что и служит сигналом для включения подачи воды в соковую камеру аппарата.

В рассмотренном узле при снижении уровня сока в сборнике до минимального значения сигнал от датчика (9-1) замыкает контакт нормированного преобразователя-усилителя (8-2). Если при этом уровень в корпусе I нормальный (сигнал от датчика 10-1), никаких изменений в цепи управления не произойдет. При минимальном значении уровня в корпусе I замыкается еще один контакт преобразователя (8-2). Для контроля давления ретурного пара предусмотрен пневматический преобразователь давления (6-1), сигнал от которого поступает на АЦП (ADAM-5017H), на

монитор и АЦПУ (7-2). Перепад давления измеряется преобразователем (7-1) с выходом на АЦП (ADAM-5017), печатающее устройство АЦПУ и монитор ПТК (7-2). При росте перепада давления в корпусе I замыкается третий контакт преобразователя (8-2), что служит сигналом для включения подачи воды. В схему подачи воды входят: сигнализатор мембранный (8-1), АЦП (ADAM-5017); регулирующий канал контроллера TREI-5B с выходом на ЦАП (ADAM-5024) и регулирующий клапан (8-4), а также пульт ПТК и АРМ технолога для выбора режима управления (8-3).

Контроль температуры в корпусах ВС осуществляется посредством монитора и АЦПУ с выходом на ПТК и АРМ технолога, на которые поступают сигналы от термосопротивлений ТСМ и АЦП (ADAM-5017H) или непосредственно от модуля (ADAM-5013), установленных на каждом выпарном аппарате. Плотность сиропа, выходящего из ВС, является одним из параметров, позволяющих охарактеризовать ее работу. Измерение плотности осуществляется радиоизотопным плотномером (15-1) и АЦП (ADAM-5017H) (15-2), работающем в комплекте с АЦПУ (15-3) на пульте ПТК и АРМ технолога.

Контроль расхода сока, поступающего на переработку, и сиропа после ВС осуществляется индукционными расходомерами. Датчики (16-1 и 17-1) установлены на производственных коммуникациях с выходом на АЦП (ADAM-5017H) (16-3) и (17-2) и на АЦПУ и монитор (16-4) пульта ПТК и АРМ технолога.

## **АСУТП сахарорафинадного производства**

Сахарорафинадное производство является высокомеханизированным и характеризуется высокой интенсивностью процессов, наличием параллельных линий материальных потоков и значительным числом единиц технологического оборудования. Производство по характеру протекающих процессов разбито на ряд отделений, имеющих тесные технологические связи по материальным, информационным и энергетическим потокам. Между отделениями предусмотрены промежуточные и накопительные емкости. Структурная схема АСУ сахарорафинадного завода представлена на рис. 17.6.

Склад бестарного хранения оснащен поточно-транспортными механизмами, подающими сырье из железнодорожных вагонов в производственные бункера и помещения склада. В роспуском отделении размещены клеровочные аппараты и сборники промыв. Полученный в отделении сироп должен иметь определенные температуру и концентрацию сухих веществ. Отделение очистки

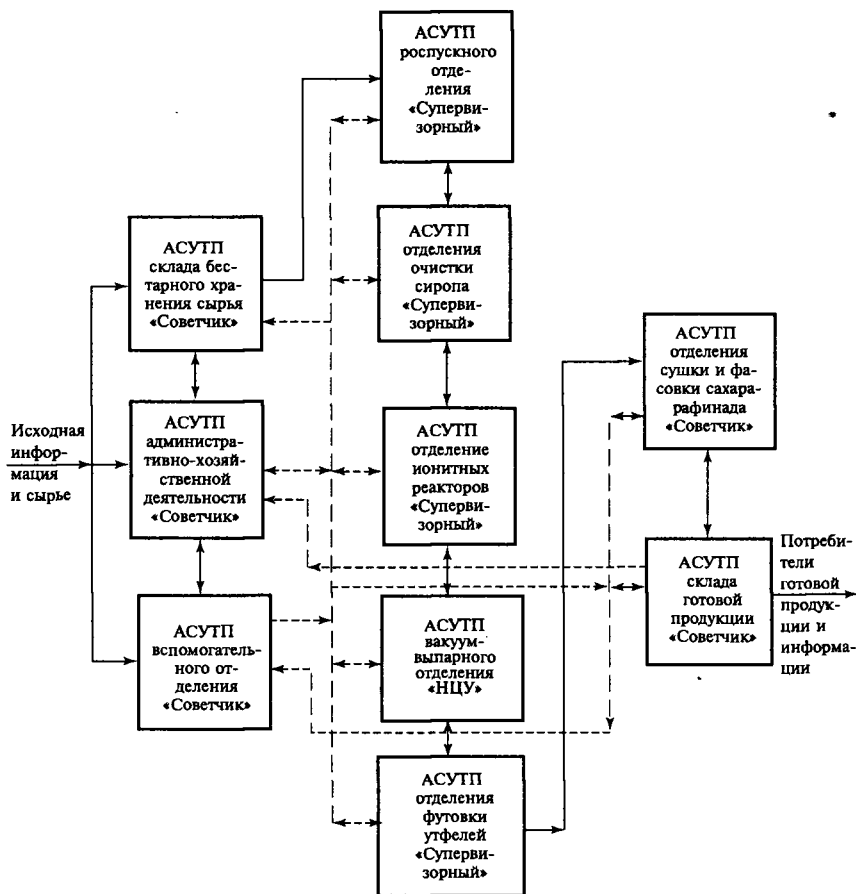


Рис. 17.6. Структура АСУ сахарорафинадным производством

сиропа оснащено гравиевыми и патронными фильтрами, сборниками сиропа до и после фильтров. Отделение ионитных реакторов включает сборник перед ионитными реакторами, собственно ионитные реакторы и сборники промыв после них. О качестве работы отделения судят по количеству отфильтрованного сока и его цветности.

Вакуум-выпарное отделение оснащено вакуум-аппаратами и сборниками перед ними, уфелемешалками и уфелераспределителями. Концентрация сухих веществ в уваренном сиропе (уфеле) является одним из наиболее важных количественных показателей работы отделения. Отделение центрифугирования, включающее центрифуги непрерывного действия, через тракт подачи

рафинадной каши связано с отделением прессования и фасовки. В состав последнего входят пресс-сушильные агрегаты, производительность которых определяется расходом рафинадной каши и частотой вращения ротора установки. Любое сахарорафинадное производство имеет склад готовой продукции, оснащенный поточно-транспортными механизмами для транспортировки пакетов и коробов.

Производство сахара-рафинада — непрерывно-дискретное, так как в состав оборудования производственных отделений входят аппараты с периодической организацией обработки: вакуум-аппараты, утфелемешалки и центрифуги продуктовых утфелей. Производственной продукцией сахарорафинадных заводов является быстрорастворимый прессованный сахар-рафинад, прессованный колотый сахар, сахар-рафинад в мелкой упаковке, жидкий сахар и патока.

Для двух основных видов сахарорафинадного производства, использующих в качестве сырья тростниковый сахар-сырец и промышленный сахар-песок, разработаны достаточно полные проекты комплексных систем локальной автоматизации процессов и аппаратов, головные образцы которых внедрены и эксплуатируются на сахарорафинадных заводах. Специфичность сред, их агрессивность, наличие механических включений создают сложности в измерении ряда параметров процесса и определяют объемные трудности при управлении этими заводами.

Технологические отделения и подразделения сахарорафинадного производства, как правило, состоят из ряда взаимосвязанных технологических аппаратов, агрегатов и установок, где протекает технологический процесс производства сахара-рафинада и подготовка вспомогательных материалов, энергоносителей, теплосетей и других материалов (на схеме обозначены сплошными линиями).

Автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями осуществляется сменными технологами с использованием автоматизированного рабочего места под руководством главного технолога и администрации завода (обозначены пунктирными линиями).

При этом в первую очередь оснащаются микропроцессорными средствами наиболее подготовленные отделения и подразделения в плане изученности и достаточности информации этих объектов для управления, а затем, развивая АСУ сахарорафинадного завода, подключаются новые подразделения.

Структура управления и оснащение техническими микропроцессорными средствами АСУ сахарорафинадного завода большой и средней мощности представлены на рис. 17.6. По верти-

кали АСУ можно реализовать в виде трех иерархических уровней. Для сахарорафинадных заводов малой мощности можно применять и двухуровневую иерархическую структуру управления.

Реализация функций АСУП двухуровневого типа и порядок оснащения техническими микропроцессорными средствами управления идентичны трехуровневому типу АСУ свеклосахарного завода. Реализацию задач управления этим производством можно осуществлять с помощью систем управления НПФ «КРУГ» (г. Пенза), фирмы «Прософт» (Россия) и др.

#### 17.4. РОСПУСКНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Роспускное отделение предназначено для получения сиропа с содержанием сухих веществ 65—67% при температуре 82—85° С и равномерной его подаче в последующие отделения (см. рис. 17.6) на обработку. Согласно системе управления роспускного отделения (рис. 17.7), сахарный песок из бункера II ленточным транспортером I подается в клеровочные котлы III, которые представляют собой цилиндрические вертикальные емкости диаметром 2,5 м с лопастной мешалкой и открытым паровым обогревом. Для получения сиропа в котлы подают горячую воду, промой роспускного отделения, побочные продукты отделений фильтрации и вакуум-выпарного отделения. Схема управления обеспечивает регулирование расхода сахара-песка, подаваемого в отделение, температуры в клеровочных котлах, плотности сиропа, уровня в клеровочных котлах, контроль расходов промыв, подаваемых на роспуск сахара-песка, сигнализацию предельных значений уровня в бункере сахара-песка.

Система управления роспускным отделением может быть реализована с помощью АСУТП (супервизорный режим по модулю *в* (см. рис. 15.3).

АСУТП роспускного отделения представляет собой РСУ малого масштаба, включающую подсистемы сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** транспортер 1, бункер сахарного песка 2, клеровочные котлы 3, сборник промыв 4, сборник сиропа 5.

**Основные компоненты системы:** контроллеры Р-130 с интеллектуальным шлюзом со 100%-м резервированием; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые



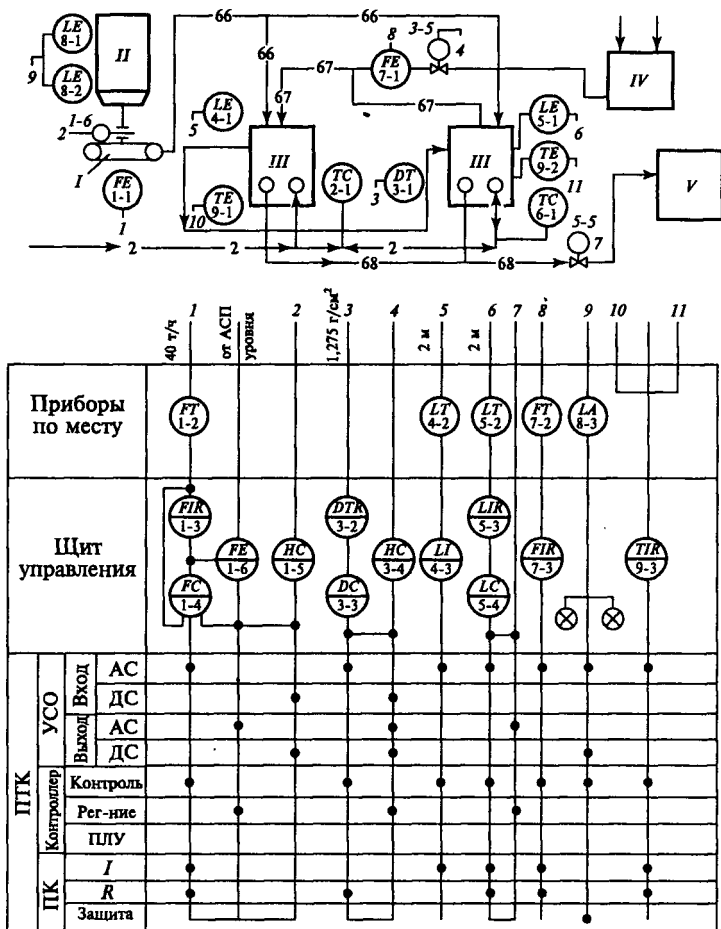


Рис. 17.7. Схема системы управления роспуском отделением

средства — 10 Мбит со 100%-м резервированием; станцию архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ «КРУГ-2000»; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. схему 17.7): общее число входных и выходных сигналов 11/11, т. е. 22. Из них контролируемых аналоговых (расход, плотность, уровень и температура) — 9; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 9; дискретных управляющих — 1; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 3; противоаварийных защит и

блокировок (100%-е резервирование) — 13, из них аналоговых параметров — 9, входной диск — 1, выходных дискретных — 3. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

## Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 80$  мс, при передаче на пульты оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементов в кадре —  $0,15 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Время наработки на отказ контроллера — 50 000 ч (в дублированном исполнении — 100 000 ч).

Информационная мощность серии контроллеров Р-130 составляет  $32 \div 1024$  входов/выходов. Использовано: аналоговых входов/выходов — 9/9; дискретных входов/выходов — 2/2.

Расход сахара-песка в роспускном отделении регулируют с коррекцией по уровню сиропа в сборнике V перед фильтрами. Сигнал, пропорциональный текущему значению расхода сахара-песка, поступает с датчика тензовесов (1-1), установленного на ленточном транспортере I, далее — на АЦП (ADAM-4012). На пульте ПТК размещены базовая ЭВМ с телемонитором и АЦПУ (1-3), логико-программный контроллер Р-130 (1-4), сигнал задания которому формирует устройство алгебраического суммирования (1-2). На это устройство поступает корректирующий сигнал из САР уровня в сборнике V перед фильтрами. Выходной сигнал контроллера посредством пульта управления (1-5) и ЦАП (ADAM-4021) воздействует на шибер (1-6), установленный под производственным бункером II. Системой управления предусмотрена блокировка — отсечка подачи сахара-песка при следующих отклонениях от нормального хода процесса: остановке транспортера, превышении уровня в клеровочных котлах, снижении уровня в сборнике промоек IV с помощью пульта ПТК и АРМ технолога.

Стабилизация температуры в клеровочных котлах осуществляется изменением подачи пара в барботеры котлов. В качестве регулирующих устройств применяют логико-программный контроллер Р-130 (2-1) и (6-1).

Стабилизация плотности сиропа обеспечивается изменением подачи сиропа в клеровочные котлы промоек. В САР входят изотопный плотномер (3-1) и АЦП (ADAM-4012), телемонитор и АЦПУ (3-2), регулирующий контроллер Р-130 (3-3) с выходом посредством ЦАП (ADAM-4031) и панели (3-4) на регулирующий клапан (3-5), установленный на трубопроводе подачи промоек к клеровочным котлам.

Уровень в клеровочных котлах регулируют изменением откачки сиропа на дальнейшую обработку. Уровень измеряется пьезометрическим методом. Сигнал от датчика (5-1) поступает на нормирующий преобразователь и АЦП (ADAM-4012) (5-2) и далее — на ПТК, где отображается на телемониторе, регистрируется на АЦПУ (5-3) и поступает на логико-программный контроллер Р-130. Управляющий сигнал поступает на ЦАП (ADAM-4021) и подается на регулирующий клапан (5-5), установленный на трубопроводе откачки сиропа клеровки. В первом клеровочном котле, снабженным переливным устройством, предусмотрен контроль уровня пьезометрическим методом с помощью датчика (4-1), нормирующего преобразователя и АЦП (ADAM-4012) (4-2) с выходом на телемонитор (4-3) или АЦПУ панели ПТК. Сигнализация предельных уровней в бункере II осуществляется с помощью емкостного уровнемера, датчиков (8-1) и (8-2), АЦП (ADAM-4012) с выходом на сигнализацию на пульт ПТК и АРМ технолога.

Расход промоек регулируется индукционным расходомером (7-1) с выходом на нормирующий преобразователь (7-2), АЦП (ADAM-4012) и далее на телемонитор и АЦПУ (7-3) пульта ПТК и АРМ технолога. Температурные режимы в клеровочных котлах измеряются комплектом терморезисторных датчиков ТСМ и АЦП (ADAM-4012) или с помощью модулей ADAM-4013 (9-1) и (9-2) с выходом на пульт ПТК и АРМ технолога для отображения на мониторе и регистрации на АЦПУ (9-3).

## 17.5. ОТДЕЛЕНИЕ ОЧИСТКИ СИРОПА

Приготовленный в клеровочных котлах сироп содержит сравнительно много примесей, которые необходимо отделить, не допуская их попадания в технологический поток.

В технологической схеме отделения очистки (рис. 17.8) сироп, прошедший механическую очистку, центробежным насосом перекачивается в сборник I, который размещен на высоте 26 м для создания гидростатического давления и обеспечения определенной скорости первой стадии фильтрации на гравиевых фильтрах II. Вторая стадия фильтрации осуществляется на патронном

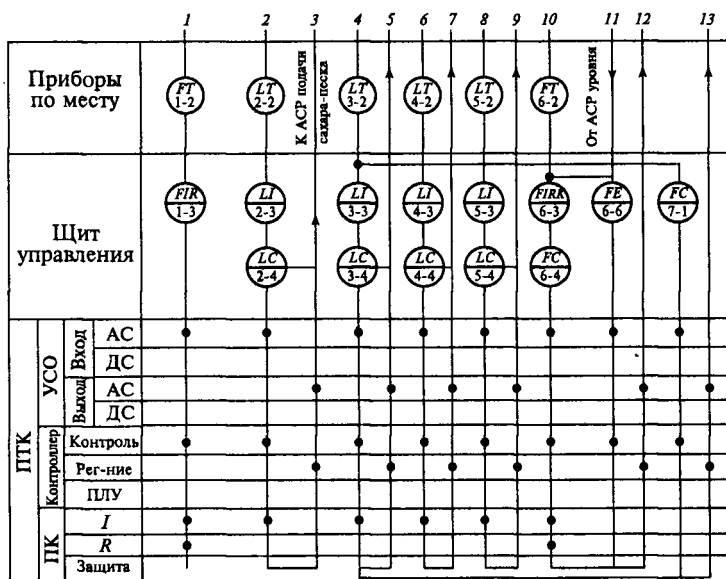
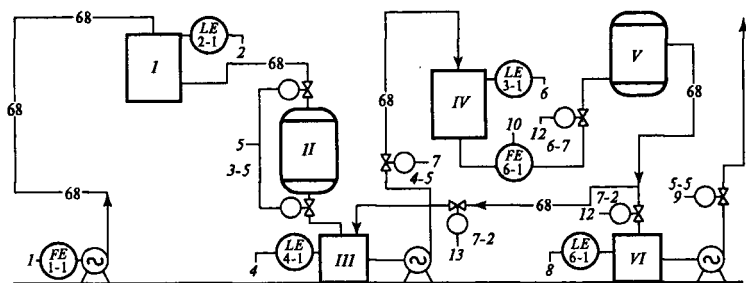


Рис. 17.8. Схема системы управления отделением очистки сиропа

фильтре V и предназначена для отделения от сиропа мелких примесей. На патронные фильтры сироп поступает самотеком из сборника IV, находящегося на высоте 22 м. Для согласования производительности гравиевых и патронных фильтров между ними предусмотрен дополнительный сборник сиропа III.

Систему управления отделением очистки сиропа реализуют с помощью АСУТП, действующей в супервизорном режиме по модулю в (см. рис. 15.3).

АСУТП отделения очистки сиропа представляет собой РСУ малого масштаба, включающую подсистемы сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

Объект управления включает: сборник сиропа 1, гравиевые фильтры 2, сборник сиропа 3, сборник сиропа 4, патронный фильтр 5, сборник сиропа 6.

**Основные компоненты системы:** контроллеры ТК-301 со 100%-м резервированием; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит, Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станцию архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисководами (640 Мбайт); сервер БД, принтеры; пакеты программ «КРУГ-2000»; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 17.8): общее число входных и выходных сигналов — 13/13, т. е. 26. Из них контролируемых аналоговых (расход и уровень) — 8; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 8; дискретных управляющих — 3; контуров регулирования — 5; запорной арматуры — 5; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 18, из них: аналоговых параметров — 8, входных дискретных — 3, выходных дискретных — 7. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера — 20 + 80 мс, при передаче на пульты оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре — 0,15 + 1,0 с; цикл смены кадров — 0,2 + 1,5 с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Время наработки на отказ контроллера — 50 000 ч (в дублированном исполнении — 100 000 ч).

Информационная мощность серии контроллеров ТК-301 составляет — 20 + 20000 входов/выходов. Использовано: аналоговых входов/выходов — 8/8; дискретных входов/выходов — 3/7.

Система управления отделением очистки сиропа обеспечивает: контроль расхода сиропа, подаваемого на станцию очистки; стабилизацию уровня во всех емкостях технологического потока; регулирование расхода сиропа на патронных фильтрах.

Контроль расхода сиропа, подаваемого в отделение фильтрования, осуществляется индукционным расходомером (1-1) с выходом на нормирующий преобразователь (1-2) и АЦП (ADAM-4012), сигнал которого поступает на ПТК и АРМ технолога для отображения на телемониторе и регистрации на АЦПУ (1-3). Контроль уровня во всех емкостях отделения осуществляется пьезометрическим методом. Комплект средств управления аналогичен описанному и входящему в САР уровня в клеровочных котлах (поз. 5) (см. рис. 17.7). Управляющее воздействие с контроллера ТК-301 уровня в сборнике сиропа перед гравиевыми фильтрами (2-4) используется в качестве корректирующего сигнала для системы регулирования подачи сахара-песка в роспускное отделение.

Управляющее воздействие с контроллера ТК-301 уровня в сборнике перед патронным фильтром (3-4) поступает на ЦАП (ADAM-4021) и клапаны, установленные на трубопроводе подачи сиропа на гравиевый фильтр II (один клапан — перед фильтром и один — после него). Уровни в сборниках после фильтров регулируются аналогичными техническими средствами (4 и 5). Воздействия с контроллеров подаются на клапаны, установленные на трубопроводах откачки сиропа.

Расход сиропа, подаваемого на патронный фильтр V, регулируется изменением положения заслонки на трубопроводе подачи сиропа. Метод и средства контроля расхода аналогичны комплекту (1), но в САР использован пульт управления ПТК и АРМ технолога (6-3). Сигнал задания контроллеру формируется задатчиком алгебраического суммирования (6-6) и клавиатурой, на которые в качестве корректирующего воздействия подается сигнал из САР уровня в сборнике VI перед ионитными реакторами.

При нормальном значении уровня в сборнике выходной сигнал алгебраического суммирования (6-6) не изменяется, а при повышении уровня изменяется на величину коррекции. Откорректированное задание поступает на контроллер с пульта управления ПТК и АРМ технолога (6-3). Такое построение контура регулирования позволяет реализовать его работу как в автоматическом режиме, так и в режиме дистанционного управления. Для обеспечения постоянного прохождения сиропа через патронные фильтры, что является непременным условием их работы, предусмотрен аварийный режим работы фильтров на рециркулирующем сиропе. Включение этого режима (срабатывание клапанов рециркуляции) происходит при снижении уровня в сборнике сиропа перед патронными фильтрами с использованием логико-программного контроллера ТК-301 (7-1) с выходом на ЦАП (ADAM-4021) и клапан (7-2).

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Состав и структура АСУТП свеклосахарного и сахарорафинадного производств.
2. Структура микропроцессорных средств управления этими производствами.
3. Система управления свеклоперерабатывающим отделением.
4. Система управления отделением дефекосатурации.
5. Система управления отделением выпаривания.
6. Система управления роспускным отделением.
7. Система управления отделением очистки сиропа.
8. Что собой представляет свеклосахарное производство?
9. Чем определяется эффективность функционирования АСУ?
10. Кто отвечает за автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями свеклосахарного завода?
11. Поясните связи между основными элементами структуры АСУ свеклосахарного завода.
12. Кто осуществляет автоматизированное управление технологическими отделениями и подразделениями свеклосахарного завода?
13. Какие функции АСУП осуществляются на первом уровне управления? На втором уровне управления? На третьем уровне управления?
14. Перечислите особенность ПТК «КРУГ-2000», определите его предназначение.
15. Что входит в программное обеспечение ПТК «КРУГ-2000»?
16. Перечислите основные характеристики динамики работы АСУТП свеклоперерабатывающего отделения.
17. Что предусматривает типовая схема управления дефекосатурации?
18. Что предусматривает схема управления отделением выпаривания?
19. Особенности структуры АСУ сахарорафинадным производством.

## Глава 18. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНДИТЕРСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Кондитерская промышленность включает крупные высокомеханизированные предприятия, отвечающие по своей технической оснащенности и поточности производства требованиям автоматизации. Особенностью процессов такого производства, определяющей актуальность и экономическую эффективность их автоматизации, является наличие большого числа различных физико-химических, физических, биохимических, тепловых и др. методов воздействия на сырье, полуфабрикаты и готовую продукцию, требующих особой четкости ведения процессов и оптимального режима управления. Технологические процессы приготовления кондитерских изделий определяются: многостадийностью и значительной сложностью; нестационарностью по ассортименту и качеству перерабатываемого сырья; многообразием и нестабильностью режимов на разных стадиях технологического процесса производства.

Кондитерские изделия можно разделить на две большие группы: мучные и сахарные. К числу наиболее крупных технологических производств приготовления мучных кондитерских изделий относится производство печенья, крекера, галет, пряников, вафель, кексов, рулетов, пирожных и тортов; сахарных — производство карамели, конфет, шоколада, какао-порошка, ириса, халвы, мармелада, пастилы и пр. При всем многообразии производства процессы в каждой из этих групп имеют много общего, например в последовательности проведения операций, в аппаратурном оформлении и т. д. Процессы приготовления как мучных, так и сахарных изделий включают набор типовых процессов, из которых формируются производства.

Производство мучных кондитерских изделий состоит из следующих основных стадий: приема, хранения и выдачи в производство муки и других видов сырья, замеса теста, его штамповки, выпечки, охлаждения и упаковки готовой продукции. Типичным примером может служить производство печенья.

Первым по ходу процессом в этом производстве является подготовка сырья. Для приготовления печенья используют пшеничную муку высшего, I и II сортов. Перед подачей в производство отдельные партии муки смешивают в разных соотношениях для обеспечения оптимального качества. Одновременно в муку вводят предусмотренное рецептурами требуемое количество крах-



мала, соевой и кукурузной муки. Муку, сахар и другое сыпучее сырье просеивают для удаления случайных примесей и помещают в магнитное поле для удаления металлопримесей. Жиры, молоко цельное, сгущенное или сухое восстановленное пропускают через сита. Фруктовое сырье (подварки, пюре) протирают на протирачной машине. Основными задачами управления этим отделением является контроль и учет количества сырья, хранящегося на складах и направляемого в производство, а также управление транспортными операциями.

Следующим по ходу процессом является приготовление теста. Тесто для кондитерских изделий представляет собой сложную по составу биосистему, в которую обычно, наряду с мукой и водой, входят сахар, жир, яйцепродукты, молоко и т. д. В качестве разрыхлителя используют, в основном, не дрожжи, а соду или карбонат аммония, которые способны выделять газообразные продукты, разрыхляющие тесто. Основной задачей управления на этой стадии является обеспечение приготовления теста заданной рецептуры.

После замеса теста проводят его формование, для чего используют штамп-машины ударного действия либо ротационные формующие машины. После формования тесто поступает на выпечку. Выпечка сопровождается сложными физико-химическими процессами, происходящими при воздействии высокой температуры в пекарной камере, в результате этого из тестовых заготовок получается готовый продукт. От правильного проведения выпечки в значительной степени зависит качество готовых изделий. Главной задачей управления на этой стадии является автоматическое регулирование основных параметров процесса выпечки.

Заключительными стадиями в рассматриваемом производстве являются охлаждение и упаковка готовой продукции. Таким образом, производство мучных кондитерских изделий имеет преимущественно последовательную структуру, в которой продукты, вырабатываемые на предыдущей стадии, поступают для переработки на последующую стадию. Реализацию задач управления этими производствами можно осуществлять с помощью систем управления ПО «Химпром» ПТК «Каскад», фирмы «Прософт» (Россия) и др.

Реализацию управления производством кондитерских изделий можно осуществить с использованием ПТК «Каскад» в комплексе со SCADA-системой Трейс Моуд.

ПТК «Каскад» предназначен для построения и функционирования АСУТП на основе микропроцессорной техники отечественного и зарубежного производства, АРМ (рабочие станции), в качестве которых применяют IBM-совместимые ПЭВМ как обычного, так и промышленного исполнения.

АСУТП имеют следующую иерархическую структуру:

- датчики и исполнительные механизмы объекта управления;
- микропроцессорные контроллеры (или их сети);
- автономные АРМ (рабочие станции) или рабочие станции, объединенные в сеть.

Микроконтроллеры, с одной стороны, связаны с датчиками и ИМ объекта управления, которые в зависимости от типа ПЛК могут быть объединены в сети, а с другой — по интерфейсным каналам ПЛК связаны с АРМ (рабочими станциями). Функционально ПЛК осуществляют сбор технологической информации от датчиков и выполняют все функции по оперативному управлению ТП как на основе внутренних алгоритмов управления, так и команд, поступающих с уровня АРМ (рабочих станций).

В составе ПТК «Каскад» могут применяться следующие типы ПЛК: Ремиконт Р-130 (Р-130, РК-131); Контраст (РК-131/300, КР-300, КР-300И, КР-310); ADAM (ADAM-4000,-5000).

Комплекс ПТК «Каскад», дополненный SCADA-системой Трейс Моуд, предназначен для формирования современных АСУТП на объектах с сосредоточенными и распределенными параметрами. На базе ПТК создаются системы, реализующие уровни управления агрегатом, группами агрегатов, технологической установкой, цехом и предприятием.

Все контроллеры ПТК «Каскад» построены по модульной технологии, соответствующей концепции «минимального риска» пользователя. Основные технические решения ориентированы на достижение высокого качества продукции. Все программные и технические компоненты комплекса удовлетворяют Госстандарту РФ, МЭК и другим действующим нормативным документам, в частности принятым для АСУТП. Обеспечена открытость системы при наращивании и внесении изменений, а также поддержка 100%-го «горячего» резервирования контроллеров, рабочих станций, сетей. Гарантирована поддержка международных стандартов сетевых протоколов. Обеспечивается ремонтпригодность и эффективное сопровождение на объектах управления.

Гарантируется высокая надежность управления, обеспеченная:

- надежностью аппаратуры и хранения программ и данных;
- малым временем рестарта контроллера при сбоях, отсутствии питания и других причинах;
- надежностью обработки и передачи данных за фиксированное время;
- работой в «жестком» режиме РВ;
- исключением посторонних воздействий на объект управления.

Комплекс обладает широкими функциональными возможностями: интегрированием всех функций автоматизации: контроля,

регулирования, логического управления, защиты и блокировки, пуска и останова оборудования, учета материальных и энергетических потоков, оптимизация процессов, имеет высокую производительность контроллеров и систем автоматизации на их базе.

Программирование контроллеров осуществляется с помощью двух технологических языков согласно стандарту МЭК 1131.1: языка функциональных блок-схем ФАБЛ (регулирование, логическое управление, шаговые программы); языка «Структурированный текст» ПРОТЕКСТ (задачи пусков и останова, произвольные вычислительные задачи).

Система предусматривает использование фирменного ПО, реализующего все функции контроллера в режиме РВ, которое является резидентным и поставляется вместе с контроллером.

Используются и фирменные ОС РВ (например, Windows NT, OS-9), оптимизированные по составу для управления вычислительными процессами контроллера. Система действует по принципу отложенных прерываний с фиксированными приоритетами, время обработки прерываний — 10 мкс, цикл обработки отложенных прерываний — 1 мс.

Хранение всех системных и пользовательских программ, конфигурации, настроек, коэффициентов и другой постоянной и условно-постоянной информации осуществляется только во флэш-ПЗУ процессора, а оперативных данных — в ОЗУ с питанием от батареек. Этим обеспечивается высокая помехозащищенность базы данных.

### **Техническая структура ПТК**

- Контроллеры — УСО;
- средства организации ЛВС и межсетевое взаимодействие;
- АРМ — станция оператора-технолога;
- АРМ — станция лаборатории (СЛ);
- АРМ — службы АСУТП — инжиниринг (СИ);
- сервер БД; предназначенный для ведения БД РВ;
- сервер приложений, решающий сложные расчетные задачи;
- архивный сервер — станция архивирования (СА);
- коммуникационный сервер, обеспечивающий связь с контроллерами, УСО, датчиками различных фирм-производителей с другими системами с помощью модемов;
- система бесперебойного питания; сервисные средства для эксплуатации, проверки, контроля работы, наладки и обслуживания и др.

Все компоненты комплекса объединяются в «прозрачную» ЛВС, при этом в конкретной системе могут быть представлены

только некоторые из компонентов. В ПТК предусмотрено использование ЛВС, выделенных физической и телефонной линиями, коммутируемой телефонной линии, радиоканала.

### 18.1. АСУТП ПРОИЗВОДСТВА ЗАТЯЖНЫХ СОРТОВ ПЕЧЕНЬЯ

Одной из основных операций производства затяжных сортов печенья является процесс приготовления теста (рис. 18.1). Основными задачами управления, вытекающими из места и роли этого процесса в производстве печенья, является обеспечение заданного состава теста и его приготовления в количестве, определяемом потребностями производства.

Система управления процессом приготовления теста может быть реализована с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю в (см. рис. 15.3).

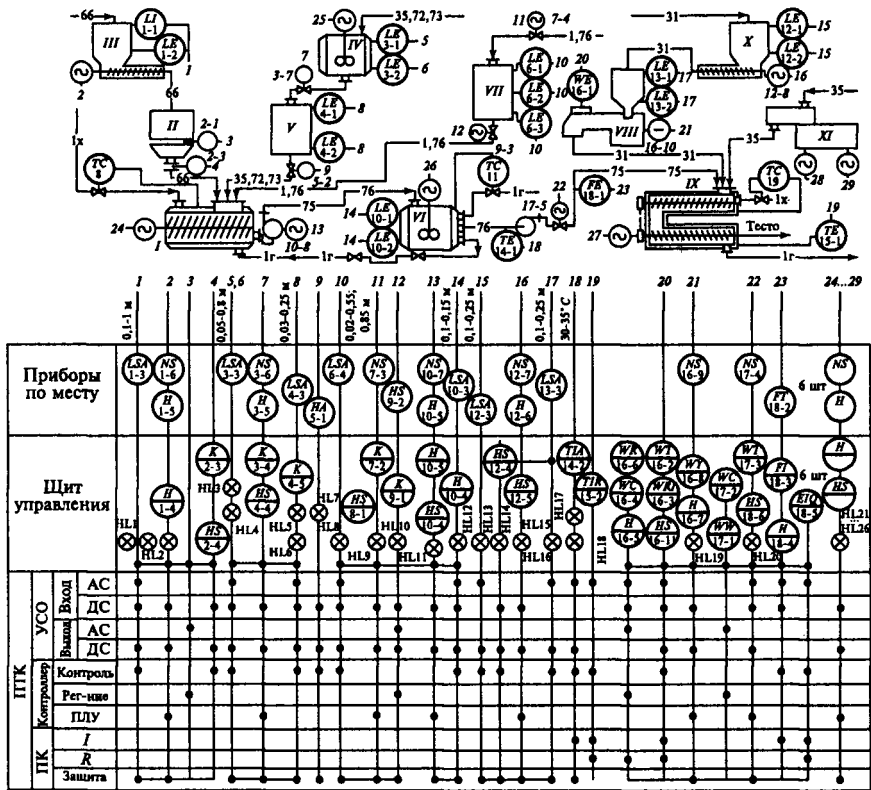


Рис. 18.1. Схема системы управления процессом приготовления теста для затяжных сортов печенья

АСУТП отделения приготовления теста для затяжных сортов печеня представляет собой РСУ среднего масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

*Объект управления* включает: эмульсатор 1, автовесы 2, бункер сахара 3, сборник инвертного сиропа 4, мерник инвертного сиропа 5, сборник эмульсии 6, мерник меланжа 7, транспортер дозатора муки 8, тестомесильную машину 9, бункер муки 10, пластификатор 11.

**Основные компоненты системы:** контроллеры КР-300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 18.1): общее число входных и выходных сигналов 29/29, т. е. 58. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, масса, расход) — 17; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 15; дискретных управляющих — 12; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 3; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 67, из них аналоговых параметров — 17; входных дискретных — 12; выходных дискретных — 38. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера — 20 + 100 мс, при передаче на пульты оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре — 0,2 + 1,0 с; цикл смены кадров — 0,2 + 1,5 с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера аналоговых/дискретных входов/выходов 190/304, контуров регулирования — 32. Ис-

пользовано: аналоговых входов/выходов — 17/17; дискретных входов/выходов — 12/38; контуров регулирования — 3.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Основными компонентами теста для приготовления затяжных сортов печенья являются: сахар-песок, инвертный сироп, жир, молоко, меланж и мука. Сахар-песок поступает в бункер III, где установлены датчики верхнего (1-1) и нижнего (1-2) уровней, сигналы которых подаются посредством АЦП (ADAM-5017H) на операторский пульт ПТК и АРМ технолога. Сигнализация верхнего и нижнего уровней сахара-песка в бункере осуществляется с помощью соответствующих табло HL1 и HL2, расположенных на пульте ПТК и АРМ технолога. Как только сахар-песок достигает верхнего предельного уровня, оператор (технолог) кнопкой управления (1-4) или (1-5) включает шнек подачи сахара-песка на автовесы II. После достижения определенной дозы сахара-песка исполнительный механизм (2-3) открывает задвижку на выходе бункера автовесов и отмеренная порция сахара-песка пересылается в эмульсатор I посредством пульта ПТК и АРМ технолога.

Затем следует дозирование инвертного сиропа, который поступает из бака IV в мерник V. В баке IV установлены датчики верхнего (3-1) и нижнего (3-2) уровней, сигналы которых посредством АЦП (ADAM-5017H) поступают на операторский пульт ПТК и АРМ технолога. При достижении инвертным сиропом верхнего уровня (4-1) посредством ЦАП (ADAM-5024) начинает работать исполнительный механизм (3-7), который закрывает клапан подачи инвертного сиропа в эмульсатор. Жир и молоко дозируются последовательно аналогичными схемами.

Следующий этап — дозирование воды и меланжа в мерник VII. Схемой управления предусмотрен контроль верхнего (6-1, 6-2) и нижнего (6-3) уровней воды и меланжа с соответствующей сигнализацией на операторском пульте ПТК и АРМ технолога. Поступившие в эмульсатор компоненты перемешиваются специальными лопастями с помощью электродвигателя 24. Стабилизация температуры массы в эмульсаторе (30—35 °С) осуществляется с помощью логико-программного канала контроллера КР-300 (8), который управляет притоком воды в рубашку эмульсатора.

Емкостные сигнализаторы верхнего и нижнего уровней в бункерах сахара-песка, инвертного сиропа, жира и молока выполняют функции автоматического дозирования и контроля запасов данных компонентов. Дозирование компонентов осуществляется в строгой последовательности от сахара-песка до меланжа посредством пульта ПТК и АРМ технолога.

Готовая эмульсия перекачивается шестеренным насосом 13 в сборник VI, который для поддержания температуры эмульсии (30—35 °С) также снабжен водяной рубашкой. Стабилизацию температуры эмульсии в сборнике обеспечивает логико-программный канал контроллера КР-300 (11). Уровень эмульсии в сборнике контролируется системой, аналогичной системе управления в мернике V.

Замес теста происходит в тестомесильной машине IX при определенном соотношении муки, поступающей из бункера X, эмульсии и жира, подаваемого из пластификатора XI. Задатчиком (16-5) оператор устанавливает необходимый расход муки. Сигнал от электронно-механического преобразователя (16-1) поступает на вход нормирующего усилителя (16-2) и АЦП (ADAM-5017H) и далее — на регулирующий канал КР-300 (16-4) через индикатор-интегратор (16-3). Сформированный на выходе контроллера сигнал разбаланса поступает на промежуточный преобразователь ЦАП (ADAM-5024) (16-8) и далее — на электропривод вибратора (16-10), который управляет подачей муки на транспортер дозатора VIII. Производительность дозатора контролируется индикатором-интегратором, соединенным с монитором (16-3). На пультах ПТК и АРМ технолога регистрируются величины тока в обмотке управления вибратором и регулирующего воздействия с помощью АЦПУ (16-6).

Сигнал от КР-300 расхода муки (16-4) поступает и на вход аналого-множительного устройства (17-1), которое управляет соотношением «мука — эмульсия». Сигнал о расходе эмульсии от электромагнитного расходомера (18-1) посредством нормирующего преобразователя (18-2) и АЦП (ADAM-5017H) поступает на регулирующий канал КР-300 (17-2). В контроллере этот сигнал, характеризующий текущий расход эмульсии, сравнивается с сигналом аналого-множительного устройства (17-1). Если эти сигналы не равны, то сформированный на выходе сигнал рассогласования усиливается в нормирующем усилителе (17-3) и поступает на ЦАП (ADAM-5024) и исполнительный механизм (17-5), который регулирует подачу эмульсии до тех пор, пока сигнал рассогласования не станет равным нулю. Контроль расхода эмульсии осуществляется сумматором (18-5) с выходом на регистрацию на АЦПУ пультов ПТК и АРМ технолога.

В схеме управления замесом теста предусмотрено отдельное автоматическое управление дозированием муки и эмульсии, а ручное управление дозаторами осуществляется оператором с пультов ПТК и АРМ технолога с использованием ключей (16-7), (16-11) и (18-6). Раздельное автоматическое дозирование эмульсии обеспечивается оператором с помощью задатчика (18-4) посредством клавиатуры с ПТК и АРМ технолога.

## 18.2. АСУТП ПОТОЧНО-МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАТЯЖНЫХ СОРТОВ ПЕЧЕНЬЯ

Наряду с задачами, связанными с операциями подготовки сырья к производству и замеса теста, в процессе приготовления затяжных сортов печенья (рис. 18.2) решаются и другие основные задачи: автоматическое дистанционное управление поточной линией в сблокированном режиме; автоматическое регулирование температуры по зонам пекарной камеры; автоматическое зажигание газовых горелок; обеспечение безопасности при использовании газового топлива; автоматическая отбраковка и подача печенья в кассеты заверточной машины.

Систему управления поточно-механизированной линии производства затяжного печенья можно реализовать с помощью АСУТП (режим НЦУ) по модулю *в* согласно схеме, представленной на рис. 15.3.

АСУТП производства затяжных сортов печенья представляет собой РСУ среднего масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

*Объект управления* включает: воронки 1, ламинатор 2, калибровочные вальцы 3, штамп ударного действия 4, трехсекционную печь 5, компрессорную станцию 6, робототехнический комплекс «Артур» 7, заверточную машину 8.

Основные компоненты системы: контроллеры КР-300 со 100%-м резервированием в количестве трех; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 18.2): общее число входных и выходных сигналов — 125/125, т. е. 250. Из них контролируемых аналоговых (давление, температура, расход) — 34; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 98, дискретных управляющих — 13; контуров регулирования — 15; запорной арматуры — 15; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) из них: аналоговых параметров — 34; входных дискретных — 98; выходных дискретных — 112. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.



## Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

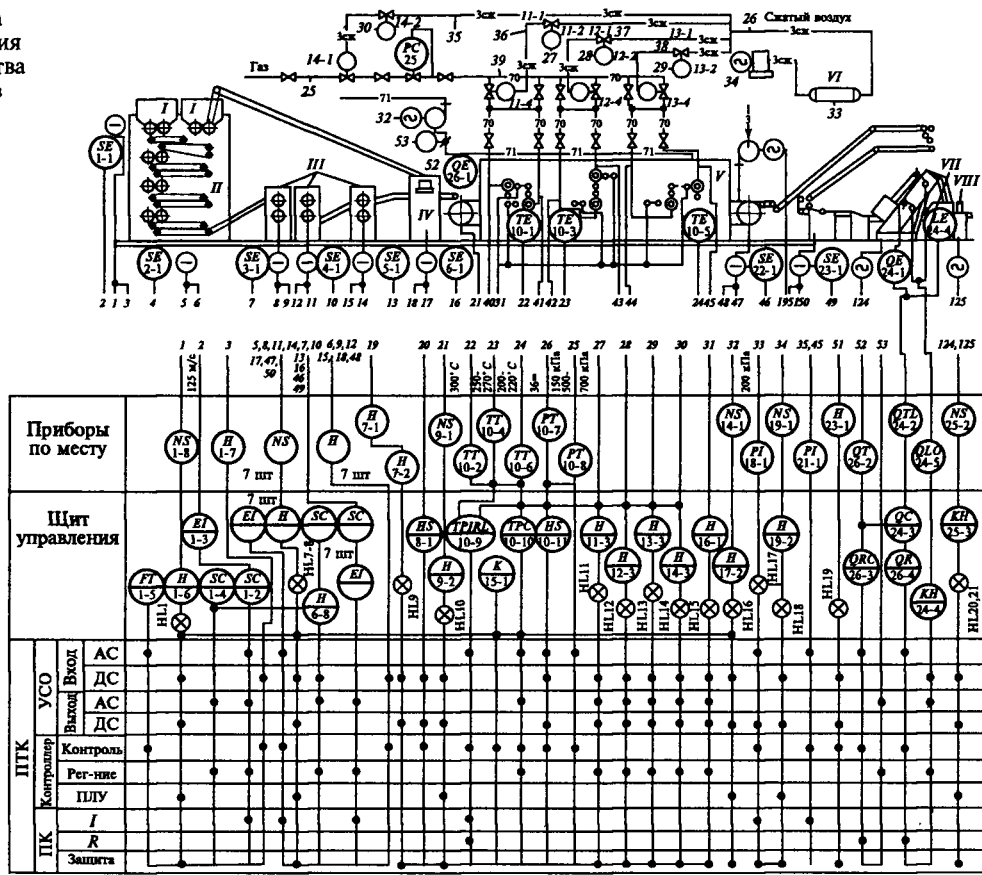
Информационная мощность контроллера: аналоговых/дискретных входов/выходов 190/304, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 34/34; дискретных входов/выходов — 98/112; контуров регулирования — 15.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Технологическая схема производства печенья предусматривает загрузку готового теста в две воронки I ламинатора II. С ламинатора многослойный пласт теста поступает на транспортер с тремя парами калибрующих вальцов III, а формование теста осуществляется штампом ударного действия IV. Для выпечки полученное тесто загружается в трехсекционную печь V с газовым обогревом. Охлаждение печенья происходит в естественных условиях на ленточном транспортере, с которого готовый продукт поступает на стеккер, где печенье принимает положение «на ребре», что необходимо для упаковки печенья вручную. Затем печенье попадает на транспортер робототехнического комплекса «Артур» VII, который проводит автоматическую отбраковку, и печенье подается в кассеты-накопители заверточной машины VIII, где осуществляется упаковка печенья в пачки.

Для стабилизации производительности линии в системе управления оборудованием предусмотрены одноступенчатые САР (1,2,3,4,5,6,22,23). Полный набор элементов в САР представлен на примере дозатора и состоит из тахогенератора (1-1), регулирующего канала контроллера КР-300 (1-2), который сравнивает сигнал, поступающий с тахогенератора, с сигналом задатчика и при наличии разбаланса выдает сигнал блоку управления тиристорами (1-4) (логико-программный канал КР-300), который изменяет выходное напряжение преобразователя. Для контроля скорости электродвигателя постоянного тока в САР включены АЦП (АДАМ-5017Н) с выходом на пультах ПТК и АРМ технолога, далее — на телемонитор (1-3) и АЦПУ (1-5), а также для кон-

Рис. 18.2. Схема системы управления линией производства затяжных сортов пачеиы



троля величины силы тока в якорных цепях. В ручном режиме пуск дозатора осуществляется оператором с пульта ПТК или АРМ технолога посредством кнопки управления (1-6). Корректировку скорости (до 20%) в цепях обмоток возбуждения электродвигателей проводят с пульта ПТК или АРМ технолога посредством устройств (1-7) (логико-программный канал КР-300).

Выпечка изделий осуществляется в одноленточной газовой печи. Пекарная камера печи условно разделена на три зоны. Для каждой зоны предусмотрена отдельная САР температуры. В качестве датчиков температуры используются термоэлектрические преобразователи температуры (тип J) и АЦП (ADAM-5017H), возможно применение модулей (ADAM-4011 или ADAM-5018) (10-1), (10-3), (10-5), сигналы которых поступают на нормирующие усилители (10-2), (10-4), (10-6) (при использовании модулей ADAM усилители не требуются). Контроль и регистрацию температуры проводят с помощью монитора и АЦПУ (10-9) на пультах ПТК и АРМ технолога. В комплект САР входит также логико-программный канал КР-300 (10-10), который при наличии сигнала рассогласования автоматически регулирует соотношение «топливо-воздух» путем воздействия посредством ЦАП (ADAM-5024) на соответствующие электромагнитные клапаны (11-2 ÷ 13-2), которые через электропневмопреобразователи механически связаны с мембранными пневматическими клапанами (11-4 ÷ 13-4) на газовых магистралях. Схемой управления предусмотрено ручное дистанционное управление клапанами (11-1 ÷ 13-1), снабженными исполнительными механизмами (11-2 ÷ 13-2) с пульта ПТК или АРМ технолога путем включения соответствующих кнопок управления (11-3 ÷ 13-3) при установке переключателя (10-11) в положение «Дистанционное».

Компрессорная установка через ресивер VI питает сжатым воздухом клапаны (11-4 ÷ 13-4) с мембранным пневмоприводом. Необходимое давление воздуха поддерживается в ресивере с помощью электроконтактного поршневого реле давления (18-1), которое включает электродвигатель компрессора при давлении воздуха 250 кПа и отключает его при давлении 700 кПа.

Давление сжатого воздуха, подаваемого в систему трубопроводов, контролируется датчиком давления (10-7), подключенным к АЦП (ADAM-5017H), сигнал с которого передается на монитор и АЦПУ (10-9) пультов ПТК и АРМ технолога. Один из логико-программных каналов контроллера КР-300 (10-10) используется для сигнализации давления воздуха. В случае, когда давление воздуха ниже допустимого, система безопасности обеспечивает подключение вместо основной цепи аварийной подачи газа. Для

поддержания постоянства давления, подаваемого на регулирующие клапаны газа, используется логико-программный канал контроллера КР-300 (25), который управляет клапаном (14-1) посредством модуля (ADAM-5050), который открыт при нормальной работе печи и закрыт при аварии.

Давление газа, подводимого от городской магистрали, контролируется датчиком (10-8) и АЦП (ADAM-5017Н) с выходом на телемонитор и АЦПУ ПТК и АРМ технолога (10-9). При давлении газа ниже допустимого логико-программный канал контроллера КР-300 (10-10) отключает подачу газа. При снижении давлений газа и воздуха подается сигнал на пульт управления ПТК и АРМ технолога, а также на световые табло HL14 и HL17. Давления воздуха и газа контролируются манометрами (18-1) и (21-1). Реле давления (таймер на ПЭВМ) (16-1) предназначено для задержки аварийного отключения газа при незначительных пульсациях давлений газа и воздуха. Для зажигания газа в печи применяются электрозапальники, о нормальной работе которых сигнализирует лампочка HL15 на пульте управления ПТК или АРМ технолога.

Автоматика безопасности работы пекарной камеры предусматривает, что клапан подачи газа (14-1) открывается только в случаях, если величины давления газа и воздуха находятся в допустимых пределах; включены печной конвейер и вентилятор, подана электроэнергия, включены электрозапальники газа. О подаче газа сигнализируют световые табло HL11, HL12, HL13 на пультах управления ПТК и АРМ технолога. Управление электродвигателем вентилятора охлаждения осуществляется по месту кнопкой (7-2), что находит отражение на пультах ПТК и АРМ технолога.

## **АСУТП производства сахарных кондитерских изделий**

Приготовление сахарных кондитерских изделий в отличие от мучных включает специфические процессы, характерные лишь для данного производства, например обжарку и дробление какао бобов, получение из них крупки, масла, порошка и т. д., уваривание сиропа для приготовления карамельной массы и др. Для проведения данных процессов широко используются машины и аппараты для тепловой обработки сырья, полуфабрикатов и изделий (темперающие, помадосбивальные машины, холодильные камеры и др.) машины и агрегаты для механической обработки сырья, полуфабрикатов и готового продукта (очистительно-сортировочные, измельчающие, жгутовывающие машины, коншмашины и др.).

Анализ процессов приготовления сахарных кондитерских изделий показывает, что эти производства так же, как и производство мучных кондитерских изделий, имеют в основном последовательную структуру. Во многом совпадают и важнейшие задачи автоматического управления на основных стадиях технологического процесса, таких, как подготовка компонентов заданного состава и в необходимом количестве, обеспечение заданных технологических режимов посредством автоматического регулирования основных параметров процессов и т. д.

### 18.3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КАРАМЕЛИ

Для получения карамельной массы широко используется двухступенчатая технологическая схема, включающая стадии приготовления и уваривания сиропа. В схеме управления увариванием карамельной массы (рис. 18.3) для приготовления карамельного сиропа используют очищенный от ферропримесей сахар-песок, который поступает через дозатор I в смеситель V. В этот же смеситель из рецептурных сборников II, III, IV поступают патока, инвертный сироп; водопроводная вода. Патока предварительно подогревается до температуры 70 °С. В смесителе V, снабженном паровой рубашкой, происходит перемешивание компонентов и частичное растворение сахара-песка. Концентрация сухих веществ в сиропе 84—88%. Для более интенсивного растворения компонентов непосредственно в смеситель вводят пар при постоянном давлении. При непрерывном перемешивании сироп доводят до температуры 130—150 °С. Приготовленный таким образом сироп поступает на дальнейшее уваривание в змеевик вакуум-аппарата IX, откуда уваренный полуфабрикат подается в вакуум-камеру VI, где заканчивается приготовление карамельной массы путем подачи вакуум-насосом вторичного пара из конденсатора смешения VII.

Схема управления решает следующие основные задачи: обеспечение заданного состава карамельной массы; приготовление сахарного сиропа в количестве, достаточном для карамельного производства.

Система управления увариванием карамельной массы может быть реализована с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю *в* (см. рис. 15.3).

АСУТП производства карамельной массы представляет собой РСУ малого масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

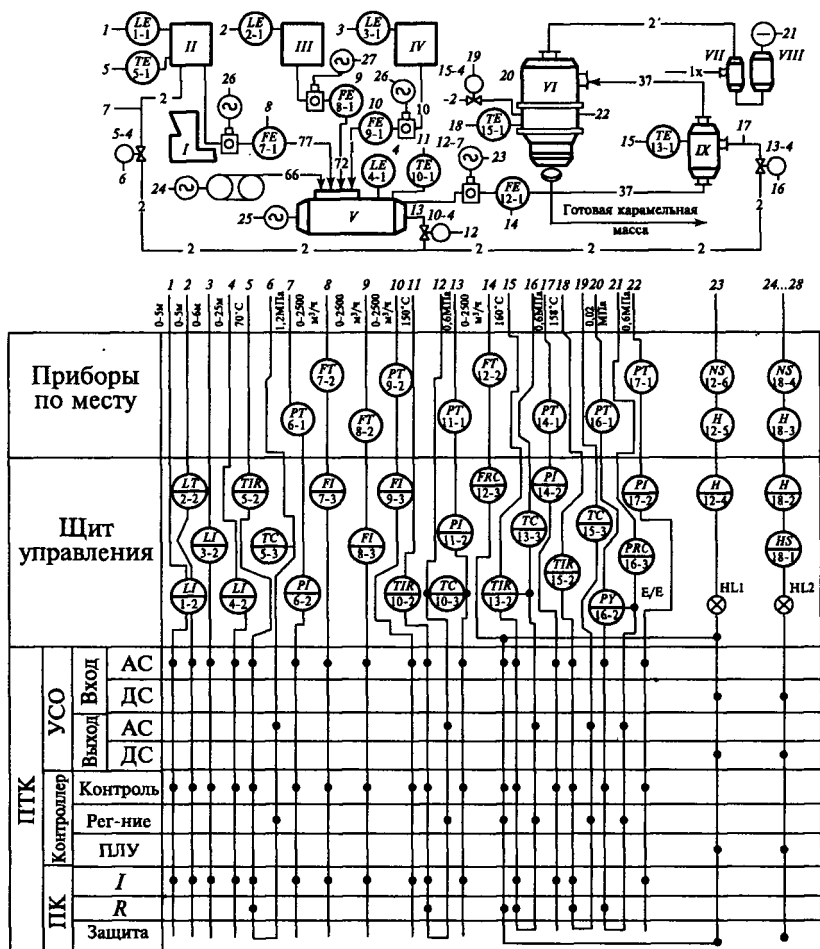


Рис. 18.3. Схема системы управления производством карамельной массы

Объект управления включает: дозатор 1, сборник патоки 2, сборник инвертного сиропа 3, сборник воды 4, смеситель 5, вакуум-камеру 6, конденсаторы смешения 7 и 8, вакуум-аппарат 9.

Основные компоненты системы: контроллеры КР-300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дис-

ководами (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 18.3): общее число входных и выходных сигналов — 28/28, т. е. 56. Из них контролируемых аналоговых (уровень, давление, температура, расход) — 17; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 18; дискретных управляющих — 6; контуров регулирования — 6; запорной арматуры — 6; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 45, из них: аналоговых параметров — 17; входных дискретных — 11; выходных дискретных — 17. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пультах операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 190/304, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 17/17; дискретных входов/выходов — 11/17; контуров регулирования — 6.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Уровни патоки, инвертного сиропа, воды и смеси, необходимых для приготовления сиропа компонентов, контролируются в соответствующих сборниках и смесителе с помощью емкостных уровнемеров (1-1) + (4-1), сигналы с которых поступают на АЦП (АДАМ-5017Н), на телемонитор и АЦПУ (1-2) + (4-2) для отображения на пультах ПТК и АРМ технолога.

Температуру патоки в сборнике II (контур 5) регулируют изменением подачи пара в рубашку. САР температуры состоит из термосопротивления ТСМ (5-1) и (АДАМ-5017Н или АДАМ-5013), сигнал которого поступает для отображения на телемонитор и АЦПУ (5-2) ЭВМ, работающей в режиме ПТК, далее — на регулирующий канал КР-300 (5-3), сформированное им регулирующее воздействие поступает на ЦАП (АДАМ-5024) и клапан (5-4), уста-

новленный на линии подачи пара в рубашку сборника II. Аналогичным образом регулируют температуру смеси в смесителе V (контур 10), полуфабриката в варочном котле IX (контур 13) и уваренной карамельной массы в вакуум-камере VI (контур 15).

Давление греющего пара, поступающего в паровые рубашки сборника патоки, смесителя, варочного котла и вакуум-камеры, контролируют с помощью датчиков давления (6-1, 11-1, 14-1 и 17-1), подключенных через нормирующие преобразователи АЦП (ADAM-5017H) к соответствующим устройствам отображения и записи значений давления на телемониторе и АЦПУ (6-2, 11-2, 14-2 и 17-2) на пультах ПТК и АРМ технолога.

Схемой управления предусмотрен контроль расходов патоки, инвертного сиропа и воды, поступающих в смеситель. В качестве датчиков расхода (7-1) + (9-1) используются индукционные расходомеры, сигналы которых через блоки преобразования и АЦП (ADAM-5017H) (7-2) + (9-2) поступают на соответствующие регистрирующие устройства АЦПУ (7-3) + (9-3) пульта ПТК и АРМ технолога. Для автоматического регулирования расхода приготовленного в смесителе карамельного сиропа предназначен индукционный расходомер (12-1), соединенный через блок преобразования сигналов АЦП (ADAM-5017H) (12-2) с регулирующим каналом КР-300 (12-3), воздействующим на электропривод (12-7), и регистрацией на ЦАП (ADAM-5024).

В схеме управления увариванием карамельной массы предусмотрены дистанционный и местный режимы работы электродвигателей транспортеров и аппаратов линии, для чего на пультах ПТК и АРМ технолога размещены кнопки и ключи выбора режима управления.

#### **18.4. УПРАВЛЕНИЕ ЛИНИЕЙ ПРОИЗВОДСТВА КАРАМЕЛИ**

Схема системы управления производством карамели дана на рис. 18.4, где указаны стадии: получения и обработки карамельной массы, приготовления начинок (тянущая машина VI), разделки карамельной массы (вытягивающая машина X) и ее формования (штампующая машина XI); охлаждения готовых изделий. Схемой управления предусмотрено регулирование уровней продукта в разных сборниках, а также поддержание в заданных диапазонах температуры и давления в основных точках процесса.

Информационная мощность контроллера КР — 300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 190/304; контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 16/16; дискретных входов/выходов — 26/47; контуров регулирования — 10.





Информационная мощность АСУТП производства карамели (см. рис. 18.4) составляет 42/42, т. е. 84. Из них контролируемых аналоговых (уровень, давление, температура и др.) — 16; контролируемых дискретных (с учетом состояния запорной арматуры) — 26; дискретных управляющих — 14; контуров регулирования — 10; запорной арматуры — 10; противоаварийных защит и блокировок (со 100%-м резервированием), из них: аналоговых параметров — 16; входных дискретных — 26; выходных дискретных — 47.

Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

Систему управления поточной линией карамельного производства можно реализовать с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю *в* согласно схеме, приведенной на рис. 15.3.

Регулирование давления греющего пара в вакуум-аппарате III осуществляется САР, состоящей из манометра с нормированным электрическим выходом (5-1) на АЦП (ADAM-5017) регулирующего канала КР-300 (5-2), который воздействует посредством ЦАП (ADAM-5024) на исполнительный механизм (5-3) клапана подачи пара. Разряжение в вакуум-аппарате регулируют изменением режима работы микровоздушного насоса IV, для чего сигнал вакуумметра с нормированным электрическим значением (7-1) через АЦП (ADAM-5017) подается на регулирующий канал КР-300 (7-2), управляющий сигнал которого посредством ЦАП (ADAM-5024) воздействует на исполнительный механизм (7-3) подачи холодной воды. Эта САР заблокирована с электроприводом (7-7) выгрузки карамельной массы. Данная блокировка необходима потому, что в процессе выгрузки вакуум-аппарат сообщается с атмосферой и возникают резкие изменения давления в аппарате.

Уровень в сборнике карамельного сиропа I регулируется с помощью датчиков (1-1) и (1-2) с нормированным электрическим сигналом на выходе, который поступает на АЦП (ADAM-5017) и логико-программный канал контроллера КР-300 (1-3), формирующий управляющее напряжение, которое воздействует посредством ЦАП (ADAM-5024) на исполнительный механизм (1-7) клапана подачи сиропа.

Аналогично регулируются уровни в сборнике начинки VII, в темперирующей машине VIII и в сборнике перед подкаточной машиной IX (соответственно по контурам 21, 26, 30).

Температура перекачиваемого насосом II сиропа и готовой карамельной массы контролируется термоэлектрическими преобразователями температуры типа J и АЦП (ADAM-5017H) или (ADAM-5018) (13-1) и (14-1) с выходом на устройства отображения (телемонитор и АЦПУ) (13-2) пульта ПТК и АРМ технолога. Температуры входящей и выходящей воды в охлаждающей маши-

не V контролируются термосопротивлениями типа ТСМ и АЦП (ADAM-5017H) или модулем (ADAM-5013) (16-1) и (17-1), позволяющими через переключающее устройство (16-2) отображать их посредством телемонитора и АЦПУ (16-3) пульта ПТК и АРМ технолога. Контроль температуры начинки на входе в подкаточную машину осуществляется термоэлектрическим преобразователем температуры типа Т и АЦП (ADAM-5017H) (36-1) или модулем (ADAM-5018) с выходом на отображение (телемонитор и АЦПУ) (36-2). Стабилизация температуры карамельной массы в охлаждающей машине обеспечивается встроенным логико-программным каналом контроллера КР-300 (15).

Температура начинки в темперирующей машине VIII регулируется позиционной САР, состоящей из модуля (ADAM-5013) (24-1), логико-программного канала контроллера КР-300 (24-2), ЦАП (ADAM-5024) электромагнитного клапана (24-3), установленного на протоке воды через рубашку. Аналогично регулируется температура в охлаждающем шкафу XII, в котором в качестве хладагента используется рассол. Для автоматического регулирования расхода начинки, подаваемой в подкаточную машину, предусмотрен электромагнитный расходомер (34-1) с нормированным электрическим выходом на АЦП (ADAM-5017) для отображения на мониторе или АЦПУ (34-2) пульта ПТК и на логико-программный канал КР-300 (34-3), который формирует посредством ЦАП (ADAM-5024) управляющий сигнал на исполнительный механизм (34-4), установленный на перепускном трубопроводе. Влажность уваренной карамельной массы измеряется косвенным методом (психометрическим) по температуре ее кипения, определяемой датчиком (модуль ADAM-5013) (10-1), (10-2), нормированный сигнал которого поступает на отображение величины влажности (телемонитор и АЦПУ) (10-3) в процентах относительной влажности на пульте ПТК и АРМ технолога.

Схемой управления поточной линии карамельного производства предусмотрен автоматический или ручной запуск электродвигателей и ручной запуск электродвигателей машин и аппаратов линии, для чего по месту и на пульте ПТК смонтированы кнопки и ключи выбора режима, которые продублированы на АРМе технолога.

## **18.5. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ОТЛИВНЫХ ГЛАЗИРОВАННЫХ КОНФЕТ**

Технология производства отливных глазированных конфет в поточной линии предусматривает процессы варки, отливки и глазирования. Основные компоненты приготовления конфет —

фруктовое пюре, молочный сироп, патока и сахарный сироп — поступают в заданных количествах из промежуточных сборников II, III, VII, IX (рис. 18.5) в рецептурный смеситель I, из которого смесь перекачивается в змеевиковый варочный аппарат IV. После уваривания смесь направляется в помадосбивальную машину V, а затем — в temperирующую машину VIII.

При управлении варочным отделением необходимо обеспечить качественное дозирование компонентов смеси, требуемые параметры варки, выдержать температурные режимы в аппарате IV, машинах V и VIII. Кроме этого должно быть предусмотрено регулирование уровней в промежуточных сборниках компонентов смеси.

Система управления процессом производства отливных глазированных конфет может быть реализована с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю *в* согласно схеме, приведенной на рис. 15.3.

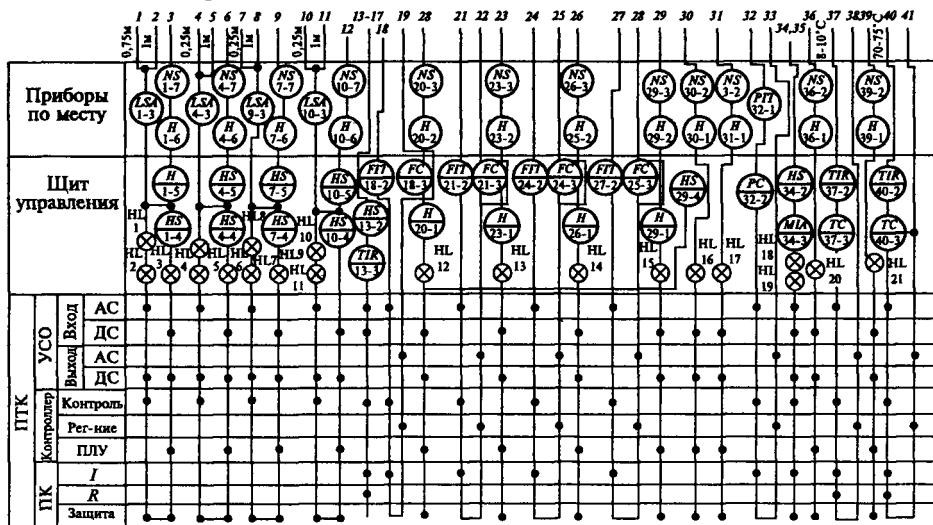
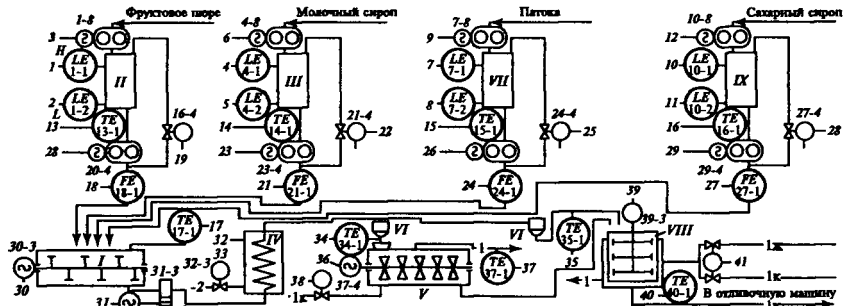
АСУТП производства отливных глазированных конфет представляет собой РСУ среднего масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок (рис. 18.5).

*Объект управления* включает: рецептурный смеситель 1, промежуточные сборники фруктового пюре, молочного сиропа, патоки и сахарного сиропа соответственно 2, 3, 7, и 9, теплообменник 4, помадосбивальную машину 5, отстойники 6, temperирующую машину 8.

Основные компоненты системы: контроллеры КР-300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 18.5): общее число входных и выходных сигналов — 41/41, т. е. 82. Из них контролируемых аналоговых (уровень, давление, температура, расход) — 13; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 44; дискретных управляющих — 12; контуров регулирования — 11; запорной арматуры — 11; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) из них: аналоговых параметров — 13; входных дискретных — 28; выходных дискретных — 47. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

**Рис. 18.5. Схема  
системы управления  
производством отливных  
глазированных конфет**



## Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \pm 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \pm 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \pm 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-300 аналоговых/дискретных входов/выходов — 190/304, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 13/13; дискретных входов/выходов — 28/47; контуров регулирования — 11.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Управление дозированием компонентов смеси обеспечивается за счет стабилизации расходов компонентов из промежуточных сборников в смеситель I. Фруктовое пюре из промежуточного сборника II отбирается насосом, приводимым в действие электродвигателем, и через трубопровод, в котором установлен электромагнитный расходомер (18-1), поступает в смеситель I. Нормированный сигнал расходомера с помощью АЦП (ADAM-5017) подается для отображения на телемонитор и АЦПУ (18-2) и далее — на регулирующий канал КР-300 (18-3), который посредством ЦАП (ADAM-5024) и исполнительного механизма (16-4) изменяет положение регулирующего органа на линии перепуска фруктового пюре в промежуточный сборник. Аналогичными САР дозируются молочный сироп, патока и сахарный сироп (соответственно по контурам 21, 24, 27).

Во всех промышленных сборниках предусмотрено автоматическое регулирование уровня. В первом промежуточном сборнике емкостные датчики уровня (1-1) и (1-2) формируют сигнал на АЦП (ADAM-5017), подаваемый на программно-логический канал контроллера КР-300 (1-3), который посредством ЦАП (ADAM-5024) управляет электродвигателем (1-8) насоса подачи фруктового пюре. Аналогично регулируется уровень и в трех остальных промежуточных сборниках (соответственно по контурам 4, 7, 10). Регулирование давления в змеевиковом варочном аппарате осуществляется манометром с нормированным электрическим выходом (32-1) и АЦП (ADAM-5017), с которого сигнал поступает на регулирующий канал КР-300, который посредством

ЦАП (ADAM-5024) управляет исполнительным механизмом (32-3) клапана подачи пара в аппарат.

Температура воды в рубашке помадосбивальной машины регулируется позиционной САР, которая состоит из термосопротивления TCM и АЦП (ADAM-5017) или модуля (ADAM-5013) (37-1), нормированный сигнал которого подается на отображение (монитор и АЦПУ) (37-2) и на логико-программный канал контроллера КР-300 (37-3) с выходом на ЦАП (ADAM-5024) и регулирующий клапан (37-4), установленный на трубопроводе холодной воды. Аналогично регулируется температура воды в рубашке темперирующей машины (соответственно по контуру 40).

Температуры в сборниках измеряются термосопротивлениями TCM в комплексе АЦП (ADAM-5017) или модулями (ADAM-5013) (13-1) + (16-3), а в смесителе — датчиком (17-1), нормированные сигналы которых посредством обегашего устройства (13-2) поступают на отображение и регистрацию, осуществляемых телемонитором и АЦПУ) (13-3). При этом осуществляется автоматический контроль влажности уваренной конфетной массы по температуре ее кипения (психометрическим методом). Для этого в пароотделителях VI установлены термосопротивления TCM и АЦП (ADAM-5017) или модули (ADAM-5013) (34-1) и (35-1), нормированные сигналы которых посредством переключателя (34-2) поступают на телемонитор и АЦПУ (34-3) для отображения и регистрации в процентах относительной влажности и для сигнализации на пульте ПТК и АРМ технолога.

Схемой управления варочного отделения обеспечивается пуск и останов электродвигателей, машин и аппаратов, а также выбор режима управления с помощью пульта ПТК, а также с АРМ технолога.

## **18.6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОЦЕССОВ ОТЛИВКИ И ГЛАЗИРОВАНИЯ КОНФЕТ**

Схема системы управления процессами отливки и глазирования конфет в поточной линии представлена на рис. 18.6. Конфетная масса из темперирующей машины подается насосом в отливочную машину II. Корпуса конфет из установки ускоренной выстойки I, где они обдуваются холодным воздухом из воздухоотделителя III, поступают в глазировочную машину IV, затем — в охлаждающий шкаф V, хладагентом в котором является рассол, а из него готовые конфеты направляются на завертку и упаковку.

Основной задачей управления этими процессами является стабилизация температурных режимов, уровня в отливочной машине и управление электродвигателями.



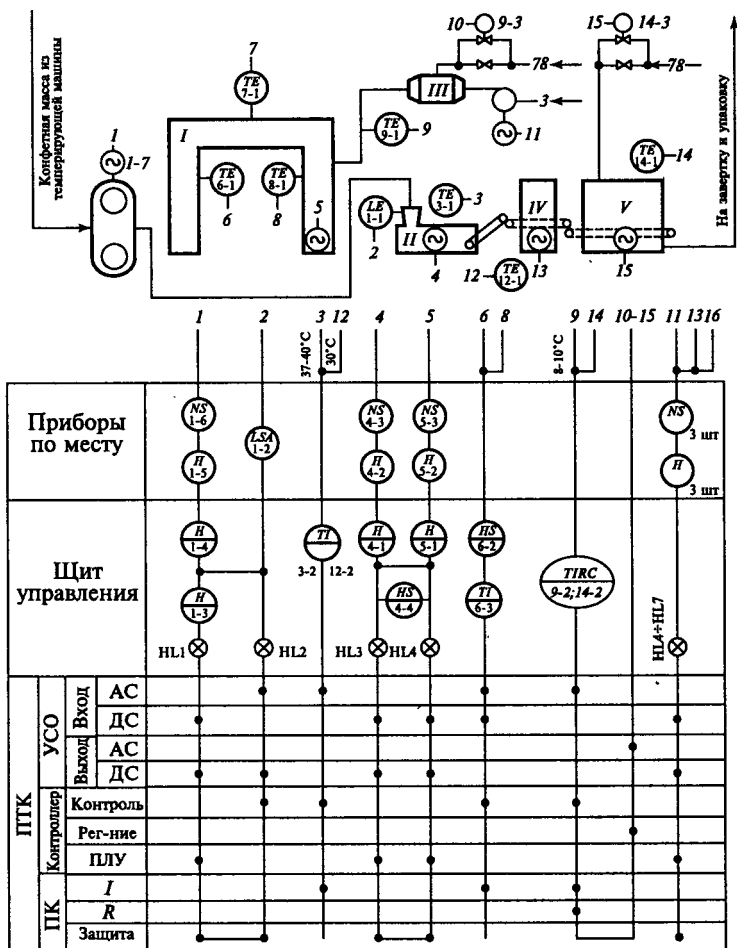


Рис. 18.6. Схема системы управления процессом отливки и глазирования конфет

Управление этими процессами можно осуществить с помощью АСУТП (супервизорный режим) по модулю *в*, представленному на рис. 15.3, где аппаратное и программное обеспечение аналогично таковому при управлении варочным отделением.

АСУТП отделения отливки и глазирования конфет представляет собой РСУ малого масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

Объект управления включает: установку ускоренной выстойки 1, отливочную машину 2, воздухоотделитель 3, глазировочную машину 4, охлаждающий шкаф 5.

**Основные компоненты системы:** контроллеры КР-300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 18.6) составляет входных и выходных сигналов — 16/16, т. е. 32. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура) — 7; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 7; дискретных управляющих — 6; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 3; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 32, из них: аналоговых параметров — 7; входных дискретных — 9; выходных дискретных — 16. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 190/304, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 7/7; дискретных входов/выходов — 9/16; контуров регулирования — 3.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Уровень конфетной массы в отливочной машине измеряется емкостным уровнемером (I-I), нормированный сигнал которого поступает на АЦП (ADAM-5017) и далее — на регулирующий ка-

нал КР-300, воздействующего на ЦАП (АДАМ-5024) и на электропривод (1-7) насоса подачи конфетной массы.

Автоматическое регулирование температуры холодного воздуха, поступающего в установку выстойки корпусов конфет, осуществляется термосопротивлениями ТСМ и АЦП (АДАМ-5017Н) или модулями (АДАМ-5013) (9-1) ÷ (14-1), нормированные сигналы которых поступают на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) и на логико-программный канал КР-300 (9-2) ÷ (14-2), управляющий электромагнитными клапанами (9-3) ÷ (14-3) посредством ЦАП (АДАМ-5024), расположенными на линии подачи рассола в воздухоохладитель. Аналогично обеспечивается регулирование температуры воздуха в охладительном шкафу (соответственно по контуру 14).

Схемой управления предусмотрен контроль температур в отливочной и глазировочной машинах с помощью термосопротивлений ТСМ и АЦП (АДАМ-5017Н) или модулей (АДАМ-5013) (3-1) ÷ (12-1) с выходом на отображение или регистрацию (телемонитор или АЦПУ) (3-2) ÷ (12-2). Контроль температуры проводят и в установке ускоренной выстойки корпусов конфет с помощью термосопротивлений ТСМ и АЦП (АДАМ-5017Н) или модулем (АДАМ-5013) (6-1) ÷ (8-1), нормированные сигналы которых посредством обтекающего устройства (6-2) поступают на отображение или регистрацию (телемонитор или АЦПУ) (6-3).

Схема управления обеспечивает управление электродвигателями машин и аппаратов с пульта управления ПТК и АРМ технолога, а также выбор режима либо с помощью ключей управления ПТК и АРМ технолога, либо с помощью ключей управления (1-3) и (4-4).

## 18.7. АСУТП ПРОИЗВОДСТВА ШОКОЛАДНЫХ МАСС

Технологическая линия производства шоколадных масс (рис. 18.7) предусматривает смешивание какао-масла, какао тертого, сахарной пудры, вкусовых добавок и разжижителя. Тертое какао и какао-масло подаются в обогреваемые горячей водой сборники VII и XIII, откуда дозаторами VIII направляются в первый смеситель I. В тот же смеситель поступает сахарная пудра, получаемая путем размола сахара-песка в микромельнице II, который перемещается через дозатор III и ворошитель IV из бункера V при помощи шнека VI. Масса из первого смесителя подается в пятивалковую мельницу IX, в которой образуется тонко растертая смесь, направляемая во второй смеситель X. Сюда же из дозаторов XI, XII подаются разжижитель и эссенция. По-

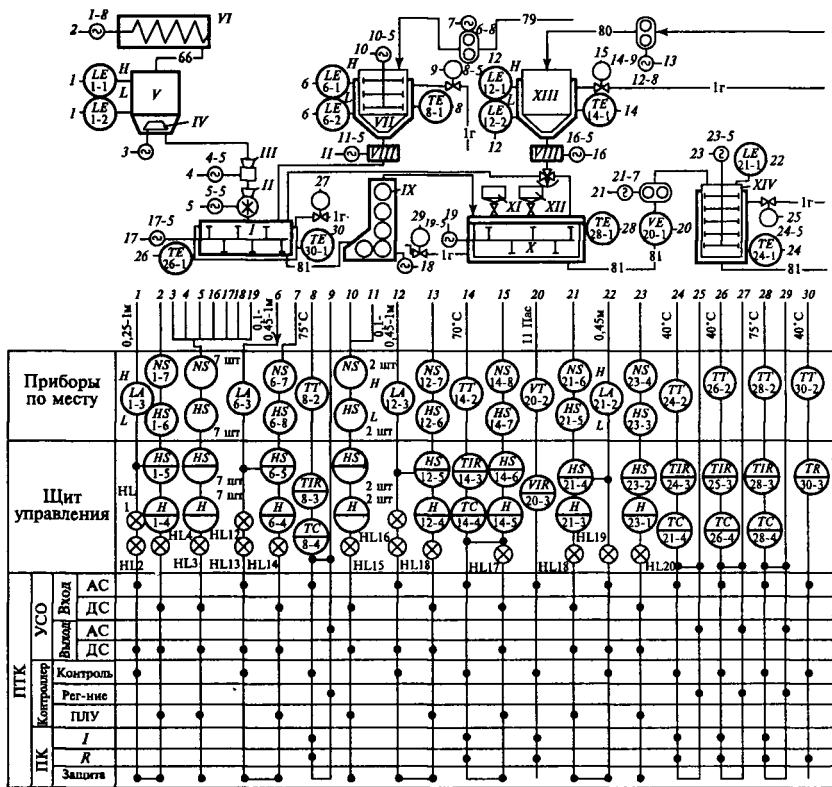


Рис. 18.7. Схема системы управления производством шоколадных масс

сле перемешивания во втором смесителе полученная масса попадает в эмульсатор для гомогенизации шоколадной массы и получения идеальной однородности и равномерного распределения ароматических и жировых компонентов. Затем шоколадная масса шестеренным насосом подается в подогреваемый горячей водой сборник шоколадной массы XIV.

Схемой управления (см. рис. 18.7) обеспечивается точное дозирование компонентов, регулирование уровней и температурных режимов в сборниках. Для обеспечения точной работы дозирующих устройств схема управления предусматривает регулирование уровней в бункере сахара-песка, сборниках какао тертого VII и какао-масла XIII.

Схема управления производством шоколадных масс может быть реализована с помощью АСУТП, действующей в супервизорном режиме, по модулю *в* (см. рис. 15.3).

АСУТП производства шоколадных масс представляет собой РСУ среднего масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

Объект управления включает: первый смеситель 1, мельницу сахара-песка 2, дозатор 3, ворошитель 4, бункер 5, шнек 6, сборники 7 и 13, дозаторы 8, пятиволковую мельницу 9, второй смеситель 10, дозаторы 11 и 12, сборник шоколадной массы 14.

Основные компоненты системы: контроллеры КР-300 со 100%-м резервированием — 3, АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 18.7): общее число входных и выходных сигналов — 30/30, т. е. 60. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, вязкость) — 11; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 19; дискретных управляющих — 15; контуров регулирования — 9; запорной арматуры — 9; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 69, из них: аналоговых параметров — 11; входных дискретных — 19; выходных дискретных — 39. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

## **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 190/304, контуров регулирова-

ния — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 11/11; дискретных входов/выходов — 19/39; контуров регулирования — 9.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Уровень в бункере сахара-песка измеряется датчиками (1-1) и (1-2), нормированный сигнал которых поступает на АЦП (ADAM-5017) и на логико-программный канал КР-300 (1-3), управляющий посредством ЦАП (ADAM-5024) и магнитного пускателя (1-7) включением и выключением электродвигателя (1-8) шнека подачи сахара-песка в бункер. Аналогично построены схемы регулирования уровней в сборниках какао тертого и какао-масла (соответственно контуры 6 и 12). В сборнике шоколадной массы XIV предусмотрено регулирование уровня по верхнему пределу, достижение которого по сигналу датчика верхнего уровня (21-1), поступающего на АЦП (ADAM-5017) и на логико-программный канал КР-300 (21-2), посредством ЦАП (ADAM-5024) и магнитного пускателя (21-6) выключается электродвигатель (21-7), прекращая подачу шоколадной массы в промежуточный сборник.

Автоматическое регулирование температуры в сборниках обеспечивается управлением слива воды из обогревающих рубашек сборников. В сборнике какао тертого температура измеряется термосопротивлением ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модулем (ADAM-5013) (9-1), сигнал которого поступает на нормирующий усилитель-преобразователь (8-2), далее — на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) (8-3), а также на логико-программный канал КР-300 (8-4), управляющий посредством ЦАП (ADAM-5024) электромагнитным клапаном (8-5) для стока воды из обогревающей рубашки сборника. Аналогично осуществляется регулирование температуры в сборниках какао-масла и шоколадной массы (соответственно по контурам 14 и 24).

Схема обеспечивает управление электродвигателями машин и аппаратов поточной линии с пульта ПТК (или АРМ технолога), а также выбор режима управления.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Состав и структура АСУТП кондитерского производства.
2. Структура микропроцессорных средств управления кондитерским производством.
3. Система управления производством затяжных сортов печенья.
4. Система управления поточно-механизированной линией производства затяжных сортов печенья.
5. Система управления производством карамели.
6. Система управления производством отливных глазированных конфет.
7. Система управления производством шоколадных масс.

## **Глава 19. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ И ПРОДУКТОВ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ**

Производство безалкогольных напитков связано с периодическими и непрерывными процессами. Наличие периодических процессов ограничивает производительность оборудования, затрудняет их управление. Разработка и внедрение непрерывных процессов производства является актуальной задачей.

Развитие автоматизации производства безалкогольных напитков ведется по двум направлениям: по пути автоматизации периодических процессов с максимальным использованием средств контроля и регулирования качественных показателей и по пути совершенствования управления непрерывными процессами и создания комплексных АСУ. Все периодические и непрерывные процессы имеют в основном последовательную структуру. С точки зрения динамических свойств управляемых процессов отделения приготовления безалкогольных напитков характеризуются относительно малой инерционностью, различной продолжительностью пребывания среды в отдельных аппаратах (от 1 мин. в фильтре-прессе линии производства газированных напитков до 60 мин в варочной колонне линии приготовления купажного сиропа), которая существенно меньше, чем в кондитерском производстве (например, продолжительность пребывания шоколадных масс в коншмашине может достигать 3 суток).

Процессы производства безалкогольных напитков по динамическим свойствам представляют собой одно- и многоемкостные объекты с транспортным запаздыванием и с распределенными параметрами. Производство безалкогольных напитков характеризуется отсутствием больших буферных емкостей между отделениями, наличием рециркуляционных потоков и обратной связи отделений через обслуживающий персонал.

Основными задачами управления этими процессами являются автоматический контроль и регулирование основных параметров, дистанционное или автоматическое управление операциями дозирования жидких и сыпучих компонентов и транспортными операциями. Реализацию этих задач можно осуществить с помощью систем управления ПО «Химпром» ПТК «Каскад», а также фирмы Прософт (Россия) и др.

## 19.1. АСУТП ПРИГОТОВЛЕНИЯ КВАСА

Квас готовят из солода, ржаной муки, сахара и мяты. Получаемое квасное сусло сбраживается комбинированной культурой квасных дрожжей и молочнокислых бактерий.

В процессе приготовления кваса (рис 19.1) хлебный экстракт подается насосом Н1, в сборник I, откуда насосом Н2 перекачивается в цистерну II и далее насосом Н3 — в сборник V, где разводится теплой водой. Теплая вода получается смешиванием горячей и холодной воды. Разведенный экстракт перекачивается насосом Н5 в бродильный чан VI. В этот же чан насосом Н3 подается часть сахарного сиропа, а насосом Н4 — закваска из сборника IV. В бродильном чане происходит процесс брожения. По его окончании сусло из бродильного чана перекачивается насо-

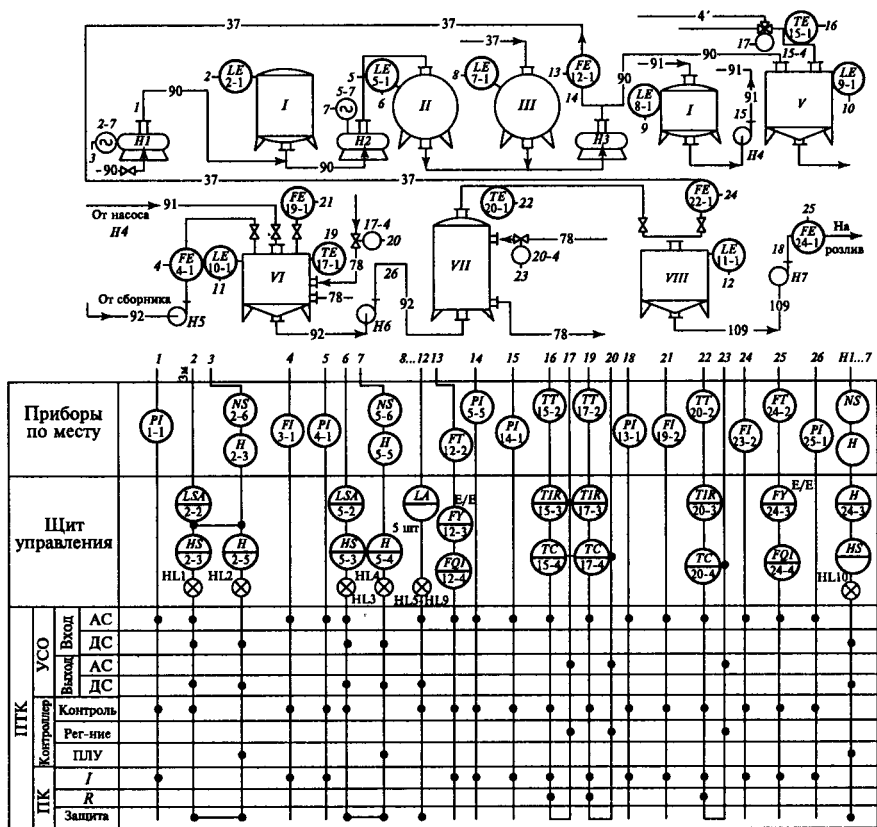


Рис. 19.1. Схема системы управления производством кваса



сом Н6 в холодильник VII. Охлажденное сусло поступает в чан VIII для купажирования кваса, в него добавляется оставшееся количество сахарного сиропа из цистерны сахарного сиропа III. Готовый квас откачивается насосом Н7 на розлив.

Схемой управления производством кваса решаются задачи автоматического дозирования компонентов и обеспечения заданных температурных режимов, а также осуществляются контроль расходов и управление, блокировка и сигнализация работы оборудования.

Систему управления технологическим процессом производства кваса можно реализовать с помощью АСУТП, действующей в режиме «Советчик», построенной по модулю 6, схема которого представлена на рис. 15.3.

АСУТП производства кваса представляет собой РСУ малого масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** сборник хлебного экстракта 1, цистерну 2, цистерну сахарного сиропа 3, сборник закваски 4, сборник разбавленного хлебного экстракта 5, бродильный чан 6, холодильник 7, чан сусла 8.

**Основные компоненты системы:** контроллеры РК-131/300 со 100%-м резервированием — 3, АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД РВ; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 19.1): общее число входных и выходных сигналов — 26/26, т. е. 52. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, давление, расход) — 21; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 5; дискретных управляющих — 9; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 3; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 41, из них: аналоговых параметров — 21; входных дискретных — 5; выходных дискретных — 15. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях

аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллер после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера РК-130/300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 60/96, контуров регулирования — 16. Использовано: аналоговых входов/выходов — 21/21; дискретных входов/выходов — 5/15; контуров регулирования — 3.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Автоматическое дозирование компонентов осуществляется объемным методом путем заполнения ими промежуточных емкостей: для экстракта — сборника и цистерны, для заварки — сборника. Необходимый уровень заполнения сборника экстрактом достигается за счет использования САР, состоящей из датчика верхнего уровня (2-1), нормированный сигнал которого поступает на АЦП (ADAM-5017) и логико-программный канал РК-131/300 (2-2), который посредством ЦАП (ADAM-5024) и магнитного пускателя (2-6) управляет электродвигателем (2-7) насоса III. При достижении экстрактом в сборнике верхнего уровня загорается световое табло HL1 на пульте ПТК и АРМ технолога. Работа насоса III контролируется по показанию манометра (1-1). Посредством ключа выбора режима (2-3) с пульта ПТК и АРМ технолога осуществляется перевод схемы с автоматического на ручной режим работы, а управление электродвигателем (2-7) — кнопкой управления (2-4) или (2-5). Аналогично происходит работа контура 5 регулирования уровня в цистерне экстрактора II. Сигнализация верхнего уровня в цистерне III, сборниках IV, V, в чане VI, VIII обеспечивается емкостным уровнемером, АЦП (ADAM-5017Н), логическим каналом контроллера РК-131/300 с выходом на световое табло мнемосхемы (HL3 и HL7) и пульт ПТК посредством ЦАП (ADAM-5024).

Регулирование температурных режимов предусмотрено в сборниках разведенного экстракта, бродильном чане и в холодильнике сула. Температура в сборнике разведенного экстракта определяется температурой смеси, получаемой смешиванием горячей и холодной воды. Температура теплой воды измеряется термосопротивлением ТСМ с выходом на АЦП (ADAM-5017) или модулем (ADAM-5013) (15-1), нормированный сигнал которого поступает на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ)

(15-2) и на вход регулирующего канала РК-131/300 (15-3), который управляет посредством ЦАП (ADAM-5024) и регулирующим клапаном (15-4), установленным на линии подачи горячей воды. Аналогичной САР осуществляется регулирование температуры в бродильном чане (контур 17) и холодильнике (контур 20).

Контроль количества сиропа, подаваемого в бродильный и купажный чаны, осуществляется шестеренчатыми счетчиками жидкости (19-1) и (22-1). Расходы экстракта и кваса на розлив контролируются индукционными расходомерами (12-1) и (24-1), сигнал которых поступает на нормирующие преобразователи (12-2) и (24-2). Далее нормированный сигнал поступает на отображение (телемонитор и суммирующее устройство) (12-3) и (24-3) на пульте ПТК и АРМ технолога, который определяет общее количество расходуемых жидкостей.

Контроль работы насосов Н2 и Н7 осуществляется посредством показывающих дифференциальных манометров (3-1, 4-1, 13-1, 14-1, 16-1, 25-1) с выходом на сигнализацию на пульте ПТК и АРМ технолога посредством ЦАП (ADAM-5024).

## 19.2. АСУТП ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТОМАТНОГО СОКА

Для приготовления натурального томатного сока с последующей его стерилизацией (рис. 19.2) томаты в ящиках подаются из хранилища и с помощью установки для разгрузки попадают в приемную часть элеваторной моечной машины I для предварительной мойки. Для интенсификации этого процесса предусмотрена турбуляция воды воздухом, подаваемым встроенным компрессором. После элеваторной моечной машины плоды на транспортере обмываются струями чистой водопроводной воды. Затем плоды попадают в приемную часть вентиляторной моечной машины II, где проводится окончательная мойка их струями воды. Для усиления моющего эффекта в воду, наполняющую ванну, через трубы барботируют сжатый воздух.

Следующим этапом приготовления томатного сока является отбраковка томатов на инспекционном транспортере III и удаление их из цеха. Отобранные плоды подъемным транспортером IV подаются в дробилку с семяотделителем V. После дробления и отделения семян образующаяся дробленая масса поступает в емкость VII, а семена — в емкость VI, откуда насосом подаются в сушильное отделение для получения порошка, используемого в качестве добавки в корм скоту. Томатная масса насосом Н1 перекачивается в трубчатый подогреватель VIII, где подогревается до 60—65° С, и далее насосом Н2 посредством емкости IX подается в экстракторы X и XI. Если дробленая масса недостаточно нагре-

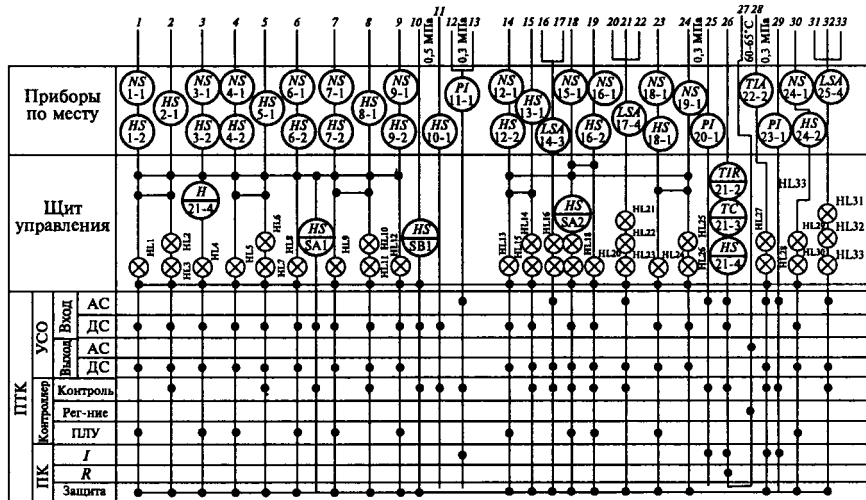
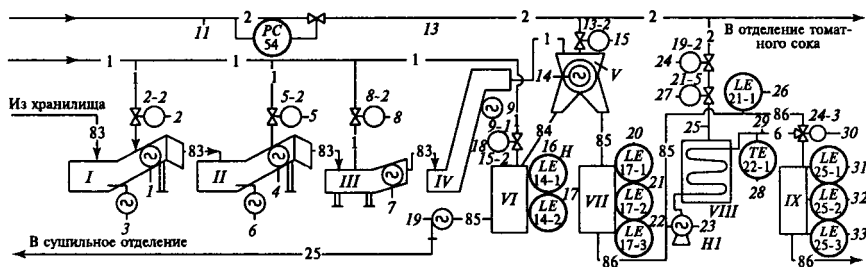


Рис. 19.2а. Схема системы управления приготовлением томатной массы (I часть)

та (меньше  $60^{\circ}\text{C}$ ), то она посредством рециркуляционного клапана возвращается на подогрев.

В экстракторах X и XI осуществляется выделение томатного сока. Оба экстрактора могут работать как попеременно, так и вместе, в зависимости от заданной производительности линии. Отходы из экстракторов попадают на шнек отходов XII, затем в емкость отходов XIII, после этого насосом НЗ направляются в томатный цех для приготовления томатной пасты. Сок из экстракторов поступает в емкость XIV, где происходит частичное его отстаивание, затем насосом Н4 подается в подогреватель XV для подогрева до  $80\text{--}85^{\circ}\text{C}$ . Если сок не прогрелся до заданной температуры, то с помощью рециркуляционного клапана он направляется на вторичный подогрев. Подогретый сок поступает в емкость XVI, где происходит его отстаивание, после чего насосом Н5 сок направляется на окончательный подогрев (до  $97^{\circ}\text{C}$ ) в по-

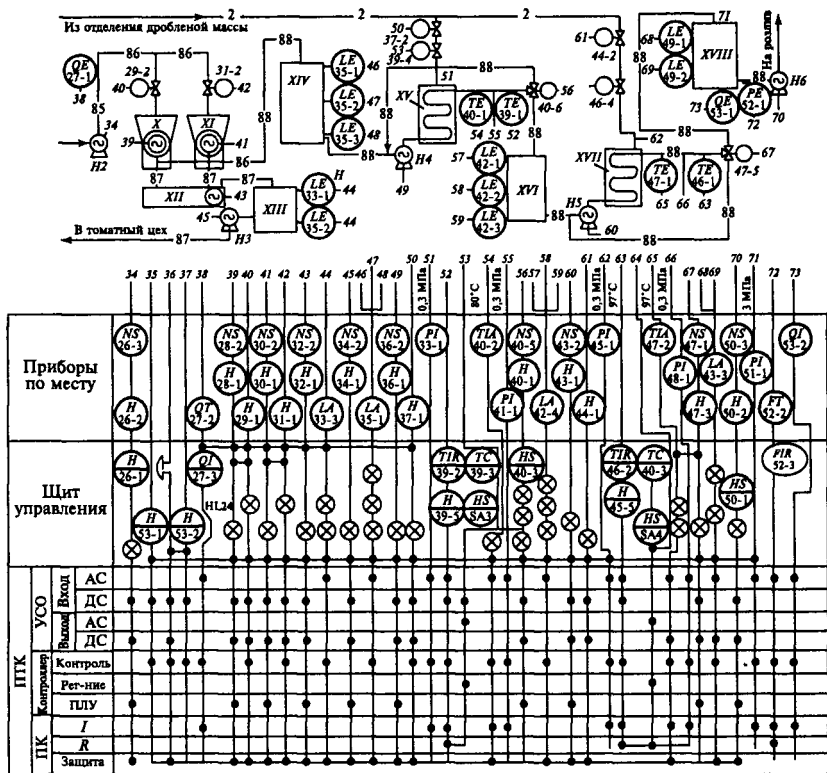


Рис. 19.2б. Схема системы управления приготовлением томатного сока (II часть)

догреватель XVII. Если сок после подогревателя имеет меньшую температуру, то с помощью рециркуляционного клапана он направляется на вторичный подогрев.

Многоступенчатый подогрев необходим для предотвращения заваривания сока. Поддержание заданного значения температуры очень важно для получения томатного сока с хорошими вкусовыми свойствами, поскольку ее понижение приводит к закисанию сока, а повышение — к пригоранию. Сок из подогревателя поступает в емкость XVIII, а оттуда при необходимости насосом Н6 подается в линию розлива.

Вся линия приготовления сока состоит из отделения приготовления дробленной томатной массы и отделения приготовления томатного сока. Схема управления решает следующие основные задачи: обеспечивает управление поточной линией в заблокированном режиме; осуществляет контроль и сигнализацию уровня,

температуры и давления в основных точках процесса; регулирование давления пара в магистрали; позволяет регистрировать количество приготовленного томатного сока.

Система управления этого производства может быть реализована с помощью АСУТП (режим «Советчика») согласно схеме, представленной на рис. 15.3 в, которая имеет два иерархических уровня управления.

АСУТП приготовления томатного сока представляет собой РСУ среднего масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** элеваторную мочную машину 1, вентиляторную мочную машину 2, инспекционный транспортер 3, подъемный транспортер 4, дробилку 5, емкости 6, 7, 9, 14, 16 и 18, подогреватель 8, экстракторы 10 и 11, шнек отходов 12, емкость отходов 13, подогреватель 17.

**Основные компоненты системы:** контроллеры КР-300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 19.2 а, б): общее число входных и выходных сигналов — 73/73, т. е. 146. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, давление, расход, величина  $pH$ ) — 35; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 78; дискретных управляющих — 22; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 16; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) из них: аналоговых параметров — 35; входных дискретных — 111; выходных дискретных — 173. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на

пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре — 0,2 ÷ 1,0 с; цикл смены кадров — 0,2 ÷ 1,5 с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска: системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 190/304, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 35/35; дискретных входов/выходов — 111/173; контуров регулирования — 3.

Время наработки на отказ контроллера — 75 000 ч (в дублированном исполнении — 150 000 ч).

Для выбора режима управления используются ключи SA1 ÷ SA4, смонтированные на пультах ПТК и АРМ технолога и посредством ПТК. Управление электродвигателями линии в ручном режиме осуществляется рабочими станциями, расположенными по месту.

Контроль давления пара в магистрали осуществляется дифференциальными манометрами (11-1), (20-1) и (45-1), в подогревателях дробленой массы — соответственно дифференциальными манометрами (23-1) и (33-1), в подогревателях сока XV и XVII — дифференциальными манометрами (51-1) и (62-1), после подогревателя сока XVII — дифференциальным манометром (71-1) с выходом на сигнализацию на пульты ПТК и АРМ технолога посредством АЦП (ADAM-5017H) для отображения на мониторе, таким образом получают информацию о состоянии и работе всего технологического оборудования. Стабилизация давления пара в магистрали осуществляется логико-программным каналом КР-300 (53), который в зависимости от величины давления воздействует на приток пара. Уровень приготовленной массы в емкостях VI, XIII для семян и отходов, в емкостях VII и IX дробленой массы, в емкостях XIV, XVI и XVIII уровень сока измеряется кондуктометрическими датчиками уровня, подключенными к электронным сигнализаторам уровня (14, 17, 25, 33, 35, 42 и 49) с выходом для сигнализации предельных уровней и посредством АЦП (ADAM-5017H) для отображения на пультах ПТК и АРМ технолога.

Регулирование температуры дробленой массы в подогревателе осуществляется САР, состоящей из термосопротивления ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модуля (ADAM-5013) (21-1), сформированный сигнал которого поступает для отображения и регистрации (телемонитор и АЦПУ) (21-2) на пультах ПТК и АРМ технолога и на регулирующий канал КР-300 (21-3), который управляет исполнительным механизмом (21-5), воздействующим на клапан подачи пара в подогреватель дробленой массы. При этом

предусмотрена возможность выбора режима, установленного на пультах ПТК и АРМ технолога (21-4). Аналогичные САР обеспечивают автоматическое регулирование температуры сока в подогревателях XV и XV/II (контуры 39 и 46). Сигнализация о нормированных значениях температуры дробленой массы осуществляется с помощью датчика температуры (модуль ADAM-5013) (22-1), сигнал которого поступает на регулирующий канал КР-300 (22-2), затем на регистрацию посредством АЦПУ (ПТК и АРМ технолога) и на световую сигнализацию HL27 и HL28, сигнальные лампы установлены на пультах ПТК и АРМ технолога. Аналогично обеспечивается сигнализация о нормированных значениях температуры томатного сока после подогревателя XV (контур 40) и XV/II (контур 47).

Для регистрации суммарного расхода готового томатного сока на схеме предусмотрена установка индукционного датчика расхода (52-1), сигнал которого поступает на нормированный преобразователь и АЦП (ADAM-5017) (52-2) и далее — на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) (52-3), расположенные на пультах ПТК и АРМ технолога. Там же размещены кнопки SB1 проверки световой и звуковой сигнализации и SB2 гашения звукового сигнала.

### **19.3. АСУТП РОЗЛИВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ**

Схема управления розливом минеральной воды представлена на (рис. 19.3). Она может быть реализована с помощью АСУТП в режиме «Советчика» построенной согласно схеме, представленной на рис. 15.3 в.

АСУТП розлива минеральной воды представляет собой РСУ малого масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** оросительный холодильник 1, установку для обеззараживания 2, резервуары 3, фильтр-пресс 4, охладитель 5, бачок 6, сатуратор 7.

**Основные компоненты системы:** контроллеры РК-131/300 со 100%-м резервированием — 3, АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД РВ; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).



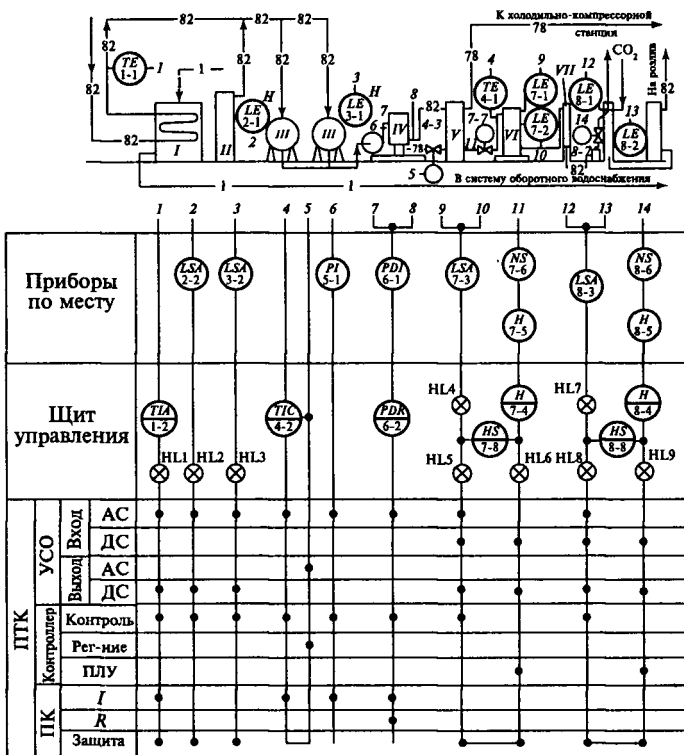


Рис. 19.3. Схема системы управления розливом минеральной воды

Информационная мощность АСУТП (рис. 19.3) составляет: число входных и выходных сигналов — 14/14, т. е. 28. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, давление) — 11; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 6; дискретных управляющих — 3; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 3; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 26, из них: аналоговых параметров — 11; входных дискретных — 3; выходных дискретных — 12. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях

аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \pm 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \pm 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \pm 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера РК-131/300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 60/96, контуров регулирования — 16. Использовано: аналоговых входов/выходов 11/11; дискретных входов/выходов — 1/12; контуров регулирования — 3.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Минеральная вода из артезианской скважины поступает в оросительный холодильник I. Ее температура на выходе из холодильника измеряется термосопротивлением ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модулем (ADAM-5013) (1-1), нормированный сигнал которого поступает на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) и канал РК-131/300 (1-2) с выходом на ЦАП (ADAM-5024) и сигнализацию заданных значений температуры на пультах ПТК и АРМ технолога. В случаях превышения заданной температуры на пультах ПТК и АРМ технолога загораются лампочки НЛ1. Охлажденная минеральная вода подается в установку II для обеззараживания ультрафиолетовым излучением бактерицидных ламп, а затем направляется в резервуары III. Контроль верхнего уровня в резервуарах осуществляется датчиками (2-1) и (3-1), нормированный сигнал которых посредством АЦП (ADAM-5017) поступает на каналы РК-131/300 (2-2) и (3-2) с выходом на ЦАП (ADAM-5024) и сигнальные лампочки НЛ2 и НЛ3, смонтированные на пультах ПТК и АРМ технолога.

Установка для обеззараживания воды укомплектована специальными средствами сигнализации и управления на пультах ПТК и АРМ технолога, позволяющими осуществлять включение и контроль работы бактерицидных ламп. Минеральная вода из резервуаров III подается на механическую очистку на фильтр-пресс IV. Контроль за работой фильтра-пресса осуществляется по перепаду давления на дифманометре (6-1), расположенном по месту, нормированный сигнал которого посредством АЦП (ADAM-5017) поступает на регистрацию на АЦПУ пульта ПТК и и АРМ технолога (6-2). Затем минеральная вода вновь охлаждается в охладителе V.

Температура воды на выходе из охладителя регулируется САР путем воздействия на расход рассола для охлаждения. Термосопротивление ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модуль

(ADAM-5013) (4-1) формирует нормированный сигнал, который поступает на отображение (телемонитор и АЦПУ) пульта ПТК и АРМ технолога и на логико-программный канал РК-131/300 (4-2), управляющий посредством ЦАП (ADAM-5024) клапаном (4-3) на протоке рассола через охладитель.

Охлажденная минеральная вода через промежуточный бачок VI поступает в сатуратор VII для насыщения ее диоксидом углерода. Автоматическое поддержание уровня осуществляется в промежуточной бачке с помощью датчиков емкостного уровнемера (7-1) и (7-2), нормированный сигнал которых посредством АЦП (ADAM-5017) поступает на логико-программный канал РК-131/300 (7-3), управляющий посредством ЦАП (ADAM-5024) и магнитного пускателя (7-6) электроприводом (7-7) клапана подачи воды, на сигнализацию и на ключ управления режимом на пультах ПТК и АРМ технолога. Аналогично организовано регулирование уровней в сатураторе (контур 8). После насыщения диоксидом углерода минеральная вода подается на вторичное обеззараживание излучением бактерицидных ламп в установку II. Отсюда она направляется в разливочную машину.

#### **19.4. АСУТП ПРИЕМА И ПЕРЕРАБОТКИ ВИНОГРАДА НА ЗАВОДАХ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ**

В процессе приемки винограда в целях дальнейшего получения из него виноградного сока на заводах первичной переработки определяется масса и оценивается качество поступающего сырья. Систему управления приемом винограда на заводах первичной переработки сырья (рис. 19.4) можно реализовать с помощью АСУТП в режиме «Советчика», построенной согласно схеме, представленной на рис. 15.3 в.

АСУТП отделением приема винограда на заводах представляет собой РСУ малого масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** автовесы 1, пробоотборник 2, вакуум-бачок 3, промежуточный сборник 4, вакуум-насос 5, кювету 6, сборник 7.

**Основные компоненты системы:** контроллеры РК-131/300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных воздействий; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием;

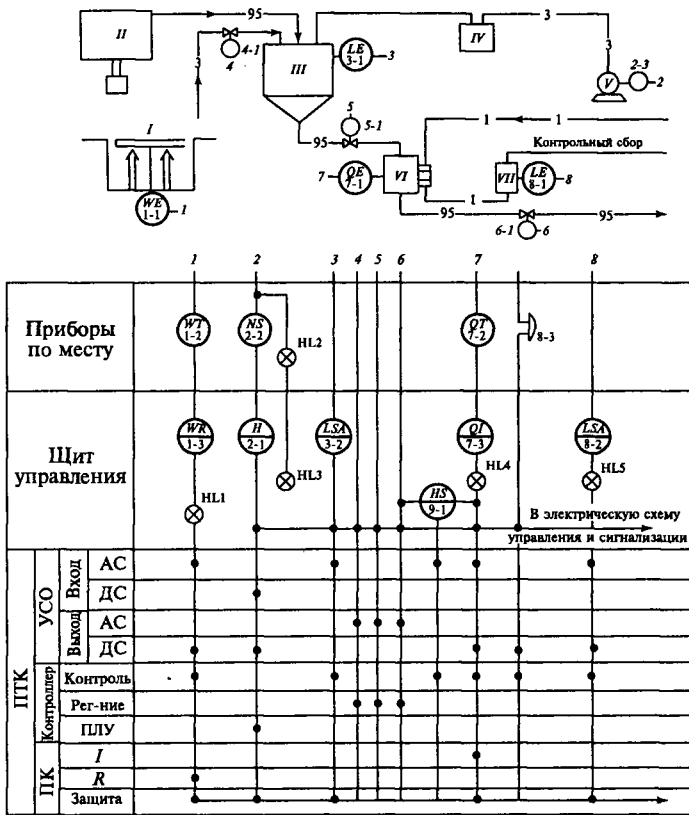


Рис. 19.4. Схема системы управления приемом винограда на заводах

станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисководами (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (рис. 19.4) составляет: число входных и выходных сигналов — 8/8, т. е. 16. Из них контролируемых аналоговых (уровень, вес, величина рН) — 4; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 4; дискретных управляющих — 1; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 3; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 17, из них: аналоговых параметров — 4; входных дискретных — 4; выходных дискретных — 9. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

## Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 + 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 + 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 + 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера РК-131/300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 60/96, контуров регулирования — 16. Использовано: аналоговых входов/выходов — 4/4; дискретных входов/выходов — 4/9. Контуров регулирования — нет.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Автомашина с виноградом поступает на автовесы I. Сигнал тензодатчика (1-1), характеризующий массу поступившего сырья, передается на АЦП (АДАМ-5017) и нормированный преобразователь (1-2) и далее поступает на регистрацию на АЦПУ (1-3) операторской станции, а также АРМ технолога и на цифровое световое табло HL1 пульта ПТК.

После взвешивания приводится в действие пробоотборник II и с помощью кнопки управления (2-1) с пульта ПТК или АРМ технолога посредством магнитного пускателя (2-2) включается электродвигатель (2-3) вакуум-насоса V. О пуске электродвигателя сигнализируют лампочки HL2 (по месту) и HL3 (на пультах ПТК и АРМ технолога). Вакуум-насос V через промежуточный сборник IV осуществляет забор виноградного сусла из пробоотборника II в вакуум-бачок III. При достижении заданного уровня, контролируемого датчиком уровня (3-1), срабатывает электронный сигнализатор уровня (3-2), соединенный с электрической схемой управления, и вакуум-насос V останавливается, посредством электромагнитного клапана (4-1) открывается доступ воздуха в вакуум-бачок, и вакуум ликвидируется. С помощью электромагнитных клапанов (5-1) и (6-1) открываются вентили протока виноградного сусла через кювету VI. Это необходимо для промывки в течение нескольких секунд призмы рефрактометра. После этого электромагнитный клапан (6-1) обесточивается и вентиль закрывается, прекращая сток сусла. В результате этого происходит наполнение кюветы VI и замыкается цепь высокоомного преобразовательного устройства (7-2) рефрактометра

(7-1). Выходной сигнал рефрактометра поступает на регистрацию на АЦПУ (7-3) и цифровое табло HL4 пульта ПТК и АРМ технолога. Результат измерения сахаристости суслу печатается на квитанции и одновременно высвечивается на цифровом табло. Через несколько секунд по окончании измерения и печати схема измерения сахаристости возвращается в исходное состояние.

Для охлаждения источника света в датчике рефрактометра (7-1) используется проточная вода. Ее подача контролируется датчиком уровня (8-1), установленным на контролируемом сборнике VII. В случае прекращения протока воды электронный сигнализатор уровня (8-2) включает звонок (8-3) и одновременно отключает цепь питания рефрактометра. Оператор (технолог), приняв сигнал, снимает его и принимает необходимые меры по ликвидации неисправности. В схеме управления предусмотрены ручной и автоматический режимы работы, выбор режима осуществляют посредством ключа (9-1) на пульте ПТК и АРМ технолога.

## **19.5. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКОЙ ВИНОГРАДА**

Поступивший на завод виноград направляется в дробильно-прессовое отделение (рис. 19.5). Из приемных бункеров-питателей III виноград поступает в дробилку II. В процессе дробления из него образуется мезга, стекающая в сборник I и на гребни транспортера. Мезга из сборника насосом III подается в зависимости от выбранной технологической схемы переработки либо в общий бункер-стекатель IV и пресс V, либо в настойную емкость VIII. Сусло-самотек и прессовое сусло поступают в сборники VI, откуда насосами Н2 и Н3 перекачиваются в отстойники VII. Отпрессованная виноградная выжимка транспортером отводится в цех-утилизатор.

Схема управления дробильно-прессовым отделением предусматривает последовательное управление приводами оборудования отделения, а также обеспечивает заполнение емкостей, контроль и защиту от переливов.

Система управления дробильно-прессовым отделением переработки винограда (рис. 19.5) может быть реализована с помощью АСУТП, действующей в информационном режиме и построенной согласно схеме, представленной на рис. 15.3 в.

АСУТП отделения переработки винограда представляет собой РСУ малого масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

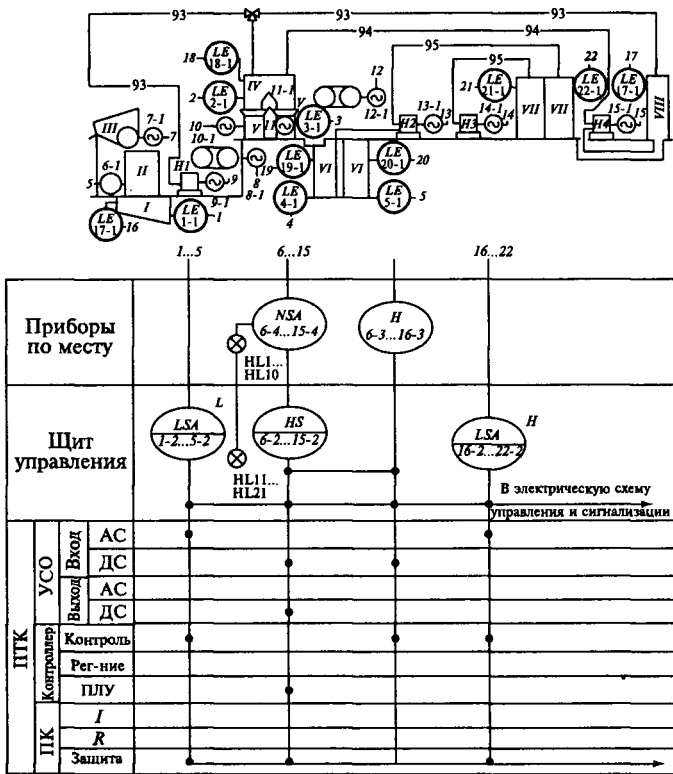


Рис. 19.5. Схема системы управления переработкой винограда

**Объект управления включает:** сборник мезги 1, дробилку 2, бункер-питатель 3, бункер-стекатель 4, пресс 5, сборник сула 6, отстойник 7, настойную емкость 8.

**Основные компоненты системы:** контроллеры РК-131/300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от воздействий электромагнитных полей; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД РВ; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 19.5): общее число входных и выходных сигналов — 22/22, т. е. 44. Из них контролируемых аналоговых (уровень) — 12; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 12; дискретных управ-

ляющих — 10; контуров регулирования — 0; запорной арматуры — 0; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 53, из них: аналоговых параметров — 12; входных дискретных — 10; выходных дискретных — 31. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \pm 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \pm 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \pm 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска: системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера РК-131/300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 60/96, контуров регулирования — 16. Использовано: аналоговых входов/выходов — 12/12; дискретных входов/выходов — 10/31. Контуров регулирования — нет.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Пуск линии переработки винограда осуществляется включением электродвигателя дробилки (6-1) с помощью электрической схемы управления с пульта ПТК и АРМ технолога с выдержкой времени при отсутствии мезги в сборнике, уровень которой контролируется датчиком уровня (1-1), соединенным с сигнализатором уровня (1-2). После запуска дробилки через определенное время, обеспечивающее ее разгон, с пульта ПТК и АРМ технолога включают электродвигатель шнека бункера-питателя (7-1), а затем — электродвигатель транспортера гребней (8-1). При заполнении сборника мезгой до заданного уровня включается электропривод (9-1) насоса III, и мезга в зависимости от положения ключа выбора технологического режима подается либо в настойную емкость, либо в приемный бункер-стекатель.

Блокировка насоса III осуществляется при достижении верхнего уровня мезги в настойной емкости, контролируемого датчиком уровня (17-1), соединенным с электронным сигнализатором уровня (17-2); нижнего уровня в мезгасборнике, контролируемого датчиком уровня (1-1) электронного сигнализатора уровня (1-2); нижнего уровня в башнях-стекателях, контролируемого датчиком уровня (18-1) электронного сигнализатора уровня (18-2); верхнего



уровня в левом суслосборнике, контролируемого датчиком уровня (19-1) электронного сигнализатора уровня (19-2); верхнего уровня в правом суслосборнике, контролируемого датчиком уровня (20-1) электронного сигнализатора уровня (20-2). При достижении мезгой в стекателях нижнего уровня, контролируемого датчиками уровня (2-1) и (3-1) электронных сигнализаторов уровня (2-2) и (3-2) соответственно с пульта ПТК и АРМ технолога включаются электроприводы (10-1) и (11-1) прессов. После окончания их работы включают электропривод (15-1) транспортера выжимки.

Управление электроприводами насосов Н2 и Н3 (13-1) и (14-1) осуществляют по нижнему уровню жидкости в суслосборниках, контролируемому соответственно датчиками уровня (4-1) и (5-1) электронных сигнализаторов уровня (4-2) и (5-2), а также по верхнему уровню в отстойниках, контролируемому соответственно датчиками уровня (21-1) и (22-1) электронных сигнализаторов уровня (21-2) и (22-2). Управление электроприводом насоса Н4 (15-1) осуществляют по верхнему уровню в бункере-стекателе, контролируемому датчиком уровня (18-1) электронного сигнализатора уровня (18-2), и верхнему уровню в суслосборниках, контролируемому датчиками уровня (19-1) и (20-1) соответствующих электронных сигнализаторов уровня (19-2) и (20-2). Сигнализация уровней и состояния электродвигателей выведена на пульт ПТК и АРМ технолога. Переключение на технологическую схему получения сушла осуществляется трехходовым краном выбора технологического режима и ключом выбора режима в электрической схеме управления с пультов ПТК и АРМ технолога.

## 19.6. АСУТП МОЙКИ В БУТЫЛОМОЕЧНОЙ МАШИНЕ

Процесс мойки стеклотары является необходимым этапом рассматриваемых производств. Задача мойки — очистка поверхности стекла от грязи, пыли и микрофлоры. При такой очистке в бутыломоечной машине осуществляются следующие операции: предварительная обмывка бутылок отработанной теплой водой с температурой 30—35° С для удаления крупных частиц грязи и подогрева бутылок; отмачивание бутылок в концентрированном щелочном растворе (1—1,5%) с температурой 60—65° С; шприцевание бутылок под давлением и их ополаскивание под душем щелочным раствором при температуре 60—65° С; шприцевание под давлением и их ополаскивание под душем теплой водой (30—35° С); шприцевание и ополаскивание бутылок холодной водой.

Главными условиями высококачественной мойки бутылок являются строгое соблюдение температурного режима и поддержание

оптимальной концентрации моющего раствора в ваннах бутыломоечной машины. В бутыломоечной машине 1%-й щелочной раствор готовится смешиванием концентрированного 30%-го NaOH с водой. Затем щелочной раствор подогревается до 60—65°С и направляется в соответствующие ванны на мойку. Теплую воду получают подогреванием холодной воды до 30—35°С. После мойки щелочной раствор очищается и возвращается в расходный бак. При управлении процессом мойки в бутыломоечной машине необходимо поддержание температурных режимов и концентрации щелочного раствора в заданных диапазонах. Схема управления мойкой (рис. 19.6) предусматривает управление уровнем в сборнике II концентрированного 30%-го NaOH регулирующим ПМК с пропорциональным законом регулирования. Регулирование уровня 1%-го щелочного раствора происходит путем изменения подачи концентрированного щелочного раствора в расходный бак III.

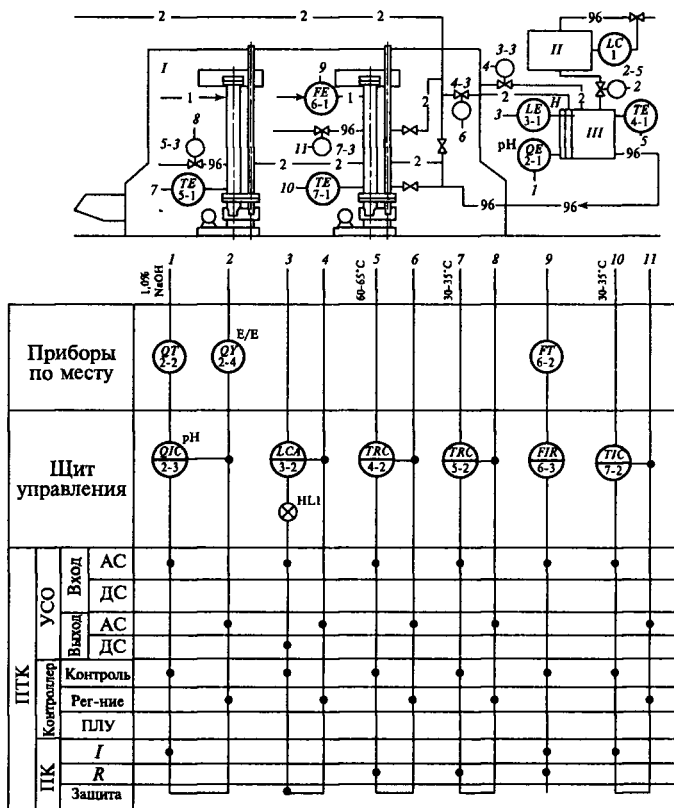


Рис. 19.6. Схема системы управления процессом мойки в бутыломоечной машине

Систему управления процессом мойки стеклотары в бутыломоечной машине можно осуществить с помощью АСУТП (супервизорный режим), построенной согласно схеме, представленной на рис. 15.3 в.

АСУТП мойки в бутыломоечной машине представляет собой РСУ малого масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** бутыломоечную машину, сборники концентрированного NaOH — 2, расходные баки — 3.

**Основные компоненты системы:** контроллеры РК-131/300 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от воздействий электромагнитных полей; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД РВ; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 19.6): общее число входных и выходных сигналов — 11/11, т. е. 22. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, расход, концентрация) — 6; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 5; дискретных управляющих — 0; контуров регулирования — 5; запорной арматуры — 5; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование): аналоговых параметров — 6; входных дискретных — 5; выходных дискретных — 6. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 + 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 + 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 + 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера РК-131/300: аналоговых/дискретных входов/выходов — 60/96, контуров регулирования

ния — 16. Использовано: аналоговых входов/выходов — 6/6; дискретных входов/выходов — 5/6. Контуров регулирования — 5.

Время наработки на отказ контроллера — 60 000 ч (в дублированном исполнении — 120 000 ч).

Для регулирования концентрации 1%-го раствора NaOH используется *pH*-метр, который состоит из датчика (2-1) погружного типа, сигнал которого поступает на высокоомный преобразователь (2-2), откуда нормированный сигнал подается на АЦП (ADAM-5017) и логико-программный канал РК-131/300, затем в *pH*-метр, ЦАП (ADAM-5024), импульсный элемент (2-4) и на регулирующий электромагнитный клапан (2-5), установленный на линии подачи концентрированного NaOH. В качестве импульсного элемента используют импульсный нормирующий преобразователь. Дозу подаваемой щелочи и продолжительность ее слива, обеспечивающую необходимую для ее растворения задержку дозы в расходном баке в целях компенсации инерционности процесса растворения (т. е. инерционности объекта регулирования), осуществляют с помощью соответствующей программы для РК-131/300.

Уровень в расходном баке III контролируется датчиком уровня (3-1), нормированный сигнал которого поступает на АЦП (ADAM-5017) и на логико-программный канал РК-131/300, осуществляющий позиционное управление электромагнитным клапаном (3-3) посредством ЦАП (ADAM-5024) на линии подачи воды в бак и сигнализацию на пульте ПТК и АРМ технолога.

Температура раствора щелочи в расходном баке регулируется термосопротивлением ТСМ и АЦП (ADAM-5017Н) или модулем (ADAM-5013) (4-1), нормированный сигнал которого поступает на регулирующий канал РК-131/300 (4-2) и для отображения на пульте ПТК и АРМ технолога с помощью телемонитора и АЦПУ. Выходной сигнал с РК-131/300 управляет посредством ЦАП (ADAM-5024) электрическим исполнительным механизмом (4-3) клапана подачи пара на подогрев щелочного раствора. Аналогичные САР осуществляют регулирование температуры теплой воды для предварительной обмывки (контур 5) и ополаскивания бутылок (контур 7).

Схемой управления предусмотрен контроль расхода воды в бутыломоечной машине, для чего на трубопроводе подачи воды установлен электромагнитный расходомер (6-1), сигнал которого поступает на нормированный преобразователь (6-2) и АЦП (ADAM-5017), далее — на пульт ПТК и АРМ технолога для отображения и регистрации с помощью телемонитора и АЦПУ (6-3).

## 19.7. АСУТП ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Продуктами длительного хранения называют пищевые массы, наиболее полно кулинарно подготовленные к употреблению и освобожденные от значительной части воды для обеспечения возможности длительного хранения. Эти массы представляют собой механические смеси разных видов предварительно обработанного сырья, полученные по заранее разработанной рецептуре. Продукты длительного хранения могут представлять собой и более сложные смеси, получаемые в процессе технологической обработки сырья.

При этом отдельные виды сырья могут вступать между собой в более тесные связи, и поэтому теряют свои индивидуальные качества.

Основные виды продуктов длительного хранения — разнообразные концентраты (концентраты обеденных блюд, «сухие завтраки», кофе и напитки, заменяющие кофе, пряности), получаемые путем предварительного высушивания сырья, а затем смешивания разных его видов в необходимых пропорциях в сухом виде. В некоторых случаях, например в производстве сухих продуктов детского и диетического питания, сырье предварительно смешивают, а затем в смеси сушат.

Продукты длительного хранения вырабатывают по технологической схеме, которая включает подготовку компонентов, входящих в приготавливаемую смесь, и непосредственное производство этих продуктов (дозирование, смешивание, высушивание, фасование, упаковка). Основными задачами автоматического управления процессами производства продуктов длительного хранения являются контроль и учет количества сырья, направляемого в производство, получение полуфабриката заданной рецептуры и автоматическое регулирование основных параметров процесса.

С точки зрения динамических свойств управляемых процессов отделения приготовления продуктов длительного хранения характеризуются большой инерционностью и значительным запаздыванием, что обуславливает немалую продолжительность переходных процессов. Как объекты управления, процессы производства продуктов длительного хранения могут быть связаны одно- и многоемкостными, статическими и астатическими объектами управления с транспортным запаздыванием и с распределенными параметрами. Примерами одноемкостных статических объектов являются: промежуточные емкости очищенного сырья, бункера, установленные над аппаратами и т. д., на выходе которых размещают насосы постоянной производительности; однемкостных статических — сборники крупы, сушеного мяса, су-

шеного картофеля и т. д.; двухъемкостных статических — варочные и сушильные аппараты, измельчающие машины, смесители и т. д.; объектов с транспортным запаздыванием — транспортеры, нории, шнеки, входящие в линии производства продуктов длительного хранения.

## 19.8. АСУТП ПРИГОТОВЛЕНИЯ ДЕТСКОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ СМЕСИ

К сухим продуктам детского и диетического питания относят злаковые и овощные порошки, выпускаемые в чистом виде или в смеси с сухим молоком и сахаром. Детскую питательную смесь готовят из рисовой, овсяной и гречневой круп. Основными задачами управления здесь (рис. 19.7) являются автоматическое дозирование

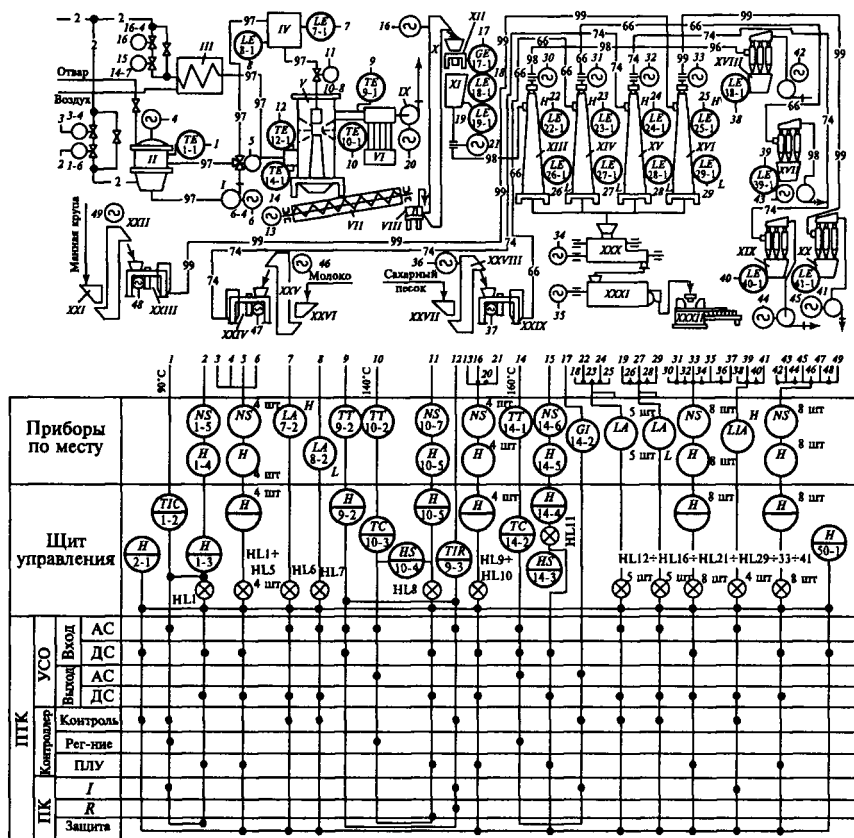


Рис. 19.7. Схема системы управления приготовлением детской питательной смеси

компонентов детской питательной смеси, обеспечение заданных температурных режимов, контроль расходов, а также управление оборудованием, блокировка и сигнализация его работы.

Крупы очищают от примесей, моют и направляют в варочный аппарат. В процессе варки происходит разрушение межклеточных связей и клеток зерна, благодаря чему пищевые вещества круп переходят в воду. Получаемые отвары представляют собой густые коллоидные растворы, вязкость которых резко повышается при снижении температуры, что в значительной степени затрудняет ведение технологического процесса (фильтрование, транспортирование, сушку). После варки в тепловом аппарате ВНИИ КП-2 готовый отвар направляется в подогреватель II, где поддерживается температура 80—90° С. Подогреватель оборудован мешалкой, паровой рубашкой и по существу является резервной емкостью в данном процессе. Однако накапливать жидкие отвары в больших количествах в подогревателе не рекомендуется, так как в них происходит рост кислотности, что приводит к ухудшению качества получаемого продукта.

Систему управления процессом приготовления детской питательной смеси можно реализовать с помощью АСУТП (супервизорный режим) построенной согласно схеме, представленной на рис. 15.3 *в*.

АСУТП приготовления детской питательной смеси представляет собой РСУ среднего масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** насос 1, подогреватель 2, калорифер 3, расходный бак 4, сушилку 5, батарейный циклон 6, винтовой транспортер 7, сито 8, вентилятор 9, ковшовый транспортер-норию 10, приемный бункер 11, автоматические весы 12, осадительные камеры 13, 14, 15 и 16, мультициклоны 17, 18, 19 и 20, бункер для хранения 21, 24 и 28, норрии 22, 25 и 28, вибропросеиватель 23, 24 и 29, дозировочно-смесительную станцию 30, фасовочный автомат 27, электромагнитный сепаратор 31, 32.

**Основные компоненты системы:** контроллеры КР-310 со 100%-м резервированием в количестве — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных полей; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 19.7): общее число входных и выходных сигналов — 49/49, т. е. 98. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура) — 23; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 26; дискретных управляющих — 26; контуров регулирования — 3; запорной арматуры — 3; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) из них: аналоговых параметров — 23; входных дискретных — 26; выходных дискретных — 67. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллере после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-310: аналоговых/дискретных входов/выходов — 120/320, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 23/23; дискретных входов/выходов — 26/67; контуров регулирования — 3.

Время наработки на отказ контроллера — 75 000 ч (в дублированном исполнении — 150 000 ч).

Температура отвара в подогревателе II регулируется путем воздействия на расход проходящего через рубашку пара. Первичный термопреобразователь на сопротивлении ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модуль (ADAM-5013) (1-1) формирует нормированный сигнал и подает его на логико-программный канал КР-310, управляющий посредством ЦАП (ADAM-5024) электромагнитным клапаном (1-6) с использованием магнитного пускателя (1-5), изменяющим подачу пара в темперирующую рубашку подогревателя, нормированный сигнал также поступает для отображения на мониторы пульта ПТК и АРМ технолога. При достижении температуры отвара  $90^{\circ}\text{C}$  электромагнитный клапан закрывается. Для включения мешалки подогревателя используются кнопки управления, расположенные по месту и на пульте ПТК и АРМ технолога. Разгрузочный кран подогревателя открывается только при температуре отвара, находящейся в пределах зоны ре-



гулирования. При этом одновременно с открытием крана 5, осуществляемого исполнительным механизмом (5-4), с помощью кнопок управления на пульте ПТК и АРМ технолога либо по месту магнитного пускателя осуществляется запуск насоса 1, подающего отвар в напорный расходный бак IV сушильного аппарата V.

В расходном баке IV установлены первичные преобразователи уровня (7-1) и (8-1), нормированный сигнал которых поступает на каналы управления (7-2) и (8-2), осуществляющие включение и отключение насоса 1 с соответствующей сигнализацией на пульте ПТК и АРМ технолога. Расходный бак IV имеет переливную трубу, соединенную с подогревателем II, через которую излишек отвара сливается обратно в сборник-подогреватель.

На распылительный диск сушильного агрегата V отвар подается из расходного бака IV насосом, приводимым в движение электродвигателем переменного тока. Диск, являющийся основным рабочим механизмом, установлен на вертикальном валу турбины, изготовлен из нержавеющей стали и имеет верхнее отверстие для подачи продукта к пяти расположенным по периферии диска цилиндрическим форсункам.

Для сушки отваров в промышленности широко используют распылительные установки «Нема», представляющие собой цилиндрическую башню, наружные и внутренние стенки которой выполнены из металла. Сушильная башня имеет два тангенциальных ввода для горячего воздуха и выводное отверстие для отработанного воздуха. Внутри башни размещен оборотный вращающийся механизм, которым высушенный продукт, накопившийся на полу башни, подают к разгрузочному отверстию. Воздух для сушки подогревается в калорифере III.

В схеме управления приготовлением детской питательной смеси предусмотрено регулирование температуры воздуха, поступающего из калорифера. Для этого используется термопреобразователь на сопротивлении ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модуль (ADAM-5013), их нормированный сигнал подается на КР-310 (14-2), который посредством ЦАП (ADAM-5024) и магнитного пускателя (14-6) управляет электромагнитным клапаном (14-7) подачи пара в калорифер.

Схемой предусмотрено также регулирование температуры высушенной питательной смеси на выходе из сушильной башни. Для этого регулирования используется термопреобразователь на сопротивлении ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модуль (ADAM-5013) (10-1), их сигнал поступает на нормированный преобразователь (10-2) и далее — на регулирующий канал КР-310, поддерживающий П-закон регулирования, который посредством ЦАП (ADAM-5024), магнитного пускателя (10-7) управляет электромаг-

нитным клапаном (10-8) подачи жидкого отвара из расходного бака IV. Отработанный в сушильной башне воздух поступает в батарейный циклон VI и затем посредством вентилятора IX выбрасывается в атмосферу. Для включения вентилятора по месту и на пульте ПТК предусмотрены соответствующие кнопки управления.

Высушенный отвар осаждается внизу и отводится из сушилки посредством шнекового винтового транспортера VII, включаемого посредством магнитного пускателя кнопками управления по месту или с пульта ПТК и АРМ технолога. Сушилка оборудована также средствами измерения и регистрации температуры воздуха, поступающего из сушильной башни к батарейному циклону VI, посредством термопреобразователей на сопротивлении ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модулей (ADAM-5013) (12-1 и 9-1), нормированные сигналы которых поступают для отображения (телемонитор и АЦПУ) (9-3) на пульте ПТК и АРМ технолога.

Сухой порошок из сушильной башни попадает на вибрационное сито для отсева комочков. Одновременно с просеиванием порошок охлаждается на сите VIII. Далее ковшовый транспортер-нория X подает высушенный отвар на автоматические весы XII, которые регистрируют выход высушенного продукта с помощью счетчика количества отвесов (17-2). Взвешенная смесь затем поступает в приемный бункер XI, где установлены датчики уровня (18-1) и (19-1), нормированные сигналы которых поступают на АЦП (ADAM-5017), на управляющий канал КР-310 и на сигнализацию на пульт ПТК и АРМ технолога. Датчик верхнего уровня связан с норией подачи отвара в бункер и при достижении отвара верхнего уровня нория автоматически останавливается.

Из приемного бункера пневмотранспортером высушенный отвар подается в осадительную камеру XIII. В камере предусмотрены контроль и сигнализация нижнего и верхнего уровней соответственно датчиками (26-1) и (22-1), нормированные сигналы которых поступают на АЦП (ADAM-5017) и управляющий канал КР-310 с выходом на телемонитор и АЦПУ пульта ПТК и АРМ технолога для регистрации и сигнализации. Аналогичными средствами контролируются уровни в осадительных камерах XIV, XV и XVI. При переполнении всех осадительных камер или любой из них от датчиков верхнего уровня (22-1) ÷ (25-1) посредством КР-310 подаются сигналы на останов соответствующих вентиляторов (21), (30 ÷ 33).

Воздух, отделившись от продукта, проходит через фильтр мультициклона XVIII. В остальные осадительные камеры XIV ÷ XVI поступают соответственно какая-нибудь крупа, молоко, сахар.

Крупа из бункера для хранения XXI посредством нории XXII, включающейся кнопками управления по месту и на пульте ПТК

и АРМ технолога перемещается в просеиватель XXIII и подвергается контрольному просеиванию. Аналогичные операции проводятся и с остальными компонентами, входящими в рецептуру обезвоженных смесей, подающимися с помощью норий XXV, XXVIII из бункеров для хранения XXIV, XXVIII в просеиватели XXVI и XXIX. Применяемые при этом для контрольного просеивания вибропросеиватели XXIII, XXIV, XXIX имеют ситовый кузов, соединенный с эксцентриковым механизмом, который приводится в движение от соответствующих электроприводов.

После вибропросеивания компоненты смеси пневмотранспортом подаются в соответствующие осадительные камеры XIII + XVI, а затем — в мультициклоны XVII—XX. Для предотвращения переполнения мультициклонов в них предусмотрена установка датчиков уровня  $(38-I) \div (41-I)$ , нормированные сигналы которых поступают на АЦП (ADAM-5017) и на логико-программные каналы КР-310. При переполнении бункеров мультициклонов загораются соответствующие лампочки на пульте управления ПТК и АРМ технолога.

Продукты из осадительных камер XIII + XVI поступают на дозирочно-смесительную станцию XXX, где смешиваются. Компоненты по заданным рецептурам дозируются как вручную, так и на весовых устройствах. Дозирование и смешивание компонентов молочных смесей осуществляется на дозирочно-смесительной станции XXX для сыпучих продуктов, состоящей из питающего устройства, объемного дозатора и шнекового смесителя. Станция дозирует компоненты (до четырех одновременно) по заданному объему, подает их в смеситель и после смешивания направляет готовый продукт на следующий процесс.

Из смесителя дозирочно-смесительной станции полученный продукт самотеком проходит на электромагнитный сепаратор XXXI для отделения ферропримесей. Далее очищенный продукт поступает в приемную воронку, расположенную под сепаратором, а ферропримеси, задержанные магнитным экраном сепаратора, непрерывно счищаются с него передвигающимся ползуном узла очистки в специальные ящики. Затем смеси фасуются автоматом XXVII в комбинированные жестяно-картонные банки на полуавтоматических весовых устройствах. При этом осуществляется контроль качества готового продукта в АРМ лаборатории.

Система управления обеспечивает пуск и останов электродвигателей машин и аппаратов по месту и с пульта управления ПТК и АРМ технолога с соответствующей сигнализацией на пульте в целях контроля состояния оборудования линии. Для перехода с автоматического режима управления на ручное предназначен

ключ выбора режима на пульте управления ПТК (50-1) и АРМ технолога.

При организации АРМ технолога необходимая информация о протекании технологического процесса производства и состоянии оборудования линии обеспечивается с помощью сетевых КР-310 и сетевых структур Ethernet-технологии с выходом на ПЭВМ на базе ЭВМ (Pentium I) с необходимой периферией для отображения, регистрации и управления.

### **19.9. АСУТП ПРОИЗВОДСТВА БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА**

Технологическая схема получения белкового концентрата предназначена для полной переработки отходов, образующихся при транспортировке и хранении плодово-овощной продукции. Для производства белкового концентрата используют капустный лист, морковь, свеклу, томаты, огурцы, зелень (петрушка, укроп, сельдерей), арбузы, дыни, яблоки, ягоды и др. Переработка предусматривает биоконверсию отходов путем выращивания на питательных средах, состоящих из этих отходов и дополнительных питательных компонентов, дрожжеподобных микроорганизмов с последующим получением жидкой культуры. Конечный продукт — белковый концентрат — содержит белок и остатки растительного сырья и предназначен для добавок в корм животных и птиц. Схема управления производством белкового концентрата (рис. 19.8) обеспечивает автоматическое поддержание заданных температурных режимов, стабилизацию рН щелочных растворов, регулирование уровня, расхода компонентов смеси и готового концентрата.

Систему управления производством белкового концентрата можно реализовать с помощью АСУТП (супервизорный режим), построенной согласно схеме, представленной на рис. 15.3 в.

АСУТП производства белкового концентрата представляет собой РСУ среднего масштаба, состоящую из подсистем сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок.

**Объект управления включает:** насосы 1, 3, 8 и 10, теплообменник 2, вакуум-выпарную установку 4, сборники 5, 6, 7 и 9, фильтр грубой очистки 11, бактерицидный фильтр 12, сушилку 14, шнек 15, фильтр 16, циклоны 17, затворы 18, бункер 19, упаковочный аппарат 20.

**Основные компоненты системы:** контроллеры КР-310 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I про-

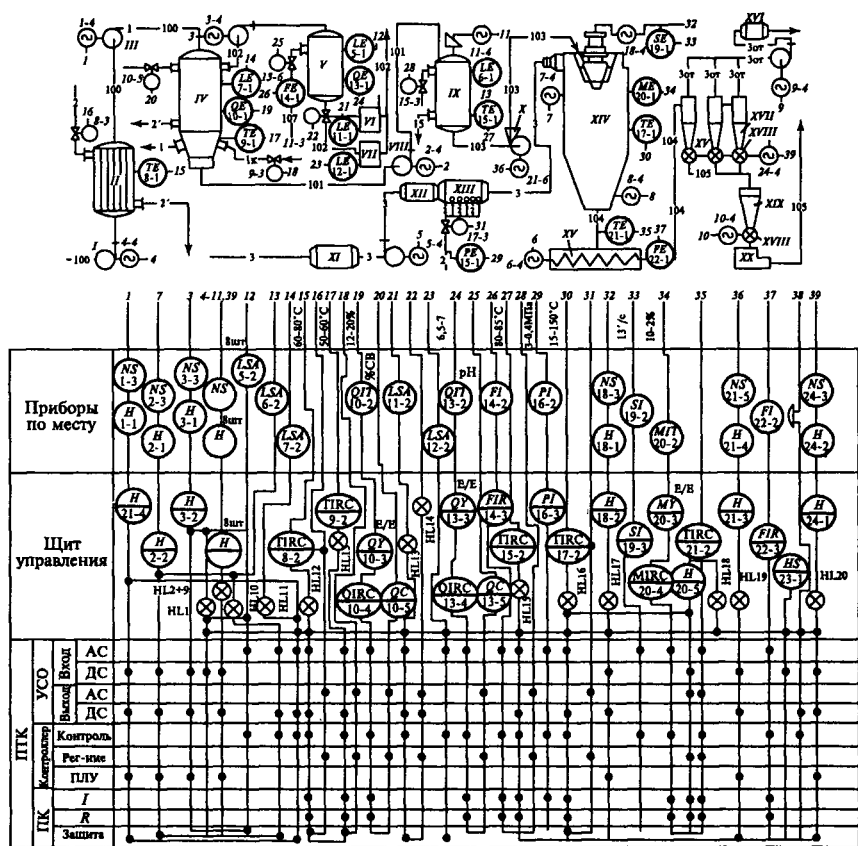


Рис. 19.8. Схема системы управления производством белкового концентрата

мышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных полей; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД РВ; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 19.8): общее число входных и выходных сигналов — 39/39, т. е. 78. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, концентрация, расход, величина рН, влажность) — 16; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 23; дискретных управляющих — 14; контуров регулирования — 6; запорной арматуры — 6; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирова-

ние) — 82, из них: аналоговых параметров — 16; входных дискретных — 23; выходных дискретных — 43. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### Динамика работы АСУТП

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера —  $20 \div 100$  мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре —  $0,2 \div 1,0$  с; цикл смены кадров —  $0,2 \div 1,5$  с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-310: аналоговых/дискретных входов/выходов — 120/320, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 16/16, дискретных входов/выходов — 23/43. Контуров регулирования — 6.

Время наработки на отказ контроллера — 75 000 ч (в дублированном исполнении — 150 000 ч).

Культуральная жидкость из ферментера перемещается насосом в сборник с мешалкой и далее насосом I подается в теплообменник II, где подогревается до  $60 \div 80^\circ \text{C}$ . Автоматическое регулирование температуры культуральной жидкости проводится путем воздействия на расход проходящего через рубашку пара. Термопреобразователь сопротивления ТСМ и АЦП (АДАМ-5017Н) или модуль (АДАМ-5013) (8-1), установленный в теплообменнике, формирует нормированный сигнал, который поступает на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) на пульт ПТК и АРМ технолога, а также на логико-программный канал КР-310 (8-2), управляющий электромагнитным клапаном (8-3) на протоке пара через рубашку теплообменника.

Из теплообменника культуральная жидкость насосом III подается в вакуум-выпарную установку IV, где концентрируется в два-три раза, до содержания сухих веществ  $12 \div 20\%$ . Образующийся конденсат в сборнике V нейтрализуется 10%-м раствором NaOH до  $pH 6,5 \div 7,0$ . Нейтрализованный конденсат используется для приготовления среды, поступающей в ферментатор.

Концентрация сухих веществ в вакуум-выпарной установке регулируется следующим образом. Сигнал от датчика (10-1) поступает на нормированный высокоомный преобразователь (10-2), его нормированный сигнал с помощью АЦП (АДАМ-5017) пода-

ется на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) (10-3) на пульте ПТК и АРМ технолога и на регулирующий канал КР-310, который посредством ЦАП (ADAM-5024) и исполнительного механизма (10-5) воздействует на регулирующий орган на линии подачи пара в вакуум-выпарную установку. Температура воздуха в установке регулируется путем воздействия на расход холодной воды, подаваемой в нее. Нормированный сигнал термопреобразователя на сопротивлении ТСМ и АЦП (ADAM-5017) или модуля (ADAM-5013) (9-1) поступает на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) на пульте ПТК и АРМ технолога, а также на логико-программный канал КР-310 (9-2), смонтированный на пульте, который управляет посредством ЦАП (ADAM-5024) электромагнитным клапаном подачи холодной воды (9-3) в вакуум-выпарную установку, при этом осуществляется сигнализация о случаях превышения заданной температуры с выходом на пульт ПТК и АРМ технолога (аналогично тому, как это делается в контуре 8).

Уровень в вакуум-выпарной установке регулируется с помощью датчика уровня (Барс-311) (7-1), нормированный сигнал которого поступает на АЦП (ADAM-5017Н) и логико-программный канал КР-310 (7-2), управляющий включением и выключением насоса подачи культуральной жидкости в вакуум-выпарную установку. В схеме предусмотрена световая сигнализация в случае отклонения температуры воздуха от допустимой, а также в случае превышения допустимого уровня с выходом посредством ЦАП (ADAM-5024) на пульт ПТК и АРМ технолога.

Уровень конденсата в сборниках VI и VII регулируется с помощью датчиков уровня (Барс-311) (11-1) и (12-1), нормированный сигнал которых поступает на АЦП (ADAM-5017Н) и на регулирующие каналы КР-310 (11-2 и 12-2), управляющие посредством ЦАП (ADAM-5024) электроприводом 11-3 клапана подачи конденсата в емкости. Образующийся конденсат нейтрализуется 10%-м раствором NaOH до  $pH$   $6,5 \div 7,0$ . Величина  $pH$  контролируется следующим образом. Сигнал от погружного датчика  $pH$  (13-1) поступает на высокоомный преобразователь (13-2) и АЦП (ADAM-5017), нормированный сигнал которого подается на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) (13-3) на пульте ПТК и АРМ технолога, а также на смонтированный на нем регулирующий канал КР-310 (13-4), который через ЦАП (ADAM-5024) управляет исполнительным механизмом (13-5) клапана подачи 10%-го раствора NaOH.

Уровень в конденсаторе V регулируется с помощью датчика уровня (Барс-311) (5-1), нормированный сигнал которого поступает на АЦП (ADAM-5017) и на логико-программный канал

КР-310 (5-2), управляющий через ЦАП (ADAM-5024) электроприводом подачи упаренной культуральной жидкости в теплообменник II. Нейтрализованный конденсат используется для приготовления питательной среды. Упаренная культуральная жидкость, содержащая 12—20% сухих веществ, насосом VIII подается в сборник IX с мешалкой, где осуществляется термоллиз упаренной культуральной жидкости. Уровень жидкости в сборнике IX регулируется аналогично тому, как это делается в сборнике 5 (контур регулирования 6), а температура — аналогично регулированию температуры культуральной жидкости в вакуум-выпарной установке IV (контур 17).

Полученные в сборнике IX продукты термоллиза насосом X подаются в сушилку. Концентрат высушивается в распылительной сушилке XIV типа СРЦ и далее с помощью шнека XV проходит циклоны XVII, затворы XVIII и поступает в бункер XIX, откуда попадает в упаковочный автомат XX. Отработанный воздух из циклонов XVII через фильтр XVI выводится наружу. Температура воздуха, выходящего из сушильной башни, поддерживается в пределах  $75 \div 85^\circ \text{C}$ .

В схеме приготовления белкового концентрата имеется калорифер XIII для подогрева воздуха, поступающего через фильтр грубой очистки XI и бактерицидный фильтр XII. Регулирование температуры осуществляется по контуру 17. Для этого в сушилке XIV устанавливается модуль ADAM-5013 (17-1), нормированный сигнал которого поступает на отображение и регистрацию (телемонитор и АЦПУ) на пульте ПТК и АРМ технолога, а также на логико-программный канал КР-310 (17-2), управляющий посредством ЦАП (ADAM-5024) клапаном на линии подачи пара, при этом осуществляется сигнализация о превышении заданной величины температуры с выходом на пульт ПТК и АРМ технолога. Температура воздуха, выходящего из сушильной башни XIV, регулируется по контуру 21 (аналогично контуру 17) путем воздействия на расход ферментного раствора, подаваемого на распылительный диск.

В схеме предусмотрена аварийная звуковая и световая сигнализация в случае отклонения температур воздуха, выходящего и входящего в сушильную башню, от допустимых с выходом на пульт ПТК и АРМ технолога. Кроме того, в схеме предусмотрены: выключение звуковой сигнализации кнопкой (23-1), перевод системы с автоматического управления на ручное переключателем (21-3), ручное управление регулируемым приводом насоса для ферментного раствора по месту с помощью кнопок (21-4), смонтированных на пультах ПТК и АРМ технолога.



Для контроля частоты вращения электродвигателя распылительного диска используется вольтметр (19-1) и АЦП (ADAM-5017) с выходом на телемонитор (19-2) ПТК и АРМ технолога. Схемой предусмотрен автоматический и ручной пуск электродвигателей вентиляторов, насосов, машин и аппаратов линии. Для этого по месту и на пультах ПТК и АРМ технолога размещены кнопки и ключи выбора режима с выходом на сигнализацию.

#### **19.10. АСУТП ПРОИЗВОДСТВА КОНЦЕНТРАТОВ СЛАДКИХ БЛЮД**

Концентраты сладких блюд получают из яблочного пюре и томатной пасты методом пеносушки. Схема управления пеносушкой (рис. 19.9) используется также для производства сухих муссов быстрого приготовления. Продукт вручную или насосом подается в один из приемных баков II и III, где перемешивается мешалкой и темперируется. Далее оттемперированный продукт насосом-дозатором V подается в пеногенератор VI, взбивается и поступает в бункер VII с насадкой, регулирующей толщину пены на ленте. Выходящая из бункера пена наносится на проходящую ленту и вместе с ней подается в зону предварительной сушки. Здесь пена слегка подсушивается, а затем подается на вальцы IX, X и XI для окончательной сушки. Высушенный продукт поступает на вал XII, где охлаждается и переносится в зону съема продукта. Снятый с ленты продукт поступает на транспортер — просеиватель XIV, просеивается и транспортируется для загрузки в крафт-мешки с полиэтиленовым вкладышем.

В схеме предусмотрен механизм XIII чистки и мойки ленты после снятия с нее продукта. Чистка осуществляется щеткой, совершающей колебательно-вращательное движение. Для мойки используется щетка, также совершающая колебательно-вращательное движение. В зону контакта щетки с лентой форсунками подается вода. При необходимости можно подавать воду и в зону чистки, для чего в схеме предусмотрены насосы и форсунки. Вода после мойки стекает в баки, а оттуда через фильтры попадает в насосы, которые снова подают ее к форсункам. При достижении определенной концентрации грязи в моющей воде раствор удаляют и бак заполняют чистой водой. После мойки лента перемещается в зону ополаскивания чистой водой, которая затем удаляется в канализацию.

Сушку ленты проводят резиновым скребком, удаляющим воду с ее поверхности. В схеме предусмотрены также вариаторы IV и VIII для регулирования частоты вращения щетки. Схема управления обеспечивает заданные температурные режимы процесса приготовления концентратов сладких блюд (киселей, муссов



**Объект управления включает:** сборник 1, приемные баки 2 и 3, вариаторы 4 и 8, насос-дозатор 5, пеногенератор 6, бункер 7, вальцы 9, 10 и 11, вал 12, механизм чистки и мойки ленты 13, транспортер-дозатор 14, станцию сбора сухого продукта 15.

**Основные компоненты системы:** контроллеры КР-310 со 100%-м резервированием — 3; АРМы оператора-технолога, начальника отделения и лаборатории на базе ЭВМ (Pentium I промышленного исполнения) и 20" мониторов с повышенной защитой от электромагнитных полей; сетевые средства — 10 Мбит Ethernet-технологии со 100%-м резервированием; станция архивирования в комплекте со сменными магнитооптическими дисковыми (640 Мбайт); сервер БД РВ; принтеры; пакеты программ Трейс Моуд; конструктивы — 19" шкаф (RITTAL).

Информационная мощность АСУТП (см. рис. 19.9): общее число входных и выходных сигналов — 57/57, т. е. 114. Из них контролируемых аналоговых (уровень, температура, давление) — 38; контролируемых дискретных (с учетом запорной арматуры) — 19; дискретных управляющих — 11; контуров регулирования — 7; запорной арматуры — 7; противоаварийных защит и блокировок (100%-е резервирование) — 95, из них: аналоговых параметров — 38; входных дискретных — 19; выходных дискретных — 38. Система управления реализована с «горячим» резервированием в трех комплектах.

### **Динамика работы АСУТП**

Максимальный период опроса датчиков на контроллере: дискретный вход — 100 мкс, аналоговый вход — 1 мс; максимальное время реакции на аварийные сигналы: при обработке в цепях аварийной защиты на уровне контроллера — 20 + 100 мс, при передаче к пультам оператора — 200 мс; цикл смены данных на пульте операторов при 200 динамических элементах в кадре — 0,2 + 1,0 с; цикл смены кадров — 0,2 + 1,5 с; минимальное время реакции на команду оператора — 0,2 с; время полного перезапуска системы после отключения питания — 30 с, контроллеров после отключения питания — 20 с.

Информационная мощность контроллера КР-310 аналоговых/дискретных входов/выходов — 120/320, контуров регулирования — 32. Использовано: аналоговых входов/выходов — 38/38; дискретных входов/выходов — 19/38. Контуров регулирования — 7.

Время наработки на отказ контроллера — 75 000 ч (в дублированном исполнении — 150 000 ч).

В схеме управления в целях исключения недопустимого повышения давления в магистралях подачи пара в вальцы IX, X, XI, а также в приемных баках II и III размещены по месту встроенные логико-программные ПЛК (РК-131). Давление до и после ПЛК-1 и ПЛК-2 измеряется с помощью преобразователя разности давлений ДРЕ-002 с выходом на нормирующий модуль аналогового ввода (ADAM-5017) (3-1) и далее — на ПЛК РК-131 (1 и 2), которые осуществляют регулирование давления пара в магистрали с помощью модуля вывода (ADAM-5024) и клапанов 42, 43, 44. Давление пара, поступающего на вальцы IX, X и XI, контролируется с помощью датчика разности давлений ДРЕ-002 (5-1 и 7-1) и АЦП (ADAM-5017Н), а поступающего пара в рубашки приемных баков II и III — с помощью ДРЕ-002 (10-1) и (11-1) и АЦП (ADAM-5017) в комплекте с ПЛК РК-131 (по аналогии с контурами 1 и 2) с отображением на мониторе пульта ПТК и АРМ технолога.

Давление продукта перед пеногенератором контролируется с помощью преобразователя давления ЗОНД-10 с выходом на нормирующий модуль ADAM-5017 (20-1), сигнал которого поступает на отображение (телемонитор 20-2) на пульте ПТК и АРМ технолога. При необходимости давление продукта можно уменьшить (или увеличить), изменяя подачу газа из баллона I. Датчиками давления ЗОНД-10 контролируют давление ледяной воды, а также пара в коллекторах перед вальцами IX, X и XI с выходом на пульт ПТК и АРМ технолога. Схемой предусмотрено также автоматическое регулирование давления пара в каждом из греющих вальцов (30, 33) и (36). В состав контура регулирования давления пара в греющем вальце IX входит датчик давления ЗОНД-10, с него сигнал подается на нормирующий модуль (ADAM-5017), далее — на отображение (телемонитор на пульте ПТК и АРМ технолога) и на логико-программный канал КР-310, регулирующее воздействие которого посредством модуля вывода (ADAM-5024) передается на клапан (30-4). Аналогичен состав САР давления пара в греющих вальцах X и XI (33) и (35).

Схема управления обеспечивает регулирование температуры продукта в приемных баках II и III и температуры пены после пеногенератора. Температура продукта в баке II контролируется, термопреобразователем на сопротивлении ТСМ и АЦП (ADAM-5017Н) или нормирующим модулем (ADAM-5013) (12-1), сигнал которого поступает на отображение (телемонитор и АЦПУ на пульте ПТК и АРМ технолога) и на логико-программный канал КР-310, который посредством модуля вывода (ADAM-5024) управляет вентилем с электромагнитным приводом (12-6), прекращая подачу пара в рубашку приемного бака II.

Аналогично осуществляется регулирование температуры продукта в приемном баке III (контур 15).

САР температуры после пеногенератора состоит из преобразователя на термосопротивлении ТСМ и АЦП (ADAM-5017H) или нормирующего модуля (ADAM-5013) (22-1), его сигнал поступает на отображение (телемонитор и АЦПУ) на пульте ПТК и АРМ технолога (22-2) и на логико-программный канал КР-310 (22-3), который управляет исполнительным механизмом (22-4), воздействующим на регулирующий клапан. Аналогично осуществляется регулирование температуры ленты на охлаждающем вальце XII (контур 40). Термопреобразователи на сопротивлениях ТСМ (31-1, 34-1, 37-1, 38-1), сигналы которых поступают на АЦП (ADAM-5017H) или нормирующие модули ввода (ADAM-5013), осуществляют контроль температуры ленты на вальцах IX, X, XI и температуры продукта на вальце XI с помощью телемонитора и АЦПУ на пульте ПТК и АРМ технолога.

Сигнализация уровней продукта в приемных баках II и III, а также в пеносборнике VII осуществляется датчиками уровня Барс-311 (16-1) и (16-2) в комплекте с модулем ввода (ADAM-5017), нормированный сигнал которого поступает на встроенный ПЛК (РК-131) (16-4), осуществляющий регулирование верхних уровней с выходом на сигнализацию посредством ЦАП (ADAM-5024) на пульте ПТК и АРМ технолога. Сигнализация об отсутствии продукта на ленте происходит с помощью термопреобразователя ТСМ и АЦП (ADAM-5017H) или нормирующего модуля ввода (ADAM-5013), откуда сигнал поступает на контроллер КР-310 (27-2) с одновременным выходом на сигнализацию о наличии продукта на ленте перед вальцом IX посредством ЦАП (ADAM-5024) на пульте ПТК и АРМ технолога. При отсутствии продукта на ленте и, следовательно, при увеличении температуры звучит сирена и загорается лампочка HL10 на пульте ПТК и АРМ технолога. Аналогично осуществляется и сигнализация о наличии продукта на ленте перед вальцами X и XI (контур 28 и 29). Пуск и останов всех электродвигателей, кроме электродвигателей мешалок и станции сбора сухого продукта XV, осуществляются с пульта ПТК и АРМ технолога. Мешалки приемных баков и станция сбора сухого продукта XV имеют посты управления, размещенные по месту, а также могут регулироваться посредством АРМ оператора-технолога.

Нагрузка электродвигателей насоса-дозатора V и пеногенератора VI контролируется устройствами измерения силы тока (21-4) и (23-3) на пультах ПТК и АРМ технолога, где размещена и кнопка аварийного останова всех электродвигателей (50-1).

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ, ТЕМЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Состав и структура АСУТП производства безалкогольных напитков.
2. Структура микропроцессорных средств управления этими производствами.
3. Система управления приготовлением кваса.
4. Система управления приготовлением томатного сока.
5. Система управления розливом минеральной воды.
6. Система управления приемом винограда на заводах первичной переработки сырья.
7. Система управления переработкой винограда.
8. Система управления процессом мойки в бутыломоечной машине.
9. Состав и структура АСУТП производства продуктов длительного хранения.
10. Структура микропроцессорных средств управления этими производствами.
11. Система управления процессом приготовления детских питательных смесей.
12. Система управления процессом приготовления белкового концентрата.
13. Система управления процессом приготовления концентратов сладких блюд.
14. Особенности АСУТП приготовления кваса.
15. Какие задачи решаются системой управления ТП производства кваса?
16. Что включает объект управления при производстве кваса?
17. Каковы основные компоненты АСУТП приготовления кваса?
18. Особенности АСУТП приготовления томатного сока.
19. Что включает объект управления при производстве томатного сока?
20. Основные компоненты АСУТП приготовления томатного сока.
21. Приведите схему управления розливом минеральной воды.
22. Что включает объект управления при розливе минеральной воды?
23. Перечислите основные компоненты АСУТП розлива минеральной воды.
24. Что представляет собой АСУТП отделением приема винограда на заводе?
25. Перечислите основные компоненты АСУТП приема винограда. Их назначение.
26. Что включает система управления переработкой винограда?
27. Что является объектом управления при переработке винограда на заводе?
28. Перечислите основные компоненты АСУТП переработки винограда.
29. Как происходит процесс мойки стеклотары?
30. Особенности АСУТП производства продуктов длительного хранения.
31. Особенности АСУТП производства белкового концентрата.
32. Особенности АСУТП производства концентратов сладких блюд.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информатизация общества — глобальный социальный прогресс сбора, накопления, обработки, хранения, передачи и использования информации, осуществляемый на основе современных средств вычислительной техники, а также на базе разнообразных средств информационного обмена.

Известно, что информационные технологии — это совокупность конкретных технических и программных средств, с помощью которых выполняются различные операции по обработке информации во всех сферах повседневной жизни и деятельности, в том числе при производстве продуктов питания.

Бурное развитие в последние годы теории и практики создания современных автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами с широким использованием информационных технологий свидетельствует о том, что решение проблем разработки систем управления зависит уже не от искусства отдельных научных работников, а от наличия унифицированных решений, единой технологии.

Использование информационных технологий существенно повышает уровень автоматизации процессов управления, дает мощный толчок развитию АСУ, позволяет решать комплексные задачи автоматизации гораздо более эффективно, чем при применении традиционных средств.

На совещании руководства страны с ведущими учеными в области информационных технологий, которая является важным направлением в дальнейшем развитии экономики Российской Федерации, в г. Новосибирске сформулированы основные задачи в этой области. Активное применение информационных технологий в народном хозяйстве будет способствовать росту валового продукта и в основном решит проблему удвоения его к 2010 г.

Для решения этой важнейшей задачи необходима подготовка квалифицированных специалистов для овладения новыми технологиями производства продуктов питания, информационными технологиями по управлению системами производства на базе современной микропроцессорной техники.

Современные многоуровневые системы управления должны строиться по объективному принципу: каждый уровень СУ соответствует некоторому уровню технологического объекта управления, а каждому элементу СУ — один или несколько элементов технологического объекта управления соответствующего уровня. Построение такого соответствия значительно повышает надежность системы и уменьшает интенсивность сетевых обменов, так как ввод-вывод информации и ее обработка максимально локализуется.

В последнее время наблюдается тенденция рационального использования микропроцессоров, встраиваемых в интеллектуальные приборы и блоки ввода-вывода. Это обусловило появление идеологии *Fieldbus Foundation*, ставящей своей целью перенос типовых алгоритмов переработки измерительной информации (фильтрации, масштабирования, линеаризации и т. п.), регулирования (стабилизации, слежения, каскадного управления и т. п.), логического управления (пуска, остановки, блокировки и т. п.) на самый нижний уровень интеллектуальных блоков ввода-вывода, датчиков и исполнительных механизмов.

Существующая в настоящее время типизация отдельных программных и технических средств и их открытость к средствам других фирм позволяют системным интеграторам не разрабатывать, а собирать из отдельных программных и технических модулей и средств разных фирм достаточно большие ПТК и СУ, ориентированные на автоматизацию конкретных объектов пищевых производств.

В области контроля и управления технологическими процессами, где необходимо давать прогноз развития, специалисты рекомендуют осуществлять эту работу, применяя как математические средства, т. е. технологию математического моделирования, так и технические и программные средства, используя практический опыт и интуицию.

Соответственно должны повышаться квалификация специалистов, осуществляющих аналитический и практический прогнозы развития процессов в теории управления, а также совершенствоваться система их подготовки.



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Аристова Н. И., Корнеева А. И.* Промышленные программно-аппаратные средства на отечественном рынке. АСУТП. МИФИ. М., 2001.— 399 с.
2. *Благовещенская М. М.* и др. Автоматика и автоматизация пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1991.— 239 с.
3. *Дудников Е. Г.* Автоматическое управление в химической промышленности. М.: Химия, 1987.— 367 с.
4. *Злобин Л. А.* Оптимизация технологических процессов хлебопекарного производства. М.: Агропромиздат, 1989.— 174 с.
5. *Злобин Л. А.* Автоматический контроль и управление качеством пищевых продуктов. М.: изд-во МГУПП, 1998.— 276 с.
6. *Калянов Г. Н.* Консалтинг при автоматизации предприятий. М.: ВИНТИ. 1997 — 315 с.
7. *Краснов А. Е., Красуля О. Н., Большаков О. В., Шленская Т. В.* Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности. М., 2001.— 496 с.
8. *Петров И. К., Никитушкина М. Ю.* Метрология, стандартизация и сертификация. Учеб. пособие. М.: изд-во МГУПП, 2001.— 120 с.
9. *Сердобинцев С. П.* Автоматика и автоматизация производственных процессов в рыбной промышленности. М.: Колос, 1994.— 334 с.
10. *Тарбеев Ю. В., Челпанов И. Б., Сирая Т. Н.* Аттестация алгоритмов обработки данных при измерениях. // Измерения, контроль и автоматизация. 2, 3. 1991.— 12 с.
11. Фирма Prosoft. Передовые технологии автоматизации. Каталог изделий. М.: Офис, 1999.— 356 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ<sup>1</sup>

- Автоматизация 6  
— МО 455—456  
— учета и контроля ИС 459—460  
Автоматизированная система 348<sup>2</sup>  
Автоматизированное проектирование  
— — основные понятия и положения 577—578  
Автоматика 54—55  
Адаптивные СУ 505—507  
— —, классификация 505—506  
— — с переменной структурой 506  
— с эталонной моделью 506  
Адрес 227  
Активный эксперимент 517  
— — методы 517—519  
Анализ  
— структурный 508—509  
— функциональный 509  
АРМ 492  
— наладчика 494  
— оператора-технолога 492—494  
— химика-аналитика 620  
Архивация 303  
Ассамблер 231  
АСУ 7  
— выпечкой хлебобулочных изделий 612—617  
— иерархия 546  
— кондитерским производством 680—684  
— отделением выделения спирта 640—644  
— печным агрегатом 614—616  
— производством карамели 693  
—, разработка 578—580  
— сахарорафинадным производством 669—678  
— свеклосахарного завода 647—652  
— — —, структура 647—648  
— — —, уровни управления 649—652  
— складом БХМ 599—603  
— тестоведением 603—606  
— тестоприготовлением 607—612  
— хлебозаводом 596—616  
— —, аппаратное оформление 586—587  
— —, операционная среда 590—591  
— —, основные характеристики 588  
— —, структура 581—583  
— —, — и композиция 589  
— —, уровни управления 584—586  
АСУТП 483, 545  
— брожения 497  
—, виды 551—556  
—, задачи 497, 548  
—, информационное обеспечение 550  
— макаронного производства 617—621  
—, методология проектирования 556—566  
—, методы и функции 500—503  
— мойки бутылок 728—731  
—, оперативный персонал 550  
АСУТП отделения, участка, подразделения 592—596  
— —, критерии выбора аппаратуры 594  
— —, модули 592—593  
— —, уровни 594—596  
— —, функции 594—596  
АСУТП отделения выпаривания 664—669  
— — дефексатуризации 659—664  
— — очистки сиропа сахарного 675  
— — розпускного 672—674  
— — свеклопереработки 655—659  
АСУТП осахаривания 633—636  
— пищевых производств 483—485  
АСУТП 592  
— подработки зерна 627—630  
— приготовления детской питательной смеси 733—739  
— — замеса 630

<sup>1</sup> Составлен А.Г. Гавриловым.

<sup>2</sup> Полу жирным выделены страницы, где даны определения.

— — кваса 711—714  
— — томатного сока 714—719  
— приема и переработки винограда 722—728  
АСУТП, программное обеспечение 550  
АСУТП производства белкового концентрата 739—744  
— — концентратов сладких блюд 744—748  
— — отливных конфет 699—703  
— — печенья 684—692  
— — продуктов длительного хранения 732—739  
— — сахарных кондитерских изделий 692  
— — спирта 622—627  
— — шоколадных масс 706—709  
АСУТП, разработка и проектирование 566—573  
АСУТП разлива минеральной воды 719—722  
— сахарорафинадного производства 669—672  
АСУТП хлебопекарного производства 596—598  
— — —, выпечка 598  
— — —, подача муки 597  
— — —, приготовление дополнительно сырья 597  
— — —, приготовление полуфабрикатов 598  
АСУТП, функции 549—550  
АСУТП, эффективность разработки 580  
Аттестация алгоритмов обработки данных 473—475  
— — — —, задачи метрологов 482  
— — — —, задачи пользователей 481  
— — — —, примеры 479—481  
Аудиоинформация, кодирование 31  
Библиотека программ 247—248  
Байт 25  
Библиотеки динамической компоновки 421—422  
Бизнес-консалтинг 557  
Бит 25, 227  
Буфер 230  
Ведение классификатора 28  
Весы 156—157  
Вискозиметры 188—189  
Влагомер — ЯМР 191—192  
Влагомеры 182—183  
Время разгона 69—70

— —, постоянная 70  
Вычислительная система 219—220  
— —, состав 219  
Гигрометрия 182  
Гигрометры 182—183  
Графики поверки 451—452  
ГСП 200—203  
— —, агрегатные комплексы 205  
— —, классификация устройств 207—208  
— —, методологическая основа 204  
— —, принципы построения 203—204  
— —, характеристика ветвей 200—203  
Давление 150  
— —, методы и средства измерений 150—153  
Датчик 67  
Демодуляция сигналов 127—130  
Дефекосатурация 659  
Диалоговая среда 272—274  
Диспетчерская подсистема 252—256  
Дозатор 157  
— —, виды 157  
Дозирование 533  
— —, виды 533—536  
Драйвер 259  
Драйвер СРД 271—272  
Драйверы ввода-вывода 380—381  
Дружественность диалога 572  
Единица измерения информации 25  
— — физической величины 99  
Законы регулирования 76—77, 80, 223  
— —, виды 80  
— —, выбор 83—88  
— —, типовые 80—83  
Запаздывание емкостное 70  
— — процесса 70  
— — транспортное 70  
Запись 21  
Запоминающее устройство 229—230  
Измерение 99  
— —, точность 99, 102  
— —, средство 99  
Измерения 101—109  
— —, виды 101—102  
— —, методы 101—102  
— —, погрешности 102—109  
Измерительный прибор 99  
ИК-спектроскопия 193  
Индикаторы-сигнализаторы 165  
Интеллектуальный шлюз 310—311  
— —, технические характеристики 311

Интерполяция 38  
— линейная 42  
Интерфейс 244—248  
— компьютерный 244  
— связи 437  
Интерфейс RS-232C 312—313  
— RS-485 313  
—, модуль Ethernet 313—315  
— CAN 418—419  
— сети Profibus 315—316  
Информатизация общества 10  
Информационная неопределенность 64  
Информационно-измерительные системы 540  
Информационное обеспечение 19  
—, основное назначение 20  
—, основные требования 21  
—, — элементы 21  
Информационные массивы 22—25  
—, виды 22—24  
—, классификация 22—25  
Информация 11, 12, 382  
—, виды 12, 16—19  
—, входная 16  
—, выходная 16  
— динамическая 18  
— измерительная 99  
—, классификация 16—18  
—, количественная оценка 469—473  
— нормативная 17  
— нормативно-справочная 17  
— оперативная 20  
— переменная 17  
—, поток 12  
— постоянная 17  
— промежуточная 16  
—, процесс преобразования 543  
—, система сбора и передачи 140—144  
— справочная 18  
Ионометрия 173—179, 192  
Исполнительные механизмы 239—242  
— устройства 237—239  
Калибровка 210  
Качество 447, 457  
— документации 572  
Кибернетика, виды 58—59  
Кибернетические системы 59—60  
Классификация 27  
—, классификатор 468  
Код 27  
Кодирование, методы 30, 227  
Код машинный 227  
Команда 230  
Комплекс Decont 291—292

Компьютеризация 10  
Консалтинговые проекты 558—563  
—, основные цели разработки 558  
—, этапы разработки 559—561  
Конструктивная совместимость 205  
Контроллер интеллектуальный «сателлит» 317  
— — — интерфейса 308—309  
—, система программирования 326  
Контроллеры 295  
—, архивация данных 303—304  
—, виды 296—298  
— Decont-182 338—340  
— GeFanus 335—338  
— зарубежные 330—331  
—, методы обеспечения надежности 299—300  
—, модуль интерфейсных каналов 302  
—, организация измерительного канала 299  
— отечественного производства 307—309  
—, переключение 301—302  
— промышленные 317—325  
— РС-совместимые 325—326  
— семейства Сикон 318—321  
— серии ЭК-2000 317—318  
— серии контраст 321—325  
—, SIMATIC 332—335  
—, система программирования 326—327  
—, технологический ТКМ-52 328  
—, универсальный 340—342

Локальный ПЛК 297—298

Манометр 150  
—, виды 150—151  
Математические модели 509, 513—514  
Математическое моделирование 511—512  
Машинное слово 25  
Метод итераций 78  
— ЯМР 191  
Методы и средства измерений  
— вкуса и аромата 189—190  
— влажности 182—188  
— вязкости 188—189  
— давления 150—153  
— диэлектрической проницаемости 178—179  
— количества ядер 191—192  
— концентрации ионов 173—179  
— пищевой ценности 192  
— плотности 180—182  
— расхода и количества вещества 153—162  
— свойств вещества 180—182

- состава вещества 166—169
- состава газовых смесей 179—180
- температуры 145—150
- Методы ионометрии 175—177
  - , колориметрический 175
  - , кондуктометрический 177
  - , потенциометрический 175
- Методы регулирования 87—88
- Методы статические 520—523
- Метрологическая служба 209
  - предприятия 457—460
  - , функции 200—210
- Метрологическое обеспечение 448—449
  - АСУТП пищевой промышленности 468—469
  - , главное содержание 98
  - предприятия 449—451
- Метрологическое обеспечение ИИС 464—469, 545
  - , теоретические основы 467—469
- Метрологическое обеспечение
  - , информационная база 460—461
  - , информационная модель 456—457
  - , нормативная основа 463—464
- Метрология 37, 99
  - , основные задачи 97
  - , — проблемы 99
  - теоретическая 473—475
- Механизм измерительный 113
  - исполнительный 67
- Микропроцессорная техника 223—230
  - , состав 223—226
  - , функциональная организация 226—230
  - система 227—229
  - установка 233
- Микропроцессорные средства управления 242—244
- МикроЭВМ 234
- Мнемокод 231
- Модели
  - гидродинамики потоков 523—524
  - диффузионные 526—527
  - дозирования веществ 531—536
  - идеального перемешивания 524—525
  - исходных данных 476—477
  - каскадные 525—526
  - культивирования микроорганизмов 537—538
  - массообменных процессов 527
  - математические 71—72
  - микробиологических процессов 536—538
  - тепловых процессов 527—531
  - технологических процессов типовые 514—516
- Моделирование, методы 510
- Модель 474, 510
  - «как должно быть» 560
  - «как есть» 559
- Модельный эксперимент 599
- Модем 250—252
  - сотовый 251
- Модули аналогового ввода-вывода 384—387
  - — — многоканальные 387—388
  - АДАМ-4000 384—387
  - АДАМ-5000 404—408
- Модуляция 124—127
  - сигналов 124—126
  - , виды 127
- Мультиплатформенность 588
- Нефелометр 168
- Обеспечение метрологическое 97—98
- Обработка данных 479—481
  - информации, алгоритмы 32, 35—38
- Обратные связи 67—68
- Объект управления 69
  - , динамические характеристики 520—523
  - регулирования 68.
  - астатический 69
  - статический 69
- Оксредметрия 177—178
- Оперативный персонал 548
- Операционные системы 259
- ОРС-серверы 371
- Отказ 55
- Оценивание, методы 477—479
- Передаточная функция 73
- ПИД-регулятор 436
- ПЛИК 237, 261
- Плотномеры 180—182
- ПМК 234—337
- Поверка 210, 450—451
- Погрешности измерений 102—109
- Подсистема 59
- Порт 230
- Поток информации 12
- Преобразователи
  - аналого-цифровые 128—129
  - , виды 110
  - первичные 145—150
  - — бесконтактные 149—150
  - — манометрические 149
  - — термоэлектрические 148—149
  - цифро-аналоговые 129—130

- Преобразователь
  - вибрационно-частотный 156
  - измерительный 99
  - передающий 116—118
  - тензорно-резисторный 119—120
- Приборы измерительные 99, 111
- Принцип 65
  - комбинированный 66
  - Пожеле 65
  - Ползунова-Уатта 66—67
  - построения САР 65—67
- Программатор 221
- Программная инженерия 498—499
- Программное обеспечение
  - , базовый уровень 221
  - для АДАМ-4000 392—394
  - для АДАМ-5000 421—422
  - инструментальное 259—260, 499
  - , прикладной уровень 222
  - , программная конфигурация 221
  - , программы 221
  - , системный уровень 222
  - , служебный уровень 222
  - современное 281
  - , состав 221
  - фирменное 281
- Программно-технический комплекс
  - 260—268, 546
  - , минимальный состав 263—264
  - , принципы действия 546—547
  - , тенденции развития 265—268
- ПТК
  - «Автонит» 282—283
  - «Дирижер» 283—285
  - «Каскад» 268—274
  - «КРУГ-2000» 276, 651—654
  - «САРГОН» 285—289
  - «СИРИУС» 292—294
  - «Теконик» 290—291
  - «Техноконт» 290—291
  - «УНИКОНТ» 292, 328—330
- Программные продукты фирмы
  - ИН-САТ 368—370
- Программный комплекс 371—373
- Программный продукт «GARDEN» 572
  - GENIE 426—436
- Продукт обработки 508
  - пищевой 447
- Проект 558—563
  - консалтинговый 558
  - системный 561
  - технический 563
- Проектирование 557
  - архитектуры системы 563
  - детальное 563
- Промышленные сети 413—419
- Психометр 183
- Работа оператора-технолога, метролога
  - 491—492
- Рабочие станции, промышленные
  - 441—445
- Радиомодели 230
- Разработка классификаторов, требования
  - 28—29
- Разработка системы кодирования, основные требования
  - 28—31
- Распознавание образов 543
- Расходомер 153
  - , виды 153—154
  - вихревой 159
  - вихреакустический 161
  - кориолисовый 161—162, 182
- Регулятор 66—67
- Регулирующий орган 67
- Регуляторы 506—507
  - автоматические 88—89
- Редактор задач 428—430
  - отсчетов 432
  - сценариев 429
  - форм отображения 428—431
- Редоксиметрия 192
- Режим диалоговый 578
  - скользящий 507
- Реинжиниринг 560
- Робастность 93
- Самовыравнивание 68—69
  - , коэффициент 70
- Свеклосахарное производство 646—664
- СВЧ-методы 187—188
- Связи в системах 60—61
- Связь гальваническая 134
  - обратная 61
  - прямая 60
- Сервер 395—397
- Сертификация 214—217
  - оформление документации 217
  - правила проведения 216—217
- Сети контроллерные 342—346
  - многоточечные 388—389
  - полевые 346—347
  - резервирование 346
  - сбора данных и управления 408—409
- Сеть
  - Ethernet 344—345, 415
  - Interbus 345
  - Internet 344
  - Modbus 342—343
  - plus 343—344

- Profibus 345—346
- Система 59
- Система автоматического регулирования 64—65, 75, 76, 77—79, 539
- дифференциально-трансформаторная 120—122
- измерений 11, 210—214
- кибернетическая 59
- классификации 27
- реостатная 122—124
- технологическая 508
- счисления 26
- управления 59
- частотно-ферродинамическая 118—119
- Системный анализ 557
- проект 561—562
- Системы сбора данных и управления 383—392, 404—406
- Системы управления 90—91
- — адаптивные 504—505
- — дискретные 504
- — дискретными процессами 503—507
- —, концепция построения 483
- — цифровые 90—91
- Системы учета механических нагрузок 195—196
- Электронагрузок 194—195
- Слово 227
- Совместимость
- конструктивная 205
- метрологическая 207
- эксплуатационная 207
- энергетическая 207
- Современное производство 486—491
- , уровни управления 486—491
- , функциональная схема 484—485
- Спектральный анализ 193
- Средства измерения 109—115
- Средство измерения 114
- Стандарт 211—213
- Стандартизация 211—213, 578—579
- Супервизор 93
- Счетчик 153—158
- Схемы поверочные 210, 452—453
- CASE-технологии 564—566
- SCADA-программы 359—363
- SCADA-система 348
- контур 348—357
- программное обеспечение 573—577
- Трейс Моуд 363—368
- SCADA-системы 348—372
- зарубежные 373—380
- открытость 489
- разработка и проектирование 566—573
- функции 480—486, 490—491
- характеристики 356—357
- Температура 145
- , методы и средства измерения 145—150
- Термометр 145
- Терминалы 331—332
- Технология 10—11
- Техническая диагностика 543
- Техника измерительная 96
- Технический контроль 543
- Технологии обработки
- — непрерывные 502
- — дискретные 502—503
- Технологии современные 508
- Технологическая линия 62
- установка 62
- Технологический объект 62
- Технологический процесс 61, 508
- Технологическая схема процессов отливки и глазирования конфет 703—706
- Технологические процессы
- —, классификация 500—502
- — пищевые 500—502
- — непрерывные 501
- — дискретные 502—503
- — периодические 502
- — пищевые 500—502
- —, системы управления 503—505
- —, типовые модели 514—515
- Турбидиметр 168—169
- Удобство сопровождения 572
- Указатель прибора 113
- Управление адаптивное 91—92
- Управление, виды 57
- качеством продукции 457—458
- производством карамели 696—699
- объектом 457
- Управляющие системы 540—545
- Уравнение Винера—Хопфа 521
- Уравнение Моно 538
- Моно-Иерусалимского 538
- Уровнемеры, виды 162—164
- принцип действия 162
- Установки измерительные 111
- Устройство ввода-вывода 230
- измерительное 113
- отсчетное 113
- регистрирующее 113
- УСО 130—138
- , устройство 133
- , аналоговые модули 135—140
- , структурная схема 136—137, 139
- , функции 131
- Устройства измерительные 67
- распределения сбора данных и управления 419—420

Утилаты 222

Утфель 666

Фазы управления 82, 92

Физическая величина 100

— —, единица измерений 99—100

— —, размерность 100—101

— —, эталон 99—100

Фильтр скользящего среднего 49—50

— статистический 50—53

— экспоненциальный 47—48

Фильтрация 46—47

Флэш-технология 221

Функция управления, виды 55—56

Хлебозавод, структура управления

581—588



**Хроматография** 192

**Целевая функция** 515

**Центральный процессор** 228—229

**Шина данных** 227—228

**Эксперимент активный** 517—519  
— пассивный 519—520

**Экстраполяция** 38

**Элемент преобразовательный** 112  
— чувствительный 112

**Энтропия, свойства** 13, 15  
—, условия 15

**Языки программирования** 230—233

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
Список сокращений . . . . .	7
<b>Раздел I. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ . . . . .</b>	<b>10</b>
Глава 1. Информационные технологии . . . . .	11
1.1. Информация . . . . .	11
1.2. Виды информации. . . . .	16
1.3. Информационное обеспечение систем управления . . . . .	19
Информационные массивы . . . . .	22
Постоянные массивы (массивы постоянных данных) . . . . .	23
Вспомогательные массивы . . . . .	23
Промежуточные массивы. . . . .	23
Текущие массивы . . . . .	23
Служебные массивы . . . . .	24
1.4. Системы счислений информации . . . . .	25
1.5. Обработка информации. . . . .	32
Алгоритмы обработки информации и ее оценивание . . . . .	35
Выбор частоты опроса измерительных преобразователей (датчиков) через число нулей случайного процесса . . . . .	43
Фильтрация измеряемых величин от помех . . . . .	46
Экспоненциальный фильтр . . . . .	47
Статистические фильтры . . . . .	50
Статистический фильтр нулевого порядка . . . . .	50
Статистический фильтр первого порядка . . . . .	51
Глава 2. Основные понятия и определения теорий автоматизации и управления . . . . .	54
2.1. Основные понятия и определения теории автоматизации технологических процессов. . . . .	54
2.2. Основные понятия и определения теории автоматического управления . . . . .	58
2.3. Технологический объект управления . . . . .	61
2.4. Системы автоматического регулирования. . . . .	64
Сущность принципа Понселе . . . . .	65
Сущность принципа Ползунова—Уатга . . . . .	66
2.5. Каскадные системы автоматического регулирования . . . . .	77
2.6. Типовые законы регулирования . . . . .	80
2.7. Выбор закона регулирования и регуляторов в САР . . . . .	83
2.8. Классификация автоматических регуляторов . . . . .	88
2.9. Цифровые системы управления . . . . .	90
2.10. Адаптивное управление с помощью нечеткой логики . . . . .	91

<b>Глава 3. Метрологические основы формирования, обработки и передачи информации . . . . .</b>	<b>96</b>
3.1. Основные метрологические понятия и термины . . . . .	99
3.2. Физическая величина. Единицы и размерности физических величин . . . . .	100
3.3. Основные понятия об измерениях . . . . .	101
Погрешности измерений и измерительных устройств . . . . .	102
3.4. Средства измерений и их основные элементы . . . . .	109
3.5. Системы дистанционной передачи и устройства связи с объектом . . . . .	115
3.6. Модуляция и демодуляция сигналов . . . . .	124
3.7. Устройства связи с объектом (УСО) . . . . .	130
3.8. Типовая система сбора и передачи информации . . . . .	140
<b>Глава 4. Методы и средства формирования информации о состоянии технологических объектов (процессов) . . . . .</b>	<b>145</b>
4.1. Методы и средства измерений температуры . . . . .	145
4.2. Методы и средства измерений давления . . . . .	150
4.3. Методы и средства измерений расхода и количества вещества . . . . .	153
4.4. Методы и средства измерений уровня . . . . .	162
4.5. Методы и средства измерений состава вещества . . . . .	166
4.5.1. Методы и средства измерений подкомплекса АСАТ-Ф . . . . .	167
4.5.2. Методы и средства измерений подкомплекса АСАТ-К . . . . .	170
4.5.3. Методы и средства измерений подкомплекса АСАТ-П . . . . .	173
4.5.4. Методы и средства измерений подкомплекса АСАТ-Д . . . . .	178
4.5.5. Методы и средства измерений состава газовых смесей . . . . .	179
4.6. Методы и средства измерений свойств веществ . . . . .	180
4.6.1. Методы и средства измерений плотности . . . . .	180
4.6.2. Методы и средства измерений влажности . . . . .	182
Измеритель влажности LB447 . . . . .	188
4.6.3. Методы и средства измерений вязкости . . . . .	188
4.7. Методы и средства измерений вкуса и аромата пищевого продукта . . . . .	189
4.7.1. Методы и средства измерений структуры компонентов продукта . . . . .	190
4.7.2. Методы и средства измерений количества ядер элементов продукта . . . . .	191
4.7.3. Методы и средства измерений пищевой ценности продукта . . . . .	192
4.8. Системы учета энергонагрузок при эксплуатации технологического оборудования пищевых производств . . . . .	194
4.8.1. Системы учета механических нагрузок и качества работы технологического оборудования пищевых производств . . . . .	195
<b>Глава 5. Основы метрологического обеспечения АСУП . . . . .</b>	<b>197</b>
5.1. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации . . . . .	197
Характеристика ветвей ГСП . . . . .	200
5.2. Агрегатные комплексы ГСП . . . . .	205
5.3. Классификация устройств ГСП . . . . .	207
5.4. Обеспечение единства измерений . . . . .	208
5.5. Стандартизация . . . . .	211
Государственный надзор за стандартами и средствами измерений . . . . .	213
5.6. Сертификация . . . . .	214
Правила проведения сертификации . . . . .	216
Оформление документации сертификации (основные положения) . . . . .	217
<b>Раздел II. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА И ЕЕ РОЛЬ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ . . . . .</b>	<b>218</b>
Состав вычислительной системы . . . . .	219
Программное обеспечение . . . . .	221

Глава 6. Аппаратные средства микропроцессорной техники . . . . .	223
6.1. Функциональная организация МПС . . . . .	226
Организация связи в МПС. . . . .	227
Центральный процессор (ЦП) . . . . .	228
Запоминающее устройство . . . . .	229
Устройство ввода-вывода (УВВ) . . . . .	230
6.2. Языки программирования . . . . .	230
Системы команд МП . . . . .	232
6.3. Микропроцессорная установка централизованного контроля и управления	233
6.4. МикроЭВМ . . . . .	234
6.5. Программируемые микропроцессорные контроллеры. . . . .	234
6.6. Программируемый логический контроллер (ПЛК) . . . . .	237
6.7. Исполнительные устройства (ИУ) . . . . .	237
6.8. Структура микропроцессорных средств управления . . . . .	242
6.9. Интерфейсы . . . . .	244
6.10. Библиотека программ для работы с последовательными интерфейсами . . . . .	247
6.11. Техническое обеспечение связи (интерфейса). Платы, поддерживаемые PC-ComLIB . . . . .	248
ADAM-450 — IBM PC совместимый контроллер связи . . . . .	248
6.12. Диспетчерская подсистема . . . . .	252
Основные функции программы . . . . .	253
Глава 7. Программно-технический комплекс . . . . .	256
Драйверы и тестирующие программы. . . . .	259
Инструментальное ПО . . . . .	259
Подсистемы с особыми требованиями . . . . .	260
7.1. ПТК для АСУТП. . . . .	260
7.2. Мировые тенденции развития микропроцессорных ПТК . . . . .	265
7.3. ПТК «Каскад» для построения и функционирования АСУТП . . . . .	268
Особенности ПТК «Каскад» . . . . .	270
Комплект средств связи . . . . .	271
Драйверы сбора и регистрации данных. . . . .	271
Модуль сигнализации и регистрации событий. . . . .	272
Диалоговая среда контроля и управления . . . . .	272
Кросс-система для технологического программирования ПЛК. . . . .	274
Пакет ПО «Инженерный пульт Р-130» . . . . .	275
7.4. Продвинутое ПТК для АСУТП. . . . .	276
7.4.1. ПТК — «КРУГ-2000» . . . . .	276
Открытость системы. . . . .	278
Структура системы . . . . .	278
Техническое обеспечение . . . . .	280
Программное обеспечение . . . . .	281
Фирменное ПО — пакет программ «КРУГ-2000». . . . .	281
7.4.2. ПТК «Автонит» (фирма Автонит, г. Санкт-Петербург) . . . . .	282
7.4.3. НПО «Техноконт» (г. Москва) . . . . .	283
7.4.4 ПТК — «Дирижер» . . . . .	284
Достоинства ПТК «Дирижер» . . . . .	284
7.4.5. ПТК «Саргон» . . . . .	285
Состав и структура ПТК «Саргон» . . . . .	286
Технические средства . . . . .	286
Программное обеспечение . . . . .	287
Информационные функции. . . . .	287
Управляющие функции . . . . .	288
Удобное сопровождение. . . . .	291

	Широкие коммуникационные возможности	291
	Аппаратные и программные компоненты комплексов	291
7.4.6.	ПТК «Сириус»	292
<b>Глава 8.</b>	<b>Контроллеры</b>	<b>295</b>
	Организация измерительного канала	299
	Методы обеспечения надежности	299
8.1.	Контроллеры отечественного производства	307
8.1.1.	ПЛК линии 99	308
	Основные технические характеристики интеллектуального шлюза	311
8.1.2.	Интеллектуальный контроллер «Сателлит»	317
8.1.3.	Промышленные контроллеры серии ЭК-2000	317
8.1.4.	Контроллеры семейства СИКОН (сетевой индустриальный контроллер)	318
8.1.5.	Промышленные ПЛК для распределительных систем серии КОНТРАСТ	321
	Краткий обзор контроллеров серии КОНТРАСТ	321
8.1.6.	PC-совместимые контроллеры компании «Текон»	325
	Система программирования контроллера	326
8.1.7.	ПТК УНИКОНТ	328
8.2.	Зарубежные контроллеры	330
8.2.1.	AUTO-LOG программно-технические средства для промышленной автоматике	330
	Терминалы	331
8.2.2.	Контроллеры SIMATIC	332
	SIMATIC S5	333
	SIMATIC S7	335
8.2.3.	ПЛК GE FANUC	335
8.2.4.	Контроллер Decont-182	338
	Архитектура контроллера	339
	Встроенное ПО контроллера Decont-182	339
	Табличное конфигурирование	340
8.2.5.	Универсальный контроллер HUMC800 фирмы Honeywell	340
8.3.	Сетевые решения подключения контроллеров	342
8.3.1.	Сеть Modbus	342
8.3.2.	Сеть Modbus plus	343
8.3.3.	Сеть Ethernet	344
8.3.4.	Сеть Interbus	345
8.3.5.	Сеть Profibus	345
8.4.	Резервирование контроллерных сетей	346
8.5.	Полевые сети контроллера	346
<b>Глава 9.</b>	<b>Роль и место SCADA-системы в современном производстве</b>	<b>348</b>
9.1.	Отечественная SCADA-система КОНТУР	348
	Особенности SCADA-системы	349
	Структура SCADA-системы	349
	Архитектура SCADA-системы	350
	Архитектура системы в процессе создания мнемосхем	350
	Архитектура системы в процессе работы	351
	Программное обеспечение АСУ и SCADA-системы	352
9.2.	Современные системы SCADA/HMI	353
	Использование опыта применения	359
9.3.	Опыт использования открытых SCADA-программ	359
9.4.	SCADA-система Трейс Моуд	363
9.5.	Программные продукты фирмы Ин-Сат для АСУТП	368
9.6.	OPC-серверы	371
9.7.	Программный комплекс VNS-Garden	371

	Архитектура и функциональные возможности комплекса VNS-Garden . . . . .	372
9.8.	Зарубежные SCADA-системы . . . . .	373
	Стоимость освоения системы . . . . .	379
	Драйверы ввода/вывода . . . . .	380
Глава 10.	<b>PROSOFT — передовые технологии автоматизации</b> . . . . .	382
10.1.	Системы удаленного сбора данных и управления (ADAM-4000) . . . . .	383
10.1.1.	Одноканальные модил аналогового ввода-вывода ADAM-4000 . . . . .	384
10.1.2.	Многоканальные модули аналогового ввода-вывода серии ADAM-4000 . . . . .	387
10.2.	Многоточечные сети на базе модулей серии ADAM-4000 и стандарта RS-485 . . . . .	388
	Расширение сети . . . . .	389
10.3.	Программирование и программное обеспечение устройств серии ADAM-4000 . . . . .	392
	Стандартный набор команд . . . . .	393
	Проверка наличия ошибок с использованием контрольной суммы . . . . .	393
	Пример программирования . . . . .	393
	Полная программная поддержка . . . . .	394
	Программное обеспечение настройки и диагностики . . . . .	394
	Библиотеки динамической компоновки . . . . .	394
10.4.	Сервер . . . . .	395
	Сервер DDE . . . . .	396
10.5.	Технические характеристики модулей серии ADAM-4000 . . . . .	397
10.6.	Системы распределенного сбора данных и управления (ADAM-5000) . . . . .	404
10.7.	Устройства сбора данных и управления серии ADAM-5000 . . . . .	406
10.7.1.	Формирование сетей сбора данных и управления на базе стандарта RS-485 . . . . .	408
10.8.	Средства связи и программирования устройств серии ADAM-5000 . . . . .	411
	ADAM-5000 — IBM PC совместимый программный микроконтроллер . . . . .	412
10.9.	ADAM-5000/CAN — устройство связи с объектом на основе промышленной шины CAN . . . . .	413
	Возможности расширения сети на базе ADAM-5000/CAN . . . . .	416
	Программная поддержка . . . . .	418
	Спецификация интерфейса CAN . . . . .	418
	ADAM-5000/CAN — устройство распределенного сбора данных и управления . . . . .	419
	ADAM-4525/4515 — преобразователь RS-232C/CAN с гальванической развязкой и повторитель сигналов интерфейса CAN . . . . .	420
	Характеристика повторителя ADAM-4515 . . . . .	421
10.10.	Программное обеспечение для Windows устройств серии ADAM-5000. Библиотеки динамической компоновки . . . . .	421
	Сервер DDE . . . . .	422
10.11.	Технические характеристики модулей серии ADAM-5000 . . . . .	422
10.12.	GENIE — программный продукт управления технологическими процессами . . . . .	426
	Особенности и разрешающая способность GENIE . . . . .	427
	Редактор сценариев . . . . .	429
	Редактор задач (Task Designer) . . . . .	430
	Редактор форм отображения (Display Designer) . . . . .	431
	Редактор счетов (Report Designer) . . . . .	432
	Регистрация данных . . . . .	433

	Вычисления в масштабе реального времени . . . . .	433
	Отображение информации в масштабе реального времени . . . . .	433
	Графическое представление данных исторического архива . . . . .	434
10.13.	GENIE. Элементы управления технологическим процессом . . . . .	434
	Исполнительная среда (GENIE Runtime). . . . .	434
	Регистрация системных и аварийных событий. . . . .	435
	Использование графических элементов управления в процессе исполнения стратегии . . . . .	435
	ПИД-регулятор . . . . .	436
	Двухпозиционное дискретное управление. . . . .	436
	Связывание и внедрение объектов (OLE Automation). . . . .	436
	Программируемый блок пользователя (User Programmable Block) . . . . .	436
	Интерфейсы связи . . . . .	437
	Динамический обмен данными в масштабе реального времени . . . . .	437
	Поддержка интерфейса RS-232C. . . . .	438
10.14.	Требования к аппаратно-программному обеспечению систем управления технологическими процессами пищевых производств . . . . .	439
10.15.	Промышленные рабочие станции . . . . .	441
<b>Глава 11.</b>	<b>Метрологическое обеспечение измерительных средств и систем управления технологическими процессами пищевых производств . . . . .</b>	<b>447</b>
11.1.	Организация метрологического обеспечения средств измерений пищевых производств . . . . .	448
	Технические основы МО предприятия . . . . .	449
	Нормативные задачи МО предприятия, его метрологической службы . . . . .	449
	Порядок составления графиков проверки измерительных средств . . . . .	451
	Поверочные схемы . . . . .	452
11.2.	Организация поверочных подразделений ведомственных метрологических служб . . . . .	454
	Автоматизация МО измерительных средств пищевых производств . . . . .	455
	Автоматизация метрологических работ . . . . .	456
	Информационная модель МО . . . . .	456
	Комплексный показатель качества системы МО . . . . .	457
11.3.	Организация управления метрологической службы предприятия . . . . .	457
	Расчетный алгоритм определения метрологических работ . . . . .	458
	Использование ПЭВМ в МО предприятия. . . . .	459
11.4.	Создание информационной базы МО измерительных средств. . . . .	460
	Информационно-программное обеспечение учета и контроля состояния измерительных средств . . . . .	461
	Автоматизация обработки фонда НТД на предприятии . . . . .	462
	Нормативная основа МО . . . . .	463
11.5.	Метрологическое обеспечение измерительно-информационных и управляющих систем . . . . .	464
	Процедура измерения . . . . .	466
11.6.	Теоретические основы МО систем . . . . .	467
11.7.	Метрологический подход к количественной оценке информации. . . . .	469
11.8.	Аттестация алгоритмов обработки измерительной информации . . . . .	473
11.9.	Типовые модели исходных данных . . . . .	476
11.10.	Примеры аттестации алгоритмов обработки данных . . . . .	479
11.11.	Задачи пользователей и метрологов при аттестации алгоритмов . . . . .	481
<b>Раздел III.</b>	<b>МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ. . . . .</b>	<b>483</b>
	Концепция построения систем автоматизации . . . . .	483

Глава 12. АСУТП пищевых производств . . . . .	483
Работа оператора-технолога . . . . .	491
12.1. Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора-технолога . . . . .	492
12.2. Программное обеспечение АСУТП . . . . .	496
Задачи АСУТП и диспетчерских систем . . . . .	497
12.3. Методы и функции управления технологическими процессами . . . . .	500
12.4. Непрерывные и периодические технологические процессы и особенности управления ими . . . . .	502
12.5. Системы управления дискретными процессами . . . . .	503
Особенности управления дискретными объектами . . . . .	507
Глава 13. Моделирование технологических систем, операций, процессов . . . . .	508
13.1. Типовые модели технологических процессов . . . . .	514
13.2. Методика математического описания объектов управления . . . . .	516
Методы активного эксперимента . . . . .	517
Методы пассивного эксперимента . . . . .	519
13.3. Определение динамических характеристик объекта . . . . .	520
13.4. Модели гидродинамики потоков . . . . .	523
13.5. Модели массообменных процессов . . . . .	527
Модель идеального (полного) перемешивания . . . . .	527
Каскадная модель . . . . .	527
Диффузионные модели . . . . .	527
13.6. Модели тепловых процессов . . . . .	527
13.7. Модели дозирования веществ . . . . .	527
Модель теплового процесса в системе с распределенными параметрами . . . . .	530
13.8. Модели микробиологических процессов . . . . .	531
Модели культивирования микроорганизмов . . . . .	537
Глава 14. Системы управления технологическими процессами пищевых производств . . . . .	539
Измерительно-информационные и управляющие системы . . . . .	540
14.1. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП) . . . . .	545
14.2. Методология проектирования микропроцессорных систем управления . . . . .	556
Цели и этапы разработки консалтинговых проектов . . . . .	558
Этапы разработки консалтинговых проектов . . . . .	558
Разработки системного проекта . . . . .	561
Разработка предложений по автоматизации предприятия . . . . .	562
Разработка технического проекта . . . . .	563
Последующие этапы разработки . . . . .	563
CASE-технологии — методологическая и инструментальная база консалтинга . . . . .	564
14.3. Разработка и проектирование АСУТП и SCADA-систем . . . . .	566
14.4. Программное обеспечение открытых SCADA-систем . . . . .	573
Основные понятия и положения автоматизированного проектирования . . . . .	577
14.5. Стандартизация в разработке систем управления . . . . .	578
Основные положения и задачи стандартизации . . . . .	578
Эффективность разработок АСУТП . . . . .	580
Глава 15. АСУТП отраслей пищевой промышленности . . . . .	581
15.1. Структура управления пищевым предприятием (хлебозаводом) . . . . .	581
Структура и композиция . . . . .	589
Операционная среда свободно конфигурируемых протоколов . . . . .	590



15.2.	Структура организации АСУТП отделения, участка, подразделения. . . . .	592
15.3.	АСУТП хлебопекарного производства. . . . .	596
	Подача муки в производство. . . . .	597
	Приготовление дополнительного сырья. . . . .	597
	Приготовление полуфабрикатов (опары, теста) . . . . .	598
	Выпечка хлебобулочных изделий . . . . .	598
15.4.	Системы управления складом БХМ, тестоведением и выпечкой хлебобулочных изделий. . . . .	599
	Система управления процессом тестоприготовления . . . . .	603
	Система управления процессом выпечки хлебобулочных изделий . . . . .	612
15.5.	АСУТП макаронного производства . . . . .	617
<b>Глава 16.</b>	<b>Системы управления биотехнологическими процессами. . . . .</b>	<b>622</b>
16.1.	АСУТП производства спирта. . . . .	622
16.1.1.	Отделение подработки зерна и приготовления замеса. . . . .	627
	Стадия подработки зерна . . . . .	629
16.1.2.	Отделение разваривания . . . . .	631
16.1.3.	Отделение осахаривания. . . . .	633
16.1.4.	Отделение брожения. . . . .	636
16.1.5.	Отделение выделения спирта из культуральной жидкости (бражки) и его очистки от примесей . . . . .	640
<b>Глава 17.</b>	<b>Системы управления технологическими процессами свеклосахарного и сахарорафинадного производства. . . . .</b>	<b>646</b>
	Программное обеспечение . . . . .	653
17.1.	Свеклоперерабатывающее отделение. . . . .	654
	Динамика работы АСУТП . . . . .	656
17.2.	Отделение дефекосатурации . . . . .	659
	Динамика работы АСУТП . . . . .	662
17.3.	Отделение выпаривания . . . . .	664
	Динамика работы АСУТП . . . . .	665
	АСУТП сахарорафинадного производства. . . . .	669
17.4.	Роспускное отделение. . . . .	672
	Динамика работы АСУТП . . . . .	674
17.5.	Отделение очистки сиропа. . . . .	675
	Динамика работы АСУТП . . . . .	677
<b>Глава 18.</b>	<b>Системы управления кондитерским производством. . . . .</b>	<b>680</b>
18.1.	АСУТП производства затяжных сортов печенья. . . . .	684
	Динамика работы АСУТП . . . . .	685
18.2.	АСУТП поточно-механизированной линии производства затяжных сортов печенья. . . . .	688
	Динамика работы АСУТП . . . . .	689
18.3.	Система управления производством карамели. . . . .	693
	Динамика работы АСУТП . . . . .	695
18.4.	Управление линией производства карамели . . . . .	696
18.5.	Система управления производством отливных глазированных конфет . . . . .	699
	Динамика работы АСУТП . . . . .	702
18.6.	Технологическая схема процессов отливки и глазирования конфет. . . . .	703
	Динамика работы АСУТП . . . . .	705
18.7.	АСУТП производства шоколадных масс . . . . .	706
	Динамика работы АСУТП . . . . .	708
<b>Глава 19.</b>	<b>Системы управления производством безалкогольных напитков и продуктов длительного хранения. . . . .</b>	<b>710</b>
19.1.	АСУТП приготовления кваса. . . . .	711

Динамика работы АСУТП . . . . .	712
19.2. АСУТП приготовления томатного сока . . . . .	714
Динамика работы АСУТП . . . . .	717
19.3. АСУТП розлива минеральной воды . . . . .	719
Динамика работы АСУТП . . . . .	720
19.4. АСУТП приема и переработки винограда на заводах первичной переработки сырья . . . . .	722
Динамика работы АСУТП . . . . .	724
19.5. Система управления переработки винограда . . . . .	725
Динамика работы АСУТП . . . . .	727
19.6. АСУТП мойки в бутыломоечной машине . . . . .	728
Динамика работы АСУТП . . . . .	730
19.7. АСУТП производства продуктов длительного хранения . . . . .	732
19.8. АСУТП приготовления детской питательной смеси . . . . .	733
Динамика работы АСУТП . . . . .	735
19.9. АСУТП производства белкового концентрата . . . . .	739
Динамика работы АСУТП . . . . .	741
19.10. АСУТП производства концентратов сладких блюд . . . . .	744
Динамика работы АСУТП . . . . .	746
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>750</b>
<b>Рекомендуемая литература . . . . .</b>	<b>752</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>753</b>
<b>Содержание . . . . .</b>	<b>760</b>

*Учебное издание*

**Благовещенская Маргарита Михайловна  
Злобин Леонид Алексеевич**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Редактор А.Г. Гаврилов  
Художник А.А. Брантман  
Художественный редактор А.Ю. Войткевич  
Технический редактор Н.И. Тростянская  
Компьютерная верстка Е.В. Афонин  
Корректоры Б.Г. Прилипко, В.А. Жилкина**

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01

Изд № РЕНТ-191. Подп. в печать 21.02.05

Формат 60 × 88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. газетная. Гарнитура «Ньютон». Печать офсетная.

Объем 47,04 усл. печ. л., 47,49 усл. кр.-отт.

Тираж 3000 экз. Заказ № 4869.

**ФГУП «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, ГСП-4,  
Неглинная 29/14.**

Тел. (095) 200-04-56

<http://www.v-shkola.ru>. E-mail: [info@v-shkola.ru](mailto:info@v-shkola.ru)

*Отдел реализации:* (095) 200-07-69, 200-59-39, факс: (095) 200-03-01.

E-mail: [sales@v-shkola.ru](mailto:sales@v-shkola.ru)

Отпечатано на ФГУП ордена «Знак Почета» Смоленская областная  
типография им. В. И. Смирнова. 214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю. Гагарина, 2.