



ИНСТИТУТ  
«КАЛИНИНГРАДСКАЯ ВЫСШАЯ ШКОЛА УПРАВЛЕНИЯ»

О.П.ПОНОМАРЕВ  
кандидат технических наук

## **НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **SCADA-СИСТЕМЫ. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ШИНЫ И ИНТЕРФЕЙСЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРАХ И ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ**

**Учебное пособие**

Утверждено Учебно-методическим советом института в качестве  
учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности  
«Автоматизированные системы обработки информации  
и управления»

Калининград  
2006

# 1. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

## 1.1. Общие сведения

Современный уровень развития техники и технологий характеризуется следующими тенденциями: повышения сложности и ресурсоемкости разработок; развития кооперации участников разработок, производства, эксплуатации объектов; роста конкуренции на рынке. В связи с этим масштабную международную поддержку получила идеология современного производства под названием CALS-технологий. Концепция CALS (Computer – aided Acquisition and Logistic Support – автоматизированная система закупок и материально-технического обеспечения) – это концепция информационной поддержки жизненного цикла изделий [1]. Сегодня CALS – технологии – это территориально распределенная система информационной поддержки жизненного цикла сложного наукоемкого изделия (Continuous Acquisition and Life cycle Support) – от идеи создания, проектирования, изготовления до контрактных поставок, эксплуатации и утилизации. Данная концепция приобретает все большее значение не как локальный проект, а как идеология функционирования современного предприятия.

Перечень задач, которые необходимо решать при разработке и внедрении CALS-проектов, представляет собой комплексную программу, так как CALS-проект означает реинжиниринг и интеграцию всей производственной и управленческой структуры предприятия или организации в целях создания управляемого информационного пространства, где весь жизненный цикл изделия (ЖЦИ) был бы прозрачным с точки зрения информации [2].

Изначально цель создания CALS заключалась в том, чтобы автоматизировать техническую информацию и чертежи, имеющие отношение к военному оборудованию, и разработать средства их распределения и передачи, используемые в промышленности США [3].

В комплекс нормативно-технической документации, регламентирующей способы передачи информации в системе CALS, входят следующие типы стандартов: функциональные, которые определяют форматы и типы публикаций, исходя из требований заказчика; технические, определяющие правила технического обмена данными; управления данными, включающие определение составных частей данных и их взаимосвязь. Данные стандарты включают правила дос-

тупа к базам данных (БД), методы защиты этих БД и правила безопасности. Перечень стандартов на цифровую передачу текстовой и графической информации по системе CALS включает следующие стандарты:

1. MIL-STD-1840A «Автоматическая передача технической информации». Данный стандарт определяет правила организации файлов текстовой и графической информации и иллюстраций для представления этой информации в растровом формате.

2. MIL-STD-1388-2A/2B «Анализ возможностей материально-технического обеспечения/документирования». Этот стандарт содержит описание задач, решаемых в процессе анализа возможностей материально-технического обеспечения. Стандарт MIL-STD-1388-2A определяет методы передачи информации об анализе возможностей материально-технического обеспечения, а стандарт MIL-STD-1388-2B – структуру однородных баз данных по документации и анализу материально-технического обеспечения.

3. MIL-D-28000 «Цифровые представления передаваемых данных о продукции». Стандарт определяет подгруппу начальных технических условий специального назначения по обмену графическими данными, которые представляются с помощью двух- и трехмерной графики. Технические условия (ТУ) определяют форматы данных, обеспечивающие цифровой обмен информацией между разнородными системами автоматического проектирования, системами автоматизации инженерного труда и архивами технических данных.

4. MIL-M-28001A «Требования к пометкам и ТУ на тип текста при его передаче и вводе». Стандарт регламентирует требования к автоматическому электронному изданию технических руководств и инструкций. Он определяет общие правила применения обобщенного языка маркировки, который содержит набор меток для использования в любой технической публикации.

5. MIL-R-28002 «Представление растровой графики в двоичной форме». Эти ТУ разработаны промышленностью для Управления по технической политике в области применения CALS (США) для электронного обмена растровой графикой и для накопления и выборки технической документации. Они определяют два класса реализации, соответствующих документам рабочей группы 4-го Международного консультативного комитета по телеграфии. Растровые файлы типа I позволяют изображению любого размера иметь его сжатый растр в единственном файле. Растровый файл типа II имеет растр, разбивае-

мый на квадраты или окна, которые затем сжимаются по отдельности.

6. MIL-D-28008 «Применяемые процедуры при передаче иллюстраций с использованием метафайлов машинной графики». Данный стандарт определяет применяемые процедуры с использованием метафайлов машинной графики для передачи двумерных чертежей. Процедуры обращаются к одному из нескольких классов соответствующих метафайлов, основному генератору метафайла и к двум уровням основных интерпретаторов метафайла.

7. GOSIP «Схема взаимодействия открытых правительственных систем». Эти ТУ определяют обязательный набор протоколов связи, которые используются всеми новыми федеральными вычислительными системами после 1990 г. При разработке ТУ были использованы международные стандарты менеджмента качества серии ISO на открытые системы.

8. PDES «Обмен данными о продукции». Этот стандарт является совместной разработкой министерства обороны и министерства торговли США. Он определяет способы передачи спецификаций или моделей изделия, имеющих достаточное количество информации, которая может быть включена в прикладные программы систем автоматического проектирования (системы автоматизации инженерного труда) и системы автоматического производства. Информация включает большое количество геометрических и негеометрических данных, сведения о допусках, свойствах материала и чистоте обработки.

9. STEP «Обмен данными о модели изделия». Международная версия стандарта PDES, разработанная для всестороннего представления и обмена данными об изделии. Стандарт разработан подкомитетом №4 технического комитета 184-й Международной организации по стандартизации ISO. Первая редакция проекта стандарта была опубликована в 1991 г.

10. POSIX «Интерфейс UNIX мобильной операционной системы». Стандарт POSIX представляет серию взаимосвязанных стандартов на операционную систему и вычислительные средства, которые обеспечивают мобильность программ на уровне исходных текстов. Другие стандарты этой серии описывают языки программирования Ada и FORTRAN, устанавливают правила и синтаксис услуг операционной системы UNIX.

11. CITIS «Объединенная служба технической информации подрядчиков». Эта информационная служба, которую Министерство

обороны США закупило для обеспечения доступа к генеральным подрядчикам-держателям баз данных (БД) с информацией о системах оружия. Она обеспечивает доступ к технической информации, подготовленной в соответствии с определенными требованиями пользователей министерства обороны США.

Реализация более развитой концепции CALS предполагает создание единого информационного пространства для всех участников ЖЦИ с использованием системы управления данными об изделии – PDM (Product Data Management). Основными функциями PDM – системы являются [3]:

1. Управление хранением данных и документов. Все данные и документы в PDM-системе хранятся в специальной подсистеме – хранилище данных, которая обеспечивает их целостность, организует доступ к ним в соответствии с правами доступа и позволяет осуществлять поиск электронных данных.

2. Управление процессами. PDM-система отслеживает все операции пользователей с данными, управляет потоком работ, протоколирует действия пользователей и изменения данных.

3. Управление составом изделия. PDM-система содержит информацию о составе изделия, его исполнениях и конфигурациях. Изделия имеют различные представления в различных предметных областях: конструкторский состав, технологический состав, маркетинговый состав и т.д., а также управление применением изделия правилами его комплектации.

4. Классификация. PDM-система позволяет производить распределение изделий и документов в соответствии с различными классификаторами. Это может быть использовано при автоматизации поиска изделий нужными характеристиками с целью их повторного использования или для автоматизации присваивания обозначений компонентами изделия.

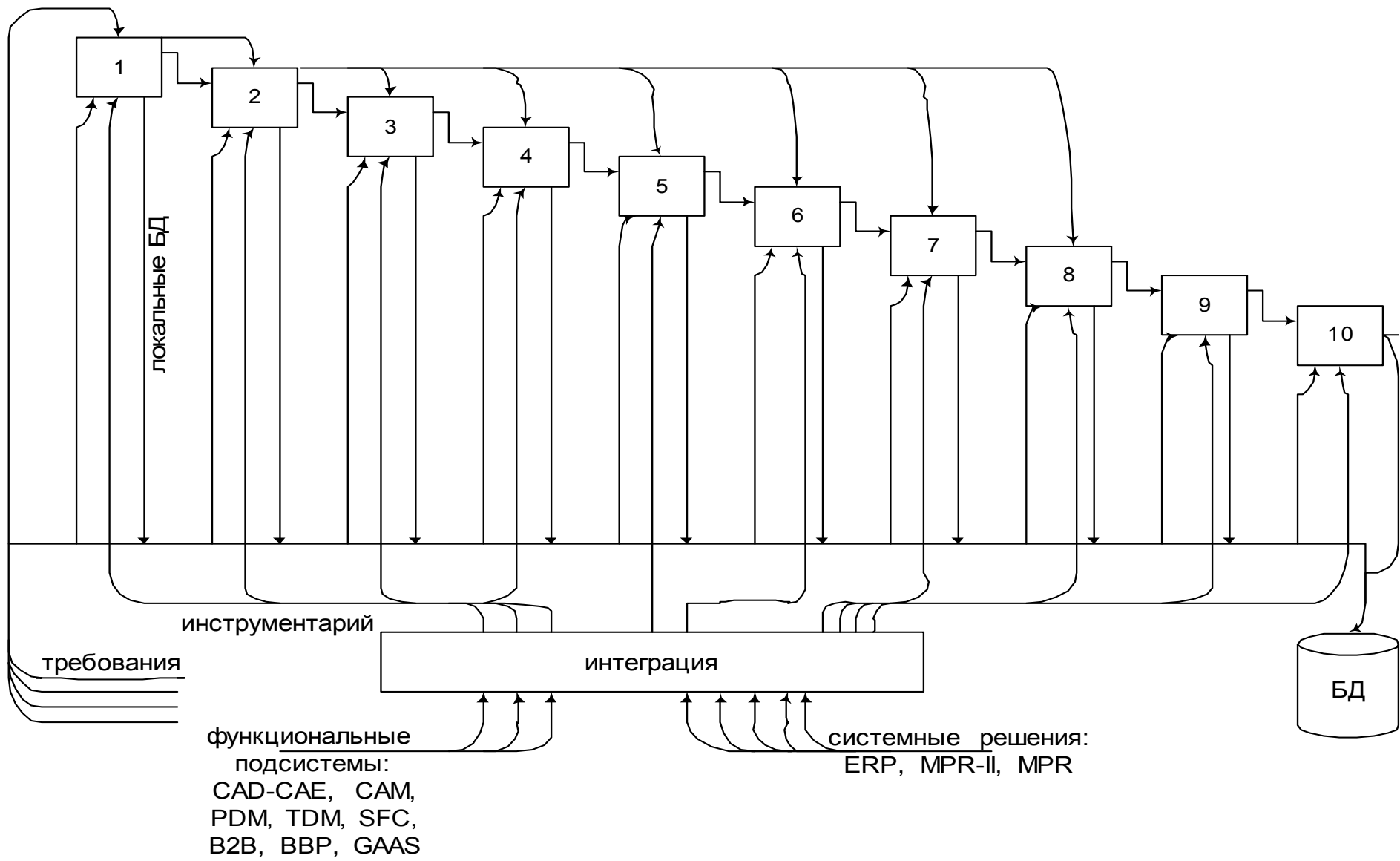
5. Календарное планирование. PDM-система содержит функции формирования календарного плана работ, распределения ресурсов по отдельным задачам и контроля выполнения задач со стороны руководства.

6. Вспомогательные функции, обеспечивающие взаимодействие PDM-системы с другими программными средствами и пользователями, а также взаимодействие пользователей друг с другом.

Традиционной рекомендацией при создании CALS-проектов служит использование систем управления предприятиями ERP (En-

terprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия), наиболее близких по степени интеграции задач и по уровню информационной обеспеченности процессов. На Рис.1.1 представлена типовая укрупненная структура этапов ЖЦИ машиностроительного предприятия, на каждом из этапов которой решаются отдельные задачи, взаимосвязанные как в рамках ЖЦИ, так и в рамках CALS-проекта [2]. Блок 1 – этап моделирования производства: выходными данными является портфель заказов, оптимизированный с учетом требований рынка и возможностей предприятия. Блок 2 – этап моделирования процесса освоения продукции с выходными данными в виде заданий службам предприятия по реализации операций проектирования изделия и соответствующей технологии изготовления. Блок 3 – этап проектирования конструкции изделия, на выходе которого формируется конструкторская документация по проекту изделия или машины. Блок 4 – этап проектирования технологического процесса: формирование технологической документации по спроектированным изделиям. Блок 5 – этап технологической подготовки производства: формирование документации по результатам проектирования оснастки, инструмента, управляющих программ и т.п. Блок 6 – этап оперативно-календарного планирования с плановыми заданиями для участков, цехов и других подразделений предприятия по выпуску продукции.

Блок 6 – этап оперативно-календарного планирования с плановыми заданиями для участков, цехов и других подразделений предприятия по выпуску продукции. Блок 7 – этап производства продукции с характеристиками по номенклатуре, количеству и качеству в соответствии с плановыми заданиями этапа освоения продукции. Блок 8 – этап продажи продукции, имеющий собственные механизмы выполнения бизнес-процедур. Блок 9 – этап сопровождения продукции, характеризующийся действиями как предприятия, производящего продукцию, так и других предприятий. Блок 10 – этап утилизации продукции.



**Рис.1.1.** Функциональная схема жизненного цикла изделия с использованием ERP-систем

Каждый этап характеризуется не только указанными выходными параметрами функционирования, но и наличием собственного инструментария как механизма реализации тех или иных функций. Информационная поддержка ЖЦИ основана на использовании интегрированной информационной системы (ИИС), построенной в виде распределенной БД на основе локальных БД каждого этапа, и механизмов обработки информации. Данная ИИС оперирует такими основными составляющими, как данные об изделии, процессах, используемых ресурсах, объектах.

При выборе инструментальных средств для каждого из этапов возникает проблема выбора функциональных или системных решений для тех задач, которые стоят перед интеграцией CALS-проекта. Функциональность CALS-проекта зависит от того, система управления (СУ) какого класса выбрана для реализации потребности автоматизации ЖЦИ. Чем выше уровень системы, тем большее число задач CALS будет обеспечено выбранной СУ.

Новый класс СУ производством – это MES-системы (Manufacturing Execution System или Manufacturing Enterprise Solutions), решающие задачи оперативного планирования, оптимизации и управления производственными процессами. Под управлением MES-системы реализуются такие важные процессы, как планирование, оптимизация, контроль и документирование производственных процессов от начала формирования заказа до выпуска готовой продукции в режиме реального времени.

По архитектуре построения MES-система – это иерархическая многоуровневая многопользовательская клиент-серверная система, связанная с ERP-системой [4]. MES-система ориентирована на решение следующих задач управления производством:

1. Сбор фактических данных с линий, агрегатов, машин, аппаратов и другого технологического оборудования в режиме реального времени на всей цепочке производства продукции.
2. Обработка получаемых в режиме реального времени данных о производственных процессах.
3. Выработка в режиме реального времени управляющих и корректирующих воздействий на технологическое оборудование, извещение персонала о необходимости принятия решений.

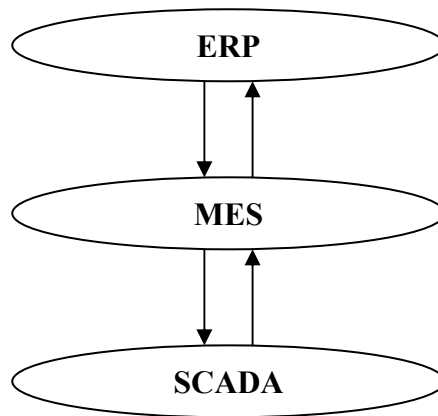
Данные задачи используются для решения стратегических задач управления производством: управление сроками поставки готовой продукции, качеством производимой продукции; оптимизация произ-



водственных задач, т.е. повышение конкурентных качеств произведенной продукции на рынке.

Решение первой задачи обеспечивает: получение информации о запланированных производственных показателях – качестве продукции, производительности, себестоимости; минимизация влияния субъективного фактора при выполнении рутинных операций, задач учета и контроля. Решение второй задачи обеспечивает: контроль характеристик технологических операций; мониторинг перемещения сырья, материалов и готовой продукции на складах. Решение третьей задачи обеспечивает: оперативное планирование производства с учетом сложившейся ситуации; оптимизацию выполнения производственных заданий с учетом принятых критериев; выработку необходимых технологических инструкций эксплуатации оборудования для достижения поставленных целей; выработку информационных сообщений оператору для принятия оперативных решений.

Интегрированная информационная система предприятия имеет три уровня (Рис.1.2): ERP-системы, MES-системы и SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами). Система ERP – для автоматизированного управления административно-финансовой и административно-хозяйственной деятельностью предприятия. Ее основное назначение – стратегические задачи управления предприятия в целом. Характерными примерами ERP-систем являются системы R/3 (SAP), BAAN V (BAAN), Oracle Application (Oracle Corporation), MFG/PRO (QAD), People Soft (People Soft Inc/), One-World (J.D.Edwards), BPCS (System Software Associates), Syteline (Symix Systems). В данных ERP-системах автоматизации подлежат наиболее легко автоматизируемые процессы: документооборот, учет и управление персоналом, финансовая отчетность и т.п. Задачи технологического плана – проектирование технологии, оснастки, инструмента, цеховое планирование, расчеты объектов проектирования и др. – в настоящее время решены слабо в рамках указанных СУ. Стратегия ERP-систем – это стратегия управления информационными потоками компьютеризированного ЖЦИ. Поэтому систему ERP необходимо рассматривать как систему автоматизации тех функций, которые имеются в CALS.



**Рис.1.2.** Информационно-управляющая структура предприятия

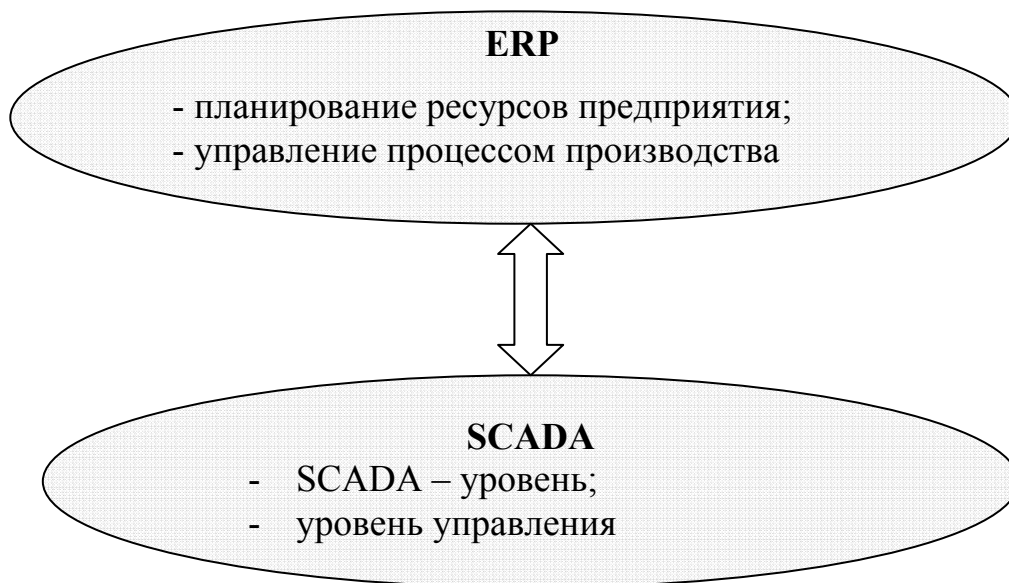
MES-система – это система управления производством продукции. Ее основное назначение – оперативное планирование / перепланирование, оптимизация производственных графиков, оперативное управление процессом производства, управление сроками поставок, качеством в реальном масштабе времени. Имея оперативные данные, MES-системы активно взаимодействуют с ERP-системами. Для решения задач оперативного планирования в MES-системах строится динамическая компьютерная модель производства. Эта модель реализует непрерывное имитационное моделирование материальных потоков внутри цеха в соответствии с технологическими маршрутами. Производственное расписание наглядно описывается диаграммой Ганта [5], где каждой операции ставится в соответствие отрезок прямой, длина которого пропорциональна ее длительности. Эти отрезки, называемые линиями Ганта, располагаются напротив инвентарных номеров основного технологического оборудования в последовательности, соответствующей производственному расписанию. Встроенный механизм диспетчеризации производства обеспечивает доставку и ввод информации о совершаемых действиях, происходящих событиях и отклонениях от составленного оперативного плана. Производственное расписание поддерживается в оптимальном состоянии за счет непрерывной компенсации отклонений методом коррекции или полного перерасчета.

Применяемый в MES-системах аппарат расчета производственных расписаний позволяет учесть взаимосвязь всех элементов оперативного плана, обеспечить выбор альтернативных технологических маршрутов и адаптивный режим управления материальными потоками.

В части, касающейся управления производственными процессами, MES-системы отличаются от ERP тем, что в MES расчет производственных расписаний строится на основе множества критериев. В системах ERP планирование, как правило, осуществляется по одному критерию. В MES-системе «ФОБОС» (Россия) таких критериев 14 (например, максимальный коэффициент загрузки, минимальное число используемых станков, равномерная загруженность станков, минимальное число переналадок, минимальная мощность грузопотока и др.). В системе Preactor (Великобритания) таких критериев 8. Минимально возможное число критериев, отличающее MES-систему от систем других типов, два. Различные комбинации критериев позволяют рассчитывать десятки вариантов производственного расписания, использовать их как средство моделирования производственных процессов и выбирать наиболее эффективный сценарий выполнения текущего плана.

Основными областями применения SCADA-систем являются: производство, управление передачей и распределением электроэнергии; промышленное производство; водозабор, водоочистка и водораспределение; добыча, транспортировка и распределение нефти и газа; управление космическими объектами; управление на различных видах транспорта; телекоммуникации; военная область.

Четкой границы между автоматизированными системами управления предприятием (MES-системами) и АСУ ТП (SCADA-системами) нет. Имеется их перекрывание в силу взаимной неразрывности выполняемых функций (Рис.1.3). Объем и степень доступа к технологической информации зависят от типа программного обеспечения, используемого в управленческих структурах предприятия, категории сотрудников-потребителей данной информации. SCADA-системы решают следующие задачи: визуализация технологического процесса; сбор данных с различных источников измерительной информации по протоколам DDE (Dynamic Data Exchange), OPC (OLE for Process Control) и фирменным протоколам; поддержка языка SQL для создания, удаления, чтения, записи, модификации информации в таблицах БД. В SCADA – системах принципиальной важной является работа в реальном масштабе времени.



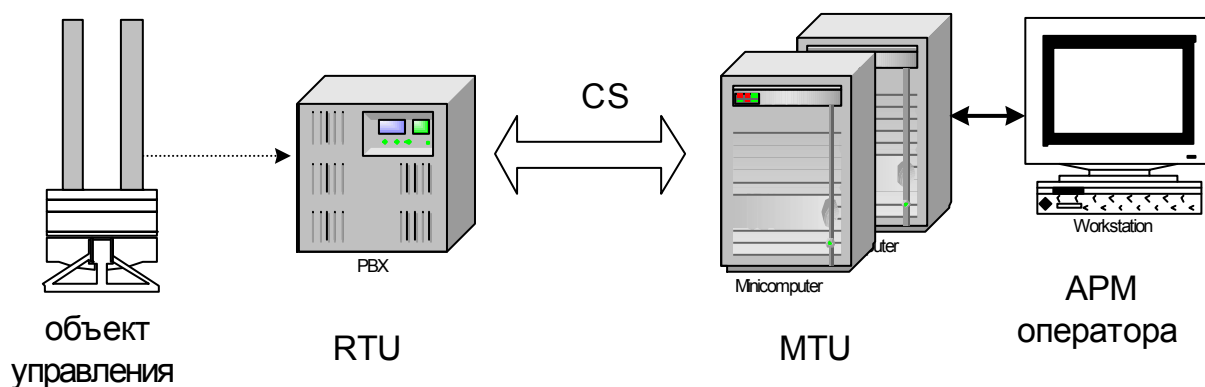
**Рис.1.3.** Взаимодействие АСУ П и АСУ ТП предприятия

Выделяются следующие способы интеграции подсистем уровней MES и SCADA: использование БД, в том числе в качестве буфера между различными подсистемами, что позволяет обеспечивать оперативный обмен данными между подсистемами; применение класса продуктов, главным назначением которых является импортирование объектов из одной подсистемы и экспортирование их в другую подсистему; использование готовых решений для предприятий.

От SCADA-систем требуется выполнение следующих функций: сбор данных от программируемых логических контроллеров (ПЛК); первичная обработка данных о технологических процессах; архивация данных; представление мнемосхем объекта в статике и динамике; представление графиков (трендов) измеряемых величин; сообщения о неисправностях и авариях; печать протоколов и отчетов; ввод в систему управления команд операторов; связь с другими автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов; решение прикладных задач на основе текущих измерительных данных. К SCADA-системам предъявляются следующие основные требования: надежность системы (технологическая и функциональная); безопасность управления; точность обработки и представления данных; простота расширения системы.

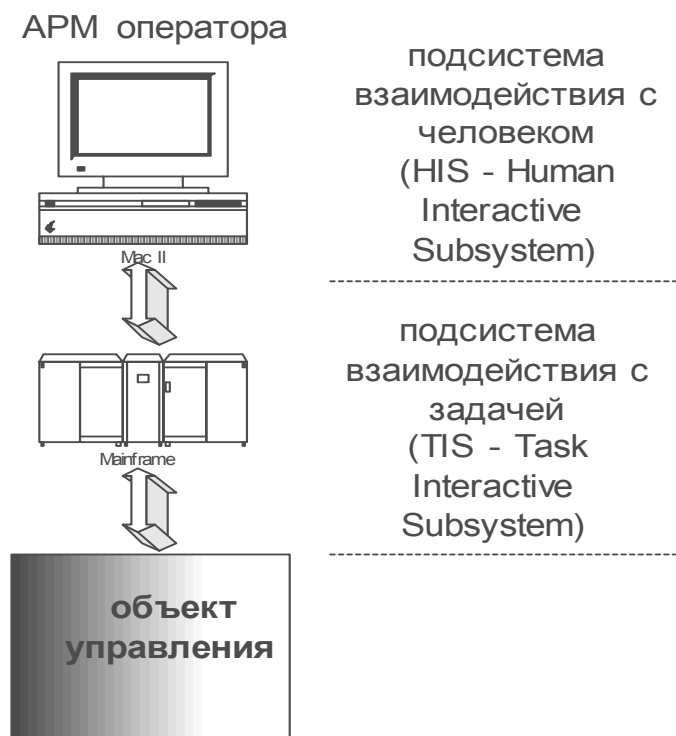
Существует два типа управления объектами в SCADA: автоматическое и инициируемое оператором. Все современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента (Рис.1.4).

Первый элемент – Remote Terminal Unit (RTU – удаленный терминал), осуществляющий обработку задачи (управление) в режиме реального времени. К RTU относятся аппаратные средства от датчиков, осуществляющих съем измерительной информации от объекта, до специализированных многопроцессорных отказоустойчивых вычислительных комплексов, осуществляющих обработку информации и управление в режиме жесткого реального времени. Конкретная реализация определяется конкретным применением. Второй элемент – Master Terminal Unit (MTU – диспетчерский пункт управления), Master Station (MS – главный терминал), осуществляющий обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме «мягкого» (квази-) реального времени. Одна из основных функций MS – обеспечение человеко-машинного интерфейса (HMI). В зависимости от конкретной системы MTU может быть реализован от одиночного компьютера с дополнительными устройствами подключения к каналам связи до больших вычислительных систем (мэйнфреймов) и/или объединенных в локальную сеть рабочих станций и серверов. Третий элемент SCADA – это Communication System (CS – коммуникационная система или каналы связи), необходимая для передачи данных от удаленных точек (объектов, терминалов) на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на RTU.



**Рис.1.4.** Основные структурные компоненты SCADA-системы

Прогресс в области информационных технологий обусловил развитие всех трех основных структурных компонентов систем АСУ ТП: RTU, MTU, CS, что позволило значительно увеличить их возможности (Рис.1.5). Так, число контролируемых удаленных точек в современной SCADA-системе может превышать 100000.



**Рис.1.5.** Основные структурные компоненты SCADA-системы

Основная тенденция развития технических средств АСУ ТП (аппаратных и программных) – их миграция в сторону открытых систем. Открытая архитектура позволяет независимо от специфики производственных процессов выбирать совместимые компоненты от различных производителей, в результате чего расширяются функциональные возможности SCADA, снижается их стоимость и облегчается их эксплуатация.

Общий анализ SCADA-систем позволяет сформулировать некоторые их характерные особенности [6]: автоматизированная разработка рабочих мест операторов, дающая возможность создания программного обеспечения системы автоматизации без использования стандартных языков программирования высокого или низкого уровня; средства сбора информации от устройств нижнего уровня автоматизации – удаленных RTU; средства управления и регистрации сигналов об аварийных ситуациях; средства архивирования и хранения измерительной информации с возможностью ее последующей обработки; средства обработки первичной измерительной информации; средства визуализации текущей исторической информации в виде таблиц, графиков, гистограмм, динамизированных мнемосхем, анимационных изображений (Рис.1.6); печать отчетов и протоколов произвольной формы в заданные моменты времени; ввод и передача команд и сообщений оператора в ПЛК и другие устройства системы.

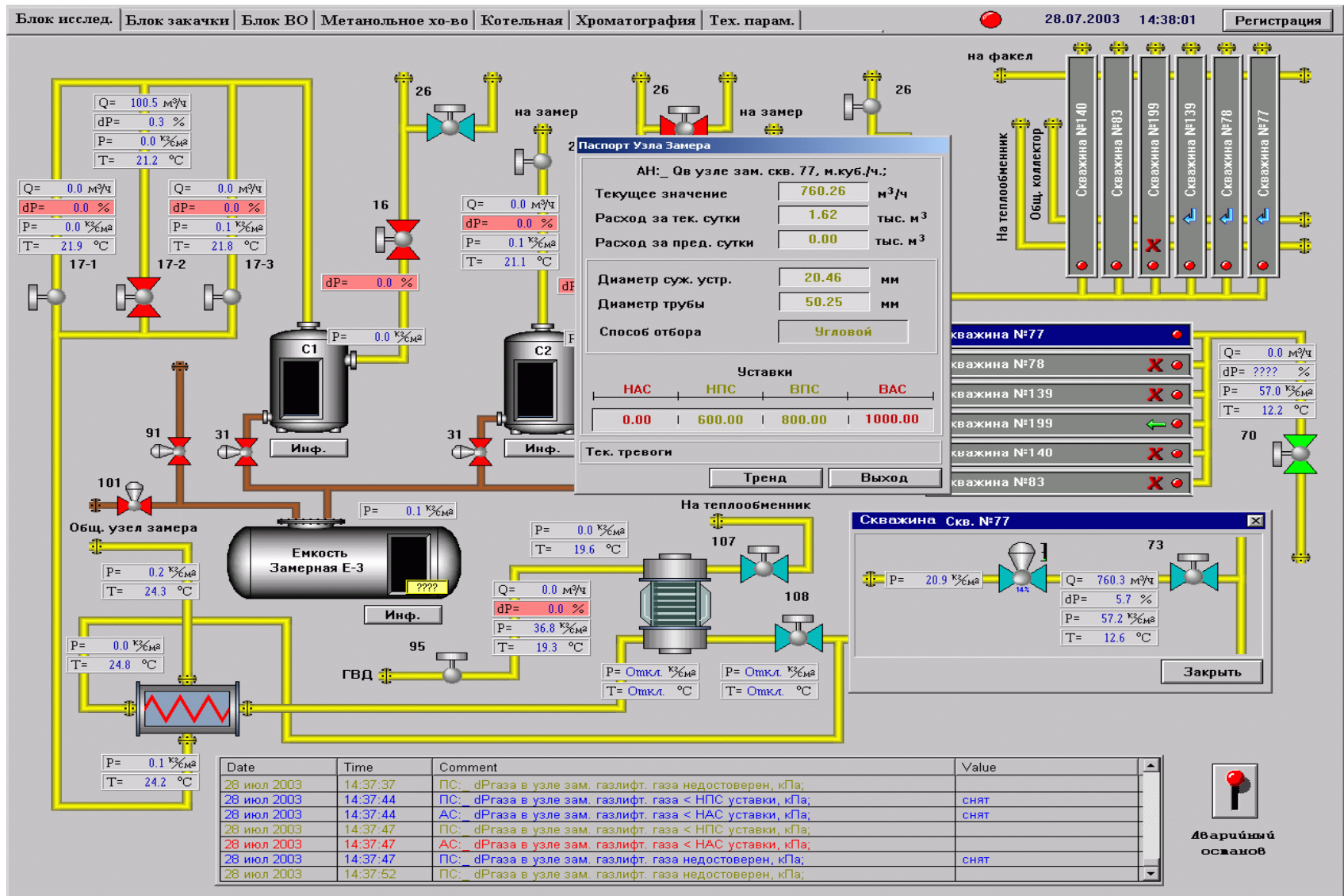
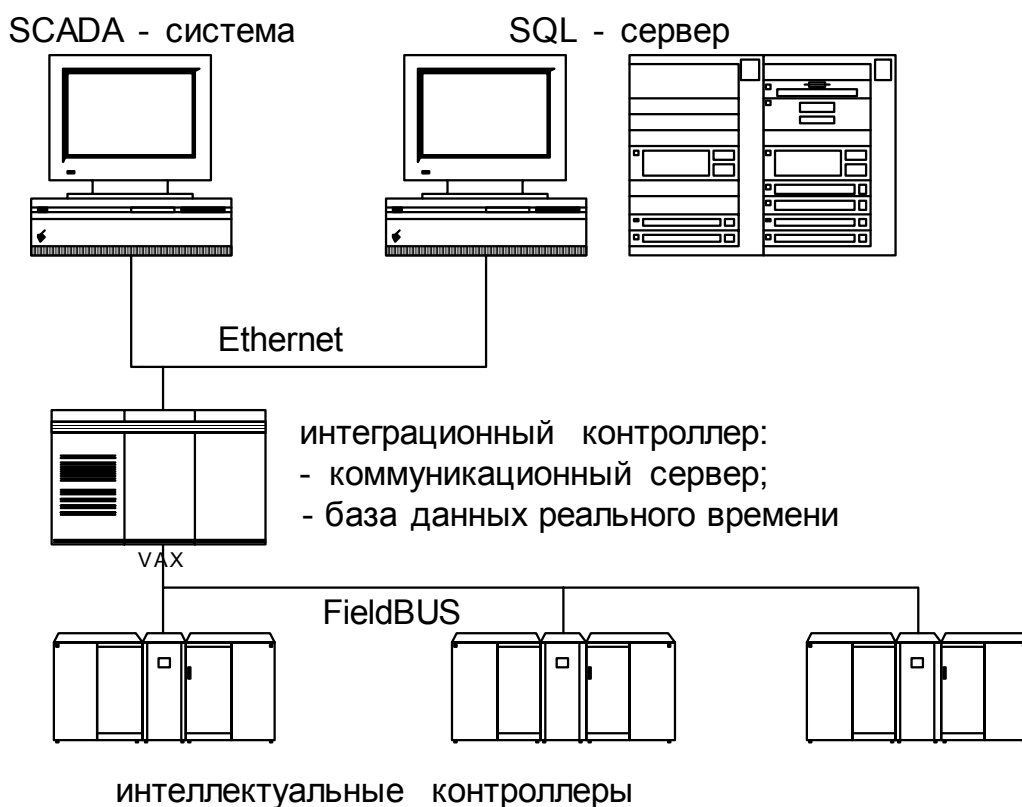


Рис.1.6. Автоматизированное рабочее место оператора, разработанное в SCADA-системе InTouch (Wonderware, США)

Большинство SCADA-систем реализовано на MS Windows платформах. Такие системы предлагают наиболее полные и легко наращиваемые HMI-средства. Многие фирмы-разработчики, например, United States DATA Co., приоритетным считают дальнейшее развитие SCADA-систем на платформе Windows NT. Все более очевидным становится применение операционных систем реального времени (ОСРВ), в основном, во встраиваемых системах.

Одной из основных характеристик современных систем автоматизации является их высокая степень интеграции. В любой из них могут быть задействованы объекты управления, исполнительные механизмы, регистрирующая и обрабатывающая информацию аппаратура, АРМ операторов, серверы БД и т.д. SCADA-система должна обеспечивать высокий уровень сетевого сервиса. Для эффективного функционирования в этой разнородной среде SCADA-система должна поддерживать работу в стандартных сетевых средах (ETHERNET, ARCNET и т.п.) с использованием стандартных протоколов (NETBIOS, TCP/IP и т.п.), а также обеспечивать поддержку наиболее популярных сетевых стандартов из класса промышленных интерфейсов и протоколов (HART, Modbus on TCP/IP, Profibus, Canbus, LON и др.). Обобщенная схема подобной АСУ ТП показана на Рис.1.7.



**Рис.1.7.** Сетевое взаимодействие SCADA-системы



Большинство SCADA-систем (см. табл.1.1) имеют встроенные языки высокого уровня – подобные VBasic, позволяющие реализовать в системе управления адекватную реакцию на события, связанные с изменением значения переменной, выполнением некоторого логического условия, с нажатием комбинации клавиш, а также с выполнением некоторого фрагмента с заданной частотой относительно всего приложения или отдельной экранной формы. В современных версиях SCADA-систем используются два подхода [6]: ориентация встроенных языков программирования на технологов (функции в таких языках являются высокоуровневыми, не требующими профессиональных навыков программирования при их использовании); ориентация на системного интегратора (в этом случае в качестве языков программирования чаще всего используются VBasic – подобные языки). В каждом языке допускается расширение набора функций. В языках, ориентированных на технологов, это расширение достигается с помощью дополнительных инструментальных средств (Toolkits). Во всех языках функции разделяются на группы: математические функции, функции работы со строками, обмен по SQL, DDE – обмен и т.д.

В разрабатываемом приложении создаются программные фрагменты, выполняющие некоторую последовательность действий, связываются с разнообразными событиями в приложении, такими как нажатие кнопки, открытие окна, выполнение логического условия и т.п. Каждое событие ассоциируется с графическим объектом, окном, таймером, открытием/закрытием приложения.

Каждая из функций во встроенном языке выполняется в синхронном или асинхронном режиме. В синхронном режиме выполнение следующей функции не начинается до тех пор, пока не завершилось исполнение предыдущей. При запуске функции в асинхронном режиме управление переходит к следующей функции, не дожидаясь завершения исполнения предыдущей.

Таблица 1.1.

SCADA-системы

SCADA - система	Фирма – разработчик	Страна
In Touch	Wonderware	США
iFIX	Intellution	США
Factory Link	Unated States DATA Co.	США
GENESIS	Iconics	США
Real Flex	BJ Software Systems	США

RSView	Rockwell Software Inc.	США
Simplicity	GE Fanuc Automation	США
Monitor Pro	Schneider Electric	Франция
WinCC	SIEMENS	Германия
Sitex	Jade Software	Великобритания
Citect	CiTechnologies	Австралия
Trace Mode	AdAstra Co.	Россия, г. Москва
MIK\$Sys	МИФИ	Россия, г. Москва
Круг-2000	НПФ «Круг»	Россия, г. Пенза
IGSS	Seven Technologies	Дания
BridgeVIEW	National instruments	США
Advantech Studio	Advantech	Тайвань

Средства визуализации – одно из базовых свойств SCADA-систем. В каждой из них существует графический объектно-ориентированный редактор с определенным набором анимационных функций. Используемая векторная графика дает возможность осуществлять широкий круг операций над выбранным объектом. SCADA-системы включают библиотеки стандартных графических символов, библиотеки сложных графических объектов. Графический редактор позволяет создавать статическую часть технологических мнемосхем, их фрагменты и элементы, не изменяющиеся в процессе работы системы, и далее выполнять динамизацию мнемосхем, т.е. отображать такие атрибуты, как текущие значения параметров, границы предупредительной сигнализации, состояния исполнительных механизмов и т.д. Динамически изменяемая информация на экране может быть представлена в удобном для пользователя виде: как текстовое сообщение, числовые строки параметров в цифровой форме, в виде барграфов или в виде изображения вторичного (показывающего, регулирующего или регистрирующего) прибора; состояние оборудования – в виде текста или изменяющих свой цвет или внешний вид фрагментов; состояние технологического процесса – в виде строк подсказок или изменяющихся по форме или цвету частей технологического оборудования (Рис.1.8).

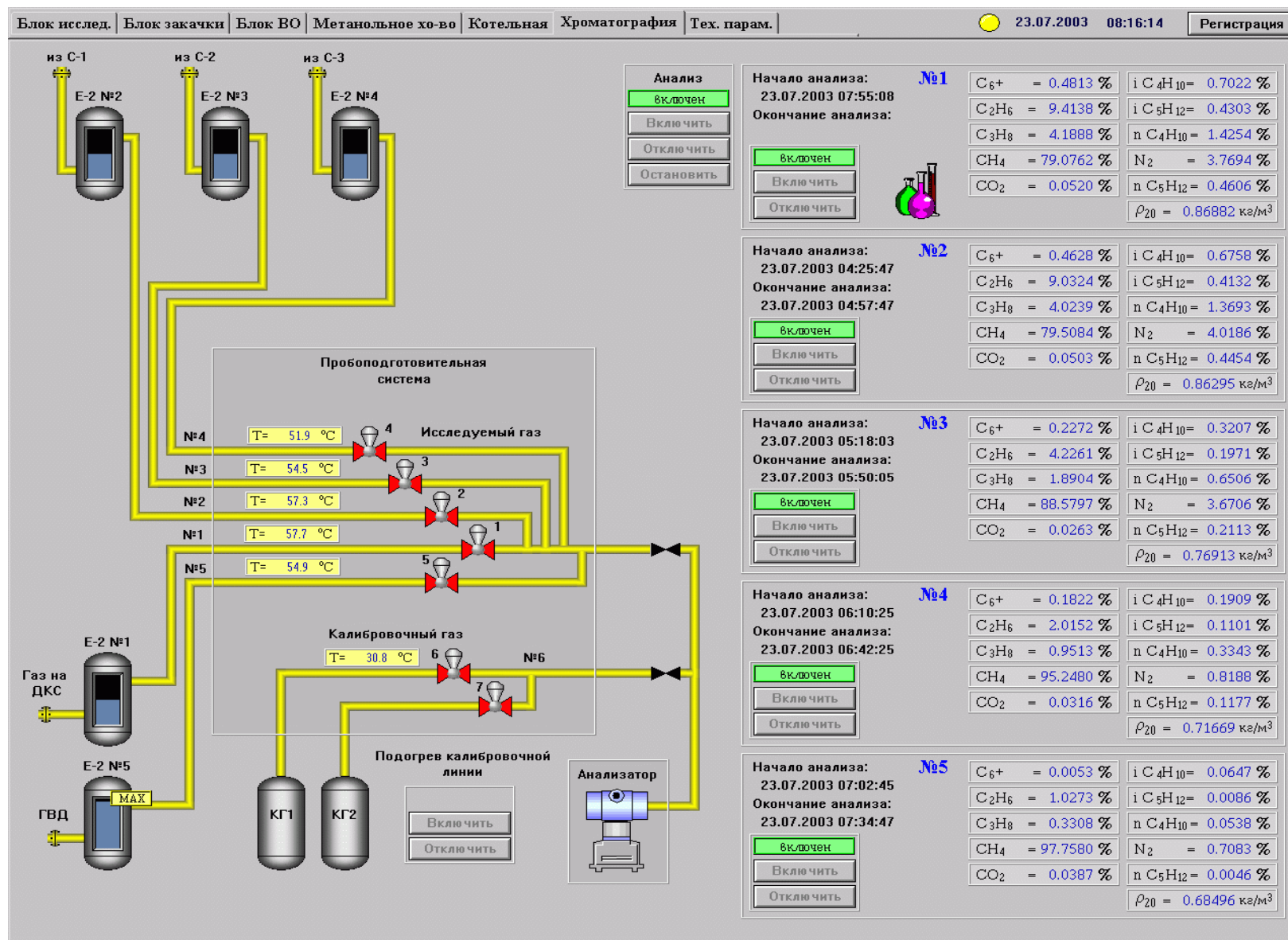


Рис.1.8. Экранная форма в SCADA-системе In Touch

Главная тенденция развития удаленных терминалов RTU – увеличение скорости обработки и повышение их интеллектуальных возможностей. Современные терминалы RTU строятся на основе микропроцессорной техники, работают под управлением операционных систем реального времени, при необходимости, объединяются в сеть с интеллектуальными электронными датчиками объектами управления и рабочими станциями верхнего уровня.

Конкретная реализация RTU зависит от области применения. Это могут быть специализированные бортовые компьютеры, в том числе мультипроцессорные системы, обычные компьютеры (PC). Для промышленных и транспортных систем имеется два направления в технологии RTU: промышленные промышленные PC и программируемые логические контроллеры (PLC).

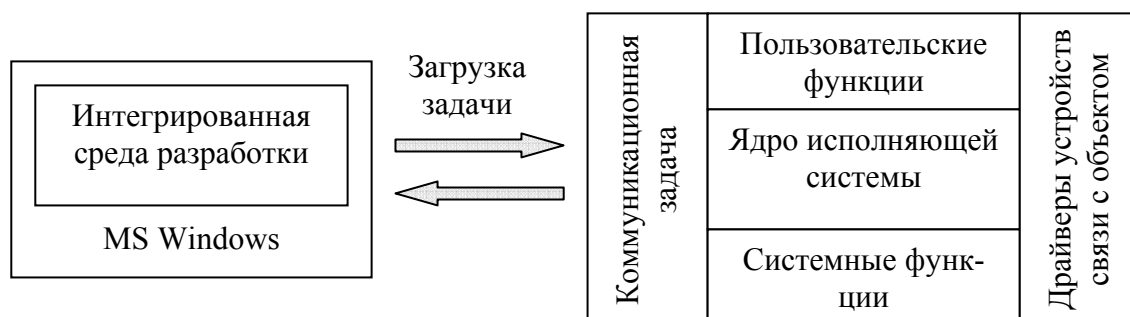
Промышленные компьютеры представляют собой программно совместимые с обычными PC аппаратные средства, адаптированные для жестких условий эксплуатации, например, рабочие станции фирмы Advantech (Тайвань). Адаптация к конкретным условиям эксплуатации относится не только к конструктивному исполнению, но и к архитектуре и схемотехнике.

Промышленные логические контроллеры – специализированные вычислительные устройства, предназначенные для управления технологическими процессами (объектами) в реальном масштабе времени. Промышленные контроллеры имеют различное конструктивное исполнение: встраиваемые в системную плату PC, блочно-модульную конструкцию, мезонинную структуру. Наиболее распространена блочно-модульная конструкция, когда ПЛК имеет процессорный модуль, интерфейсную плату, модули ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов. Модули ввода/вывода принимают информацию (сигналы) с датчиков, переключателей, преобразователей, контроллеров и других устройств и осуществляют управление процессом или объектом путем выдачи управляющих сигналов на приводы, клапаны, краны, переключатели, вентили и другие исполнительные устройства. Контроллеры часто объединяются в сеть (интерфейс RS-485, ETHERNET, различные типы промышленных шин).

Программные средства, разрабатываемые для PLC по стандарту IEC-61131-3, позволяют в удобной для оператора форме программировать и управлять PLC через рабочую станцию, находящуюся на верхнем уровне SCADA-системы – диспетчерском пункте управления (MTU). Встроенные в инструментальные системы, разработки при-

кладного обеспечения включают языки программирования по стандарту 1992 г. IEC-61131-3: графический язык последовательных функциональных схем SFC (Sequential Function Charts); графический язык функциональных блоковых диаграмм FBD (Function Block Diagrams); графический язык релейных диаграмм или релейной логики LD (Leader Diagrams); язык структурированного текста ST (Structured Text); язык инструкций IL (Instruction List).

Встроенные технологические языки программирования представляют собой инструмент решения следующих задач автоматизации: программно-логическое управление технологическим оборудованием; реализация алгоритмов оптимального управления; визуализация значения в виде трендов (текущие, средние или суммарные значения параметров по минутам, часам, сменам, суткам и т.д.); архивирование событий; создание сценария динамики экранных форм и др. После выпуска стандарта IEC-61131-3, выдвинуты требования открытости системы управления в реальном масштабе времени, включающие: возможность разработки драйверов для модулей ввода/вывода непосредственно пользователем; наличие коммуникационных задач, обеспечивающих связь с другими подсистемами; возможность использования ядра системы для ряда программно-аппаратных платформ. На рынке появилось большое количество инструментальных пакетов, удовлетворяющих данным требованиям, например, ISaGRAF (CJ-International, Франция), InControl (Wonderware, США), Paradym 3 (Intellution, США) и др. Данные инструментальные средства разработки прикладного программного обеспечения имеют дружеский HMI, средства загрузки разработанного приложения, исполняющую систему (Рис.1.9).



**Рис.1.9.** Инициализация системы исполнения инструментального средства разработки прикладного программного обеспечения

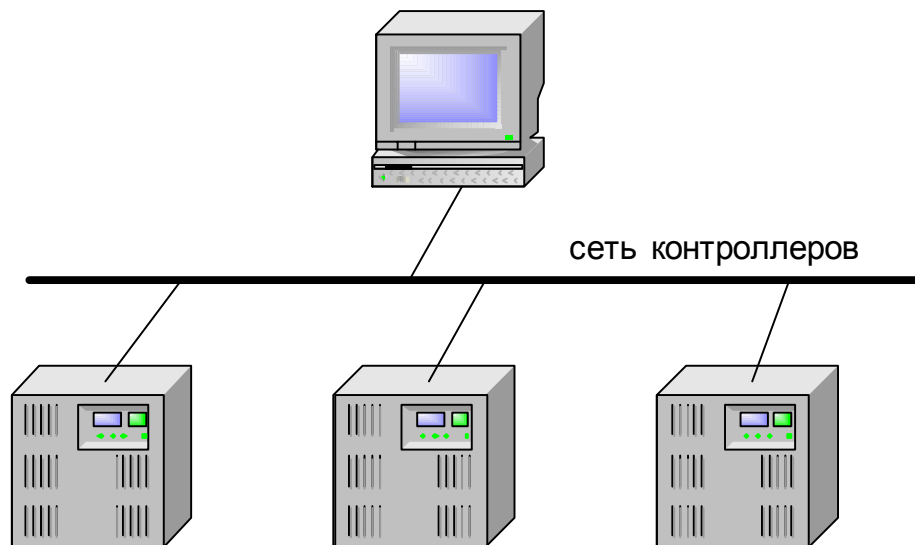
Наиболее развитой архитектурой, программным обеспечением и функциональными возможностями обладают контроллеры фирм SIEMENS (Германия), PEP Modular Computers (Германия), Schneider Electric (Франция), GE Fanuc (США, Корея), Octagon Systems (США), Advantech (Тайвань), Allen Bradley (США), Omron (Япония), Mitsubishi (Япония), National Instruments (США), Grayhill (США), WAGO (Германия), VIPA (Германия), Fastwel (Россия) и др.

Современные SCADA-системы не ограничивают выбор аппаратуры нижнего уровня – RTU, так как предоставляют большой набор драйверов или серверов ввода/вывода и имеют хорошо развитые средства создания собственных программных модулей или драйверов новых устройств нижнего уровня. Драйверы разрабатываются на основе стандартных языков программирования. Так, в системе Trace Mode спецификации доступа к ядру системы поставляются фирмой-разработчиком в штатном комплекте. Для SCADA FactoryLink, InTouch для создания драйверов необходимы специальные пакеты. Для подсоединения драйверов ввода/вывода к SCADA-системе используются два механизма: стандартный динамический обмен данными (Dynamic Data Exchange – DDE) и обмен по внутреннему фирменному протоколу. Из-за слабой производительности механизма DDE компания Microsoft предложила использование средства передачи данных между процессами OLE (Object Linking and Embedding – включение и встраивание объектов). Механизм OLE поддерживается в SCADA-системах RSView, FIX, InTouch, Factory Link и др. На базе OLE появился новый стандарт OPC (OLE для АСУ ТП), ориентированный на рынок промышленной автоматизации. Новый стандарт позволяет объединить на уровне объектов различные системы автоматизации и устранить необходимость использования различного нестандартного оборудования и соответствующих коммуникационных программных драйверов.

С точки зрения SCADA-систем, появление OPC-серверов означает разработку программных стандартов обмена данными с технологическими устройствами. На рынке появились инструментальные пакеты для написания OPC-компонентов, например, OPC-Toolkits фирмы FactorySoft Inc., включающий OPC Server Toolkit, OPC Client Toolkit, примеры OPC-программ [7].

Одной из важных проблем при реализации систем управления производственными процессами является проблема резервирования каналов. Локальная система АСУ ТП, показанная на Рис.1.10, и рас-

пределенная система на Рис.1.11 имеют общую особенность. Обе системы полностью выйдут из строя, если всего в одном компоненте системы (PC, соединенном с PLC или сетью PLC) возникает неисправность, что бывает в жестких условиях производственной эксплуатации оборудования. Если какие-либо компоненты производственного процесса являются критически важными или стоимость остановки производства очень высока, возникает необходимость построения резервирующих подсистем. SCADA-системы Citect и Trace Mode обеспечивают реализацию резервирования большинства компонентов как вследствие особенности архитектуры, так и из-за наличия встроенных механизмов.

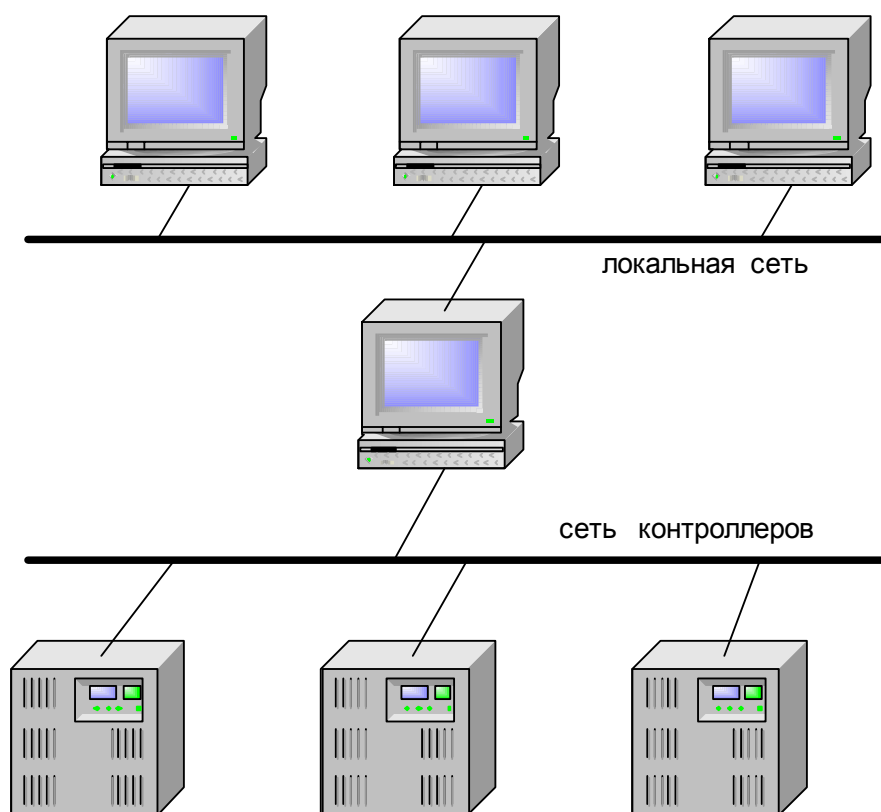


**Рис.1.10.** Локальная система АСУ ТП

Распределение процессов управления и контроля по нескольким PC, объединенным в локальную сеть, позволяет увеличить эффективность и скорость всей системы. В простой системе PC, соединенный с промышленным оборудованием, становится сервером, предназначенным для взаимодействия с PLC, в то время как PC в локальной сети являются клиентами (Рис.1.12).

Когда компьютеру-клиенту требуются данные для отображения, он запрашивает их у сервера и затем обрабатывает локально. Для обеспечения резервирования в систему может быть добавлен второй (резервный) сервер, предназначенный для взаимодействия с промышленным оборудованием. Если основной сервер выходит из строя, запросы клиентов направляются к резервному серверу. Резервный сервер при этом не должен полностью дублировать работу основного, так как в этом случае оба сервера взаимодействуют с контроллерами,

удваивая нагрузку на промышленную сеть, и, следовательно, сокращая общую производительность.



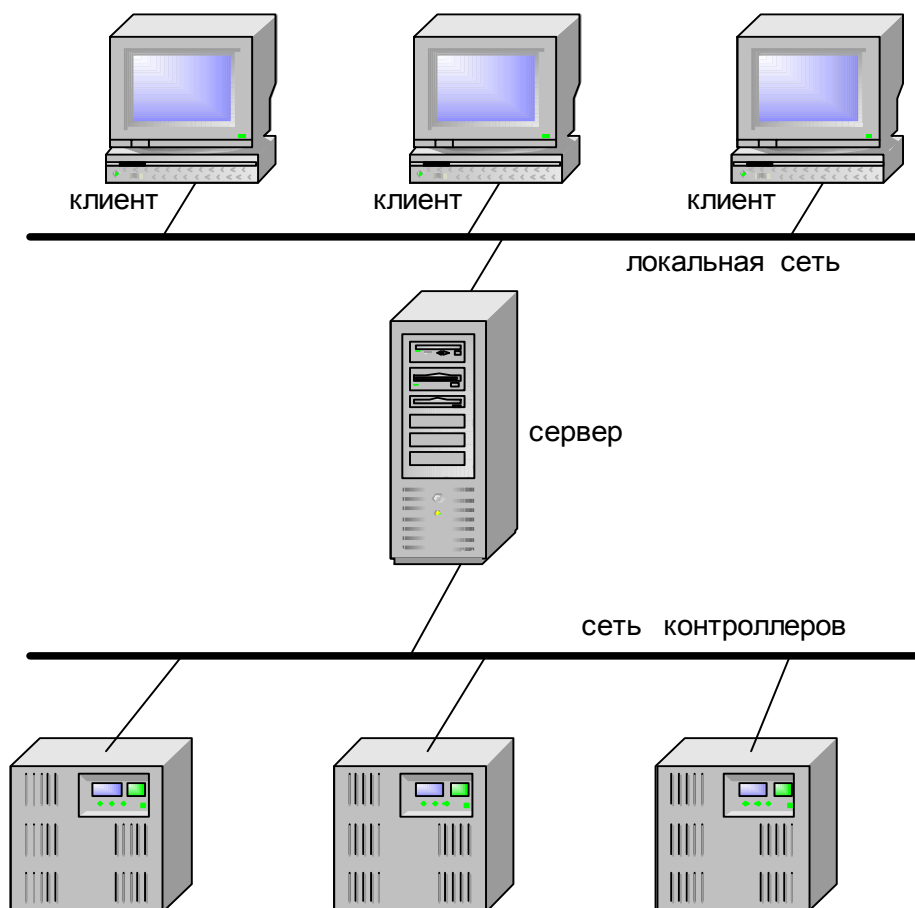
**Рис.1.11.** Распределенная система АСУ ТП

В клиент-серверной архитектуре SCADA-системы Citect основной сервер взаимодействует с ПЛК. Одновременно он обменивается данными с резервным сервером, постоянно обновляя его статус. Если обмен данными с основным сервером прекращается, резервный сервер полагает, что основной вышел из строя и берет на себя его функции. После того, как неисправность в основном сервере будет устранена и он будет снова включен, основной сервер считывает текущее состояние с резервного сервера и восстанавливает свою роль в качестве основного.

В клиент-серверной архитектуре при наличии дублированных серверов ввода/вывода можно просто реализовать поддержку постоянной связи с аппаратными устройствами. При этом необходимо обеспечить сохранность и непрерывность данных тревог и графиков в случае возникновения неисправности. Это может быть обеспечено разделением функций сервера на четыре задачи: обеспечение ввода/вывода информации; формирование сигнала тревоги; отображение графиков; составление отчетов. Каждая из этих задач поддерживает



свою БД независимо от других задач, так что можно дублировать каждую задачу в отдельности. Например, можно обеспечить параллельное исполнение задач отображения графиков на различных серверах в отличие от архитектуры основной/резервной, используемой для серверов ввода/вывода [6].



**Рис.1.12.** Клиент-серверная архитектура простой АСУ ТП

## 1.2. Сравнительный анализ SCADA-систем

Выбор SCADA-системы для конкретного комплекса технологических процессов – это многокритериальная задача, связанная с поиском компромиссного решения относительно надежности, стоимости, технического уровня, удобства HMI, затратами на сервисное обслуживание. Существенное влияние на выбор SCADA-системы оказывают следующие параметры: характеристики, особенности динамики объекта автоматизации; учет использования SCADA-системы на других объектах автоматизации; компьютерная платформа, число и расположение АРМ; число, типы контроллерного оборудования, датчиков, исполнительных механизмов; тип интерфейсов, протоко-

лов, сетевая архитектура; число измеряемых и управляющих величин на АРМ; степень защиты, надежность.

В SCADA-системах иерархию критериев можно рассмотреть по схеме: надежность (отсутствие рекламаций, количество инсталляций в отраслях промышленности); обмен данными (поддержка стандартных сетевых протоколов и форматов данных, наличие встроенных драйверов к аппаратным средствам автоматизации, производительность); удобство работы (возможность автоматического построения проекта, универсальность и наличие стандартных языков математического описания данных и процессов, удобство пользовательского интерфейса); техническая поддержка (возможность поддержки от разработчиков); цена (зависимость цены системы от конфигурации, возможность получения новых версий и бесплатного обновления релизов, наличие бесплатной системы разработки).

Программный комплекс *Factory Suite* компании Wonderware предназначен для разработки систем автоматизации промышленных предприятий и состоит из следующих взаимодействующих друг с другом компонентов: InTouch – SCADA-система для визуализации и управления технологическими процессами; IndustrialSQL Server – реляционная СУБД реального времени; InControl – пакет для управления контроллерным оборудованием; Scout – средство программирования через Internet/Intranet – сети; InTrack – система управления производством; InBatch – система управления процессами дозирования и смешивания.

*InTouch* – широко известная и распространенная в мире SCADA-система. HMI позволяет контролировать и управлять всеми объектами и системами, используя графические объекты. Он включает: отображение параметров для управления сигналами; отображение текущих и исторических трендов; отображение и регистрацию аварийных сигналов.

Исполнительная система InTouch поддерживает базу данных текущих значений процесса. Эти значения могут отражать заданные точки контроля устройств, представляющие собой параметры физического объекта, или точки, представляющие расчетные значения. Значения параметров собираются и обрабатываются на РС, использующих распределенную структуру программного обеспечения.

InTouch представляет набор инструментов для графического отображения состояния процесса. Графические объекты могут быть анимированы с использованием следующих динамических атрибутов:

цвет, положение, мигание, вращение, заполнение, указатели или процедуры для активации процедуры пользователя. SCADA InTouch позволяет организовать взаимодействие с другими приложениями, используя стандартные механизмы: DDE – обмен (большинство серверов ввода/вывода поддерживает DDE – обмен для передачи данных в InTouch-приложение); OLE – технология (используется для взаимодействия с некоторыми компонентами FactorySuite и другими пользовательскими приложениями); OPC – программы.

SCADA-система InTouch имеет встроенные механизмы интеграции с другими компонентами FactorySuite. Эти механизмы используют как указанные стандартные протоколы, так и собственный, разработанный фирмой Wonderware, протокол SuiteLink. В этом протоколе введена концепция меток времени и качества информации, выставляемых серверами ввода/вывода.

SCADA-система *Citect* фирмы Ci Technologies является одним из лидирующих программных продуктов для систем мониторинга, управления и сбора данных. Как и другие SCADA-системы, Citect лицензируется на заданное количество точек (дискретных или аналоговых переменных), при этом учитываются только внешние переменные, считываемые с устройств ввода/вывода, а внутренние переменные, находящиеся в памяти или на диске, бесплатны и не входят в количество лицензируемых точек: 75, 150, 500, 1500, 5000, 15000, 50000, 150000, 450000.

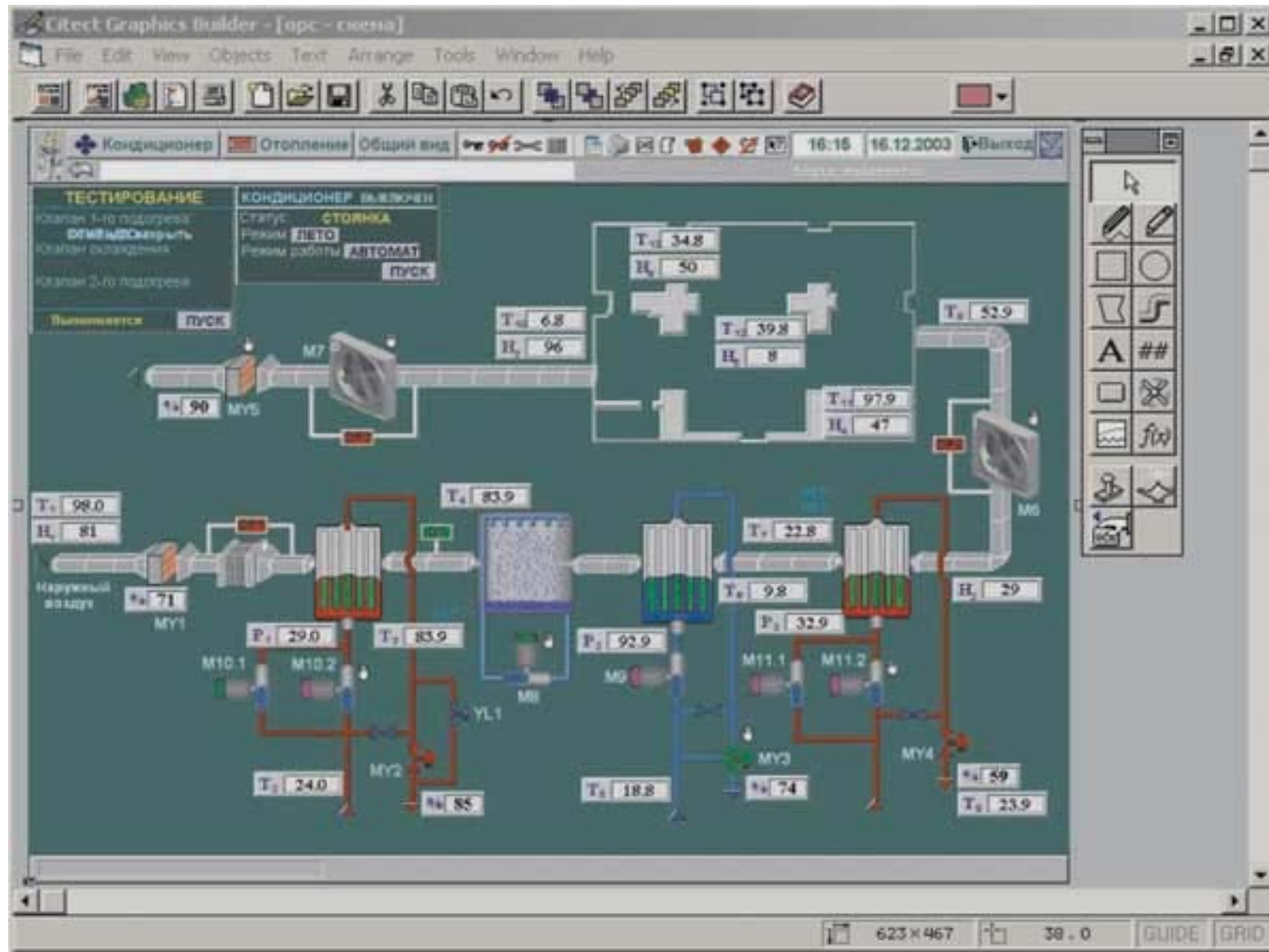
Высокая производительность определяется тем, что Citect построена на базе мультизадачного ядра реального времени. В течение одной секунды Citect может опрашивать 5000 точек в сетевом режиме с несколькими станциями. Citect состоит из пяти функциональных модулей: I/O – сервер ввода/вывода (обеспечивает передачу данных между физическими устройствами ввода/вывода и остальными модулями Citect); Display – клиент визуализации (обеспечивает операторский интерфейс: отображает данные, поступающие от других модулей Citect и управляет выполнением команд оператора); Alarms – сервер алармов (отслеживает данные, сравнивает их с допустимыми пределами, проверяет выполнение заданных условий и отображает алармы на соответствующем узле визуализации); Trends – сервер трендов (собирает и регистрирует трендовую информацию, позволяя отображать развитие процесса в реальном масштабе времени или в ретроспективе); Reports – сервер отчетов (генерирует отчеты по истечению

определенного времени, при возникновении определенного события или по запросу оператора).

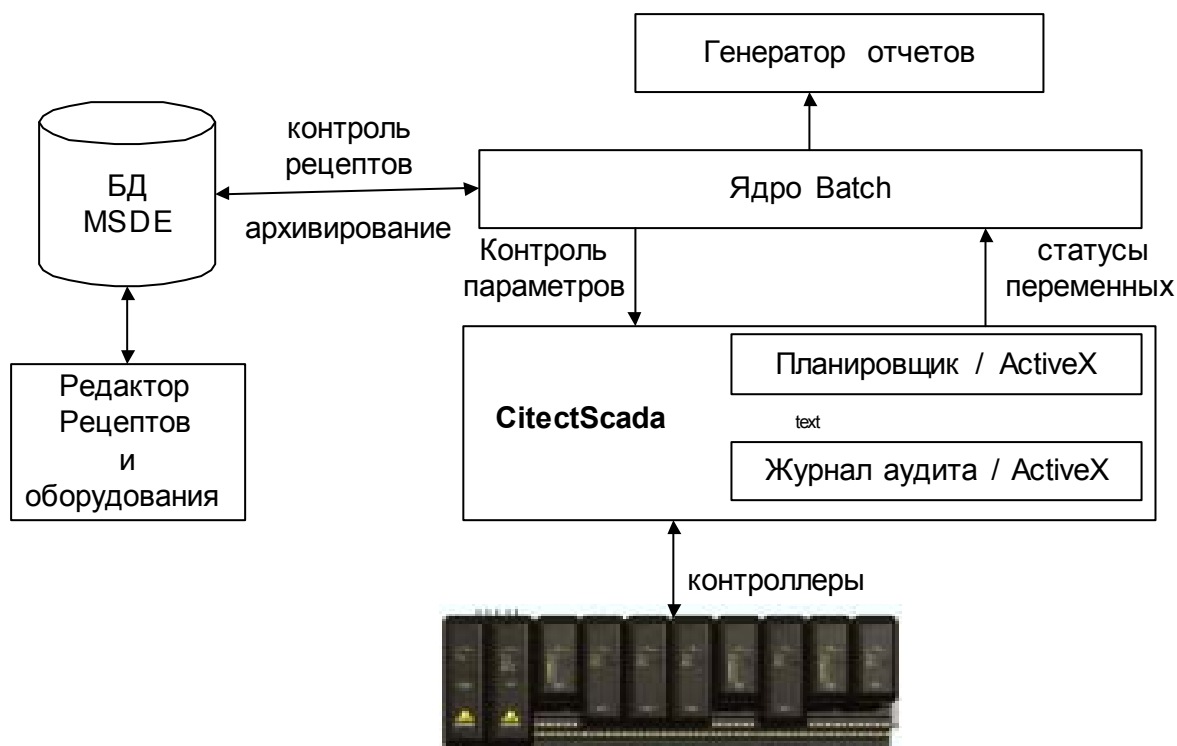
Каждый функциональный модуль Citect исполняется как отдельная задача независимо от того, исполняются ли модули на одном РС или на разных. Благодаря модульной архитектуре Citect, пользователь может использовать большие возможности резервирования. Один и тот же функциональный модуль может быть загружен в два РС одновременно – один из них будет работать как основной (primary), а другой как резервный (standby). Настройка резервирования встроена в продукт и вступает в действие после ответов на вопросы в процессе настройки РС.

Использование различных шаблонов, джиннов, мастер-объектов, готовых графических изображений и средств автоматической замены цвета обеспечивают значительную экономию времени и усилий, затрачиваемых на разработку приложения Citect, а также повышают эффективность конечной системы. Важным элементом инструментария для создания простых и сложных мнемосхем в SCADA-системе Citect является набор для рисования и редактирования. При помощи этого набора разработчику предоставляется возможность осуществлять операции рисования, выравнивания, размещения в пространстве, вращения, инвертирования, дублирования, вырезания, копирования, вставки, стирания и многих других действий над объектами, необходимых при проектировании АСУ ТП (Рис.1.13).

Создание любого, простого или сложного, графического объекта требует большого количества времени и может значительно затянуть разработку приложения. Для ускорения работы над проектом Citect предлагает библиотеки объектов (Library Objects), которые включают более 800 готовых графических компонентов. Библиотеки состоят из большого количества разделов, каждый из которых содержит набор объектов какого-то определённого типа (ёмкостей, теплообменников, клапанов, насосов, пиктограмм и т.д.). С помощью графических библиотек SCADA-система Citect обеспечивает быструю разработку сложной графики и стандартизацию разрабатываемых операторских интерфейсов.



Одной из разновидностей пакета Citect является SCADA-система CitectScada Batch, предназначенная для управления технологическими процессами серийного выпуска партий рецептурной продукции (batch-процессами) [8]. Программный пакет CitectScada Batch работает на базе SCADA-системы CitectScada версии 5.42 и выше, используя CitectScada как интерфейс для доступа к контроллерному оборудованию (Рис.1.14). Для хранения статической и динамической информации используется БД MSDE, доступ к которой осуществляется посредством рецептов и оборудования. Контроль всех операций выполняет главный модуль – Ядро Batch. Просмотр состояния CitectScada Batch осуществляется посредством Планировщика, реализованного в виде компонента ActiveX.



**Рис.1.14.** Структурная схема программного пакета CitectScada Batch

Программный пакет CitectScada Batch имеет архитектуру клиент-сервер. Ядро Batch и БД исполняются на сервере. Остальные компоненты могут устанавливаться как на сервере, так и на клиентских местах.

SCADA-пакет BridgeVIEW – продукт компании National Instruments. Данная SCADA-система получила развитие от пакета LabVIEW. Пакет имеет большой набор драйверов устройств автоматизации, широкие возможности по реализации АРМ управления техноло-

гическими процессами, обработки видеоизображений, позволяет обмениваться данными с Excel, Access. Достоинством SCADA-системы BridgeVIEW является удобство и простота создания программного обеспечения систем управления на основе средства программирования – языка G, поддержка сетевых технологий. Достаточно выбрать нужную библиотеку дополнений. В случае работы с видеокамерами и обработки видеоизображений – это пакет IMAQ Vision; работы в сети Internet – пакетом Internet Developers Toolkit; для цифровой обработки сигналов служит Advanced Analysis. К наиболее популярным дополнительным библиотекам пакета относятся [9]: SQL Toolkit – библиотека для работы с наиболее популярными БД; SPC Toolkit – библиотека для организации расширенной статистической обработки данных; PID Control Toolset – набор функций автоматического регулирования, в том числе алгоритмы Fuzzy Logic; Internet Developers Toolkit – передача данных и управление через Internet; IMAQ Vision – обработка видеоизображений, распознавание символов, организация видеоконтроля; G Math Toolkit – набор большого числа разнообразных математических функций; FlexMotion VI Library, ValueMotion VI Library – библиотеки для интеграции функций управления двигателями.

Система в BridgeVIEW состоит из двух основных процессов. Первый процесс – ядро (Engine Process), ведет БД реального времени (БДРВ), взаимодействует с серверами устройств, обрабатывает тревоги. Второй процесс – прикладной (User Process), предназначен для управления отображения информации на экране, обеспечивает взаимодействие с оператором, т.е. выполняет блоки кода программы, которые в данной SCADA-системе называются виртуальными инструментами (VI) (Рис.1.15). Эти блоки формируют программу, где разработчик реализует алгоритмы управления, анализа, обработки данных.

Взаимодействие с объектом автоматизации осуществляется через специальные программы сервера – служебной программы, представляющей другой программе – клиенту определенный сервис. Сервис – это стандартизованный интерфейс обмена данными и командами.

Разработка системы в BridgeVIEW разбивается на два этапа: конфигурирование входных и выходных каналов (тегов) и написание программы средствами языка G. Создание и конфигурирование тегов производится с помощью Tag Configuration Edition. Для тега задаются базовые параметры: частота опроса, диапазон сигнала, условия для тревог, шкала пересчета и др. После установки параметров тегов можно переходить непосредственно к программированию.

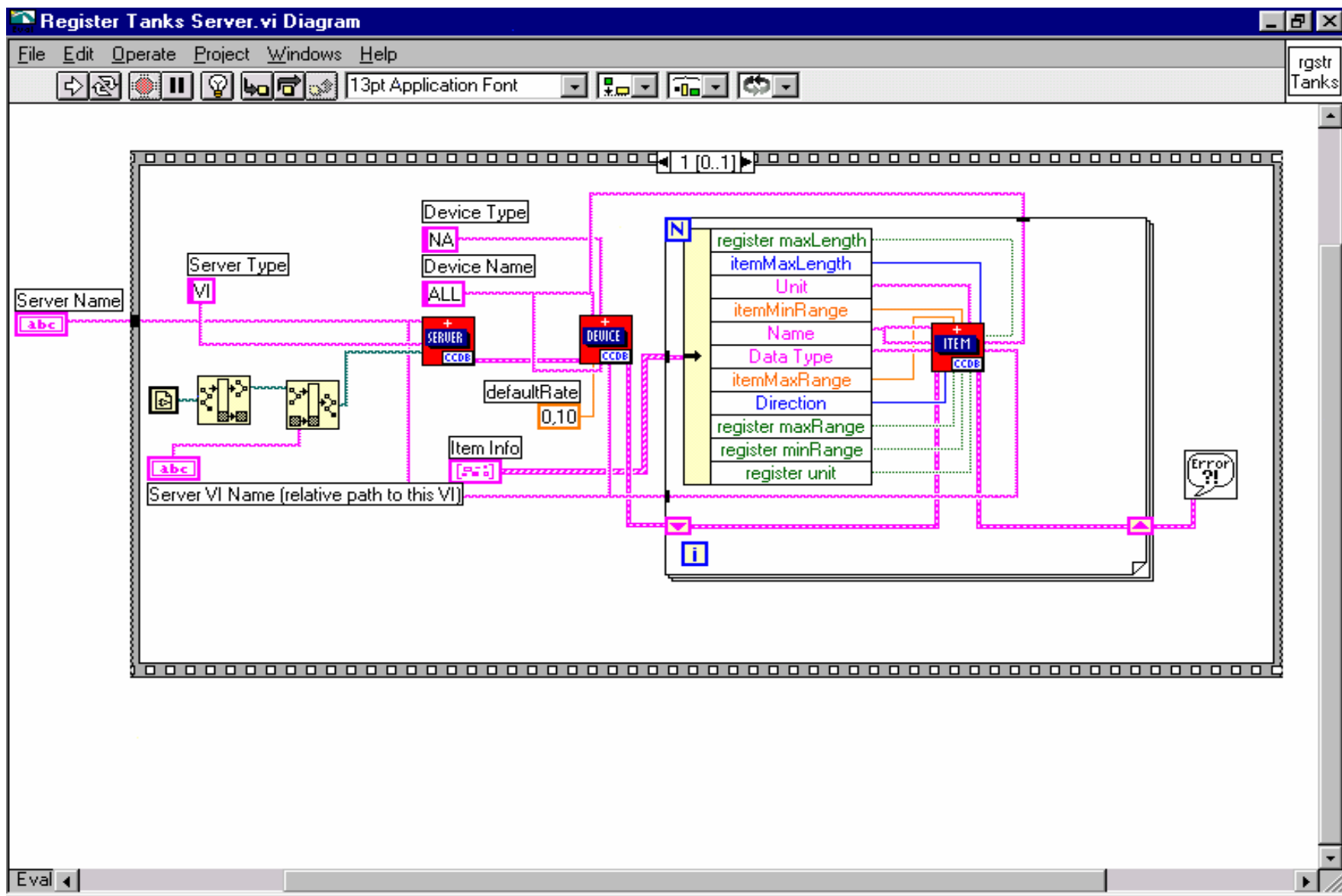


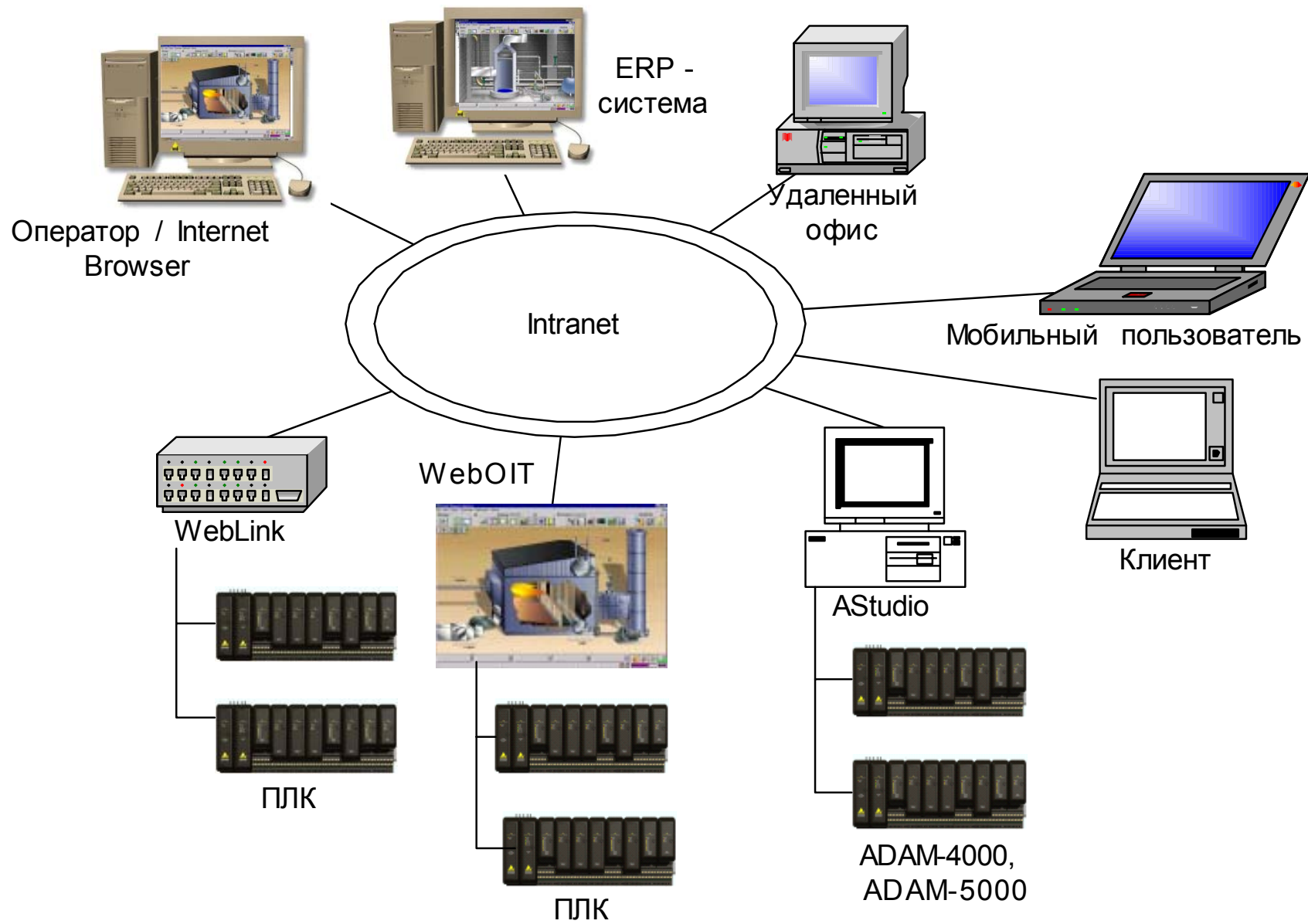
Рис.1.15. Панель программирования в SCADA-системе BridgeVIEW



Код программы на языке G - это блок-диаграммы, соединенные линиями передачи данных. В отличие от пакета LabVIEW, при работе с устройствами ввода/вывода, доступ к данным в BridgeVIEW осуществляется по их условному имени, т.е. по тегу. Например, для того, чтобы прочесть значение температуры в котле воображаемой системы, необходимо с помощью функции чтения тега передать на вход имя этого тега.

Широкие возможности сетевого обмена данными предоставляет пользователям SCADA-система Advantech Studio (AStudio) фирмы Advantech. В данную SCADA-систему заложена концепция eAutomation, цель которой – сделать информацию о производственных процессах более доступной для всех подразделений предприятия, его клиентов, обеспечить возможность работы с этой информацией в любое время и в любом месте [9]. Концепция eAutomation позволяет решать следующие задачи: контроль производства в реальном масштабе времени; доступ к технологической информации из любого отдела предприятия или удаленного офиса, возможность оперативного принятия решений не только на технологическом уровне, но и на уровне управления предприятием; интеграция данных АСУ ТП с программными системами управления предприятием, возможность создания «цифровой нервной системы предприятия»; удаленный мониторинг, необходимый в задачах диспетчеризации транспортных предприятий, систем жизнеобеспечения зданий; удаленная диагностика оборудования, оперативное оповещение персонала о предаварийных ситуациях и авариях; улучшение сервиса при обслуживании клиентов путем предоставления информации в реальном масштабе времени о прохождении заказа, состоянии склада.

Концепция eAutomation включает в себя три основные технологии: IBM PC совместимые аппаратные платформы, сеть Ethernet и современные Web-технологии (Рис.1.16). Все уровни предприятия, производственные цеха, офисы, филиалы, мобильный персонал, клиенты объединены одной сетью и используют Internet-технологии для доступа к информации. Ключевым элементом SCADA-системы AStudio – это Web-сервер (на Рис.1.16 это WebLink и WebOIT с загруженным приложением AStudio).



**Рис.1.16.** Пример системы, реализующей концепцию eAutomation фирмы Advantech

Пакет AStudio представляет программное обеспечение, совмещающее функции SCADA-систем и необходимые для реализации концепции eAutomation. К его основным свойствам относятся: среда исполнения как для Windows XP/2000, так и для ОС для встраиваемых систем Windows CE; возможность публикации данных в виде HTML-страниц, встроенный Web-сервер, совместимый с MS Internet Explorer, Netscape, подключение по сети или телефонной линии; OPC-совместимость, поддержка технологии клиент-сервер; более 100 встроенных драйверов устройств; поддержка формата XML; передача сообщений по электронной почте; графический редактор, библиотека графических символов; возможность построения графиков на основе текущей и накопленной информации; DDE-совместимость; гибкая система формирования отчетов; возможность удаленного создания, редактирования и загрузки проектов; динамическое переключение языка проекта; большая библиотека встроенных функций для создания скриптов, значительно расширяющая возможности системы; гибкая система ограничения доступа к информации.

SCADA-система AStudio имеет базу данных тегов – единое хранилище всех переменных, используемых в проекте. Редактор графических форм AStudio имеет набор инструментов для создания информационных форм: статические объекты – кнопки, геометрические фигуры, текст, импорт готовых графических изображений, библиотека готовых производственных технологических символов; динамические свойства – команды, гиперссылки, столбцовые диаграммы, ввод/вывод числовых значений и текста, изменение цвета, положения на экране и размера по условию, вращение линий и т.п.; активные объекты – окно сообщений об авариях, окно вывода текущей и архивной информации в виде графиков, списки с возможностью выбора числового значения или сообщения, окна вывода сообщений по условию и т.д. Имеется возможность добавления в экранные формы ActiveX компонентов.

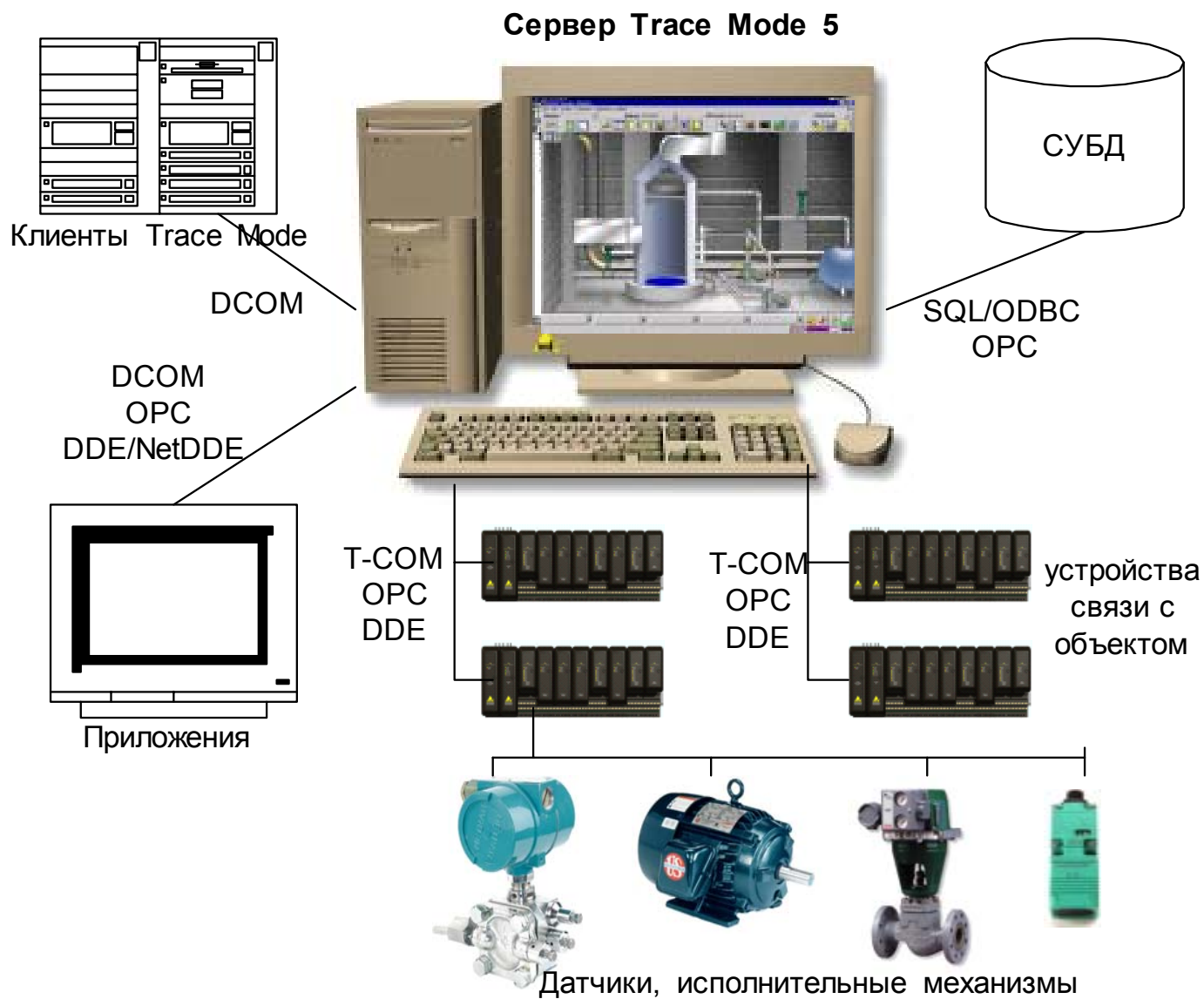
В AStudio поддерживается собственный текстовый формат архивных файлов, возможно чтение/запись данных в БД, совместимые с ODBC. Имеется возможность получения информации об авариях и тревогах в реальном масштабе времени, сортировка и фильтрация сообщений, печати в реальном масштабе времени. В AStudio имеется функция включения передачи информации по e-mail. AStudio предусматривает возможность создания пользовательских скриптов – последовательности выражений со встроенными функциями, условия-

ми, циклами. Скрипты можно привязывать к экранным формам, оформлять как отдельные задачи, выполняющиеся в фоновом режиме.

SCADA-система AStudio имеет встроенную библиотеку из более чем ста драйверов аппаратных средств под стандартные протоколы: Modbus, Modbus on TCP/IP, Profibus-DP и др. Пакет AStudio поддерживает технологию OPC и может быть как клиентом, так и сервером OPC. Обмен данными между приложениями Windows и AStudio возможен средствами ODBC, TCP/IP, DDE, а также с помощью так называемых рецептов.

Одной из популярных SCADA-систем для промышленной автоматизации является система Trace Mode 5 – интегрированный инструментальный пакет для разработки АРМ оператора АСУ ТП, а также для программирования ПЛК (Softlogic система). Система Trace Mode была разработана в 1993 г. фирмой AdAstra Research Group, Ltd (Россия, г. Москва). Пятая версия интегрированной SCADA и Softlogic систем Trace Mode 5 основана на DCOM-базовой технологии корпорации Microsoft (США), положенной в основу всех ее современных продуктов (Windows NT<sup>TM</sup>, Windows 2000, SQL Server, MS Office и др.). Основу Trace Mode составляют мощный сервер и БД, оптимизированная для работы в реальном масштабе времени (Рис.1.17). Все внутренние и внешние программные интерфейсы максимально стандартизированы. Связь с PLC осуществляется через интерфейсы OPC и DDE, а также через собственный высокопроизводительный интерфейс T-COM. Взаимодействие сервера Trace Mode с клиентами и независимыми приложениями также производится через OPC, DDE и DCOM. Для связи Trace Mode с СУБД используется стандарт SQL/ODBC. Графические формы отображения информации пользователь может разработать не только в редакторах Trace Mode, но и на языках программирования Visual C, Visual Basic, Borland Delphi – как ActiveX объекты.

Система разработки Trace Mode 5 для Windows NT содержит ряд новых технологий проектирования АСУ ТП, отличающих ее от других SCADA-систем. Среди них следующие: обеспечение единых инструментальных средств (единой линии программирования) как для разработки операторских станций, так и для программирования PLC; разработка распределенной АСУ ТП как единого проекта; *технология автопостроения*<sup>TM</sup> проекта.



**Рис.1.17.** Архитектура SCADA-системы Trace Mode 5

В систему Trace Mode 5 введены функции программирования ПЛК на основе исполнительской системы для контроллеров – Микромонитор реального времени (Микро-МРВ) [10]. Редактор базы каналов приведен в соответствие со стандартом IEC-61131-3, регламентирующим синтаксис языков программирования ПЛК. В соответствии с требованиями стандарта, программирование ПЛК осуществляется визуальными, интуитивно понятными инженерам-технологам методами в виде языка функциональных блоков (язык *Техно FBD*) или на языке инструкций (*Техно IL*).

Реализованные в инструментальной среде Trace Mode 5 язык *Техно FBD* и *Техно IL* существенно расширены по сравнению с базовыми требованиями стандарта, включают набор более чем 150 элементарных и библиотечных функций. Среди встроенных алгоритмов – пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) регулирование, нечеткое, позиционное регулирование, преобразование на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ), статистические функции расчета технико-экономических показателей и т.д. Существенным развитием стандарта является добавление ряда интегрированных функциональных блоков управления типовыми технологическими объектами (клапан, задвижка, привод, мотор, насос, группа моторов и т.д.). Проектировщик имеет возможность наращивать библиотеки языков собственными функциями, учитывающими особенность задач, решаемых в проектах. Разработки пользовательских функциональных блоков можно осуществлять на языке *Техно IL* или *C*.

Trace Mode 5 имеет распределенную БДРВ. Поэтому распределенная АСУ ТП, включающая в себя несколько ПК и контроллеров, рассматривается системой как единый проект. Каждый узел (ПК или ПЛК) в распределенной АСУ ТП, работающей под управлением Trace Mode 5, имеет информацию об остальных узлах системы, и в случае его модификации автоматически обновляет соответствующие БД на других узлах. При этом АСУ можно рассматривать как в архитектуре клиент-сервер, так и в виде распределенной системы управления. *Автопостроение<sup>TM</sup>* – это группа оригинальных технологий, реализованных в Trace Mode 5. Суть автопостроения заключается в автоматическом генерировании баз каналов операторских станций и ПЛК, входящих в состав проекта АСУ ТП, на основе информации о количестве точек ввода/вывода, номенклатуре ПЛК и плат устройств связи с объектом (УСО), наличии и типе связей между ПК и ПЛК.

Разработка графического интерфейса операторской станции осуществляется в объектно-ориентированном редакторе представления данных. Редактор представления данных, аналогично редактору базы каналов, позволяет создавать мнемосхемы для всех узлов распределенной АСУ ТП. Графические изображения создаются в векторном формате. Редактор дает возможность создания объемных изображений мнемосхем технологических объектов. Обширный объем библиотек технологических объектов включает в себя емкости, теплообменники, электротехнические символы, панели управления, ввода заданий, регуляторов, приборов и т.д. Возможно создание собственных операторских форм ActiveX, используя Visual Basic, Visual C++ и т.д.

Trace Mode позволяет создавать многоуровневые иерархически организованные, резервированные АСУ ТП. Для связи с офисными приложениями: Excel, Access, MS SQL Server, Oracle, Sybase, BaseStar, R/3, прикладными программными комплексами российского производства (Парус, Галактика), используются стандартные протоколы и интерфейсы: TCP/IP, IPX/SPX, NetBeui, DCOM, DDE/NetDDE, OPC.

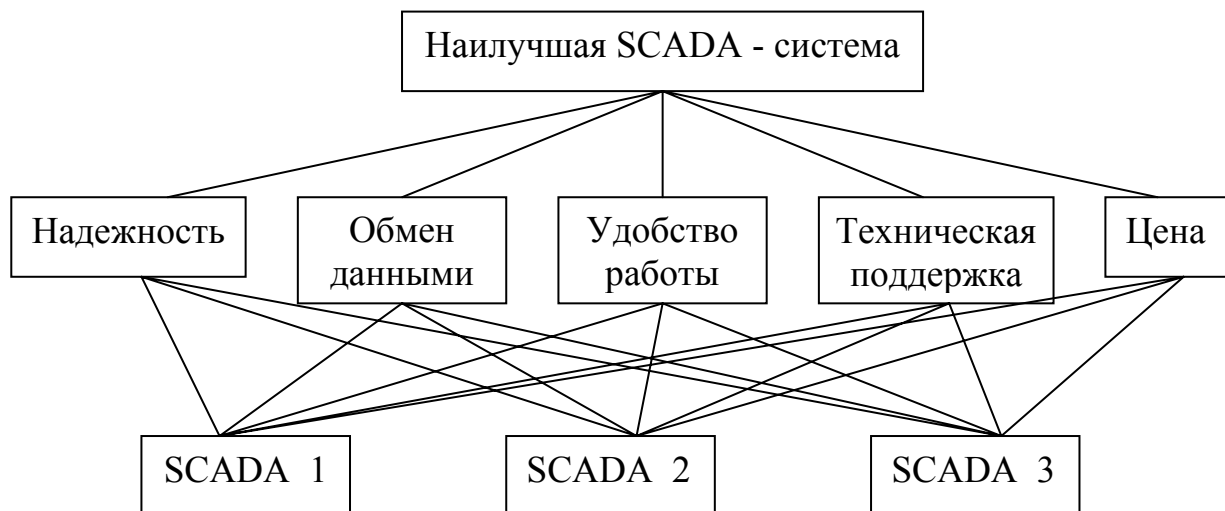
АСУ ТП уровня управления технологическим оборудованием создается на основе *Микро MPB Trace Mode*. Эта программа размещается в РС – контроллере и осуществляет сбор данных с объекта, программно-логическое управление технологическими процессами и регулирование параметров по различным законам, ведение локальных архивов. Существуют разновидности *Микро TRACE MODE* для передачи данных через коммутируемую телефонную сеть и сотовую связь стандарта GSM: *Micro TRACE MODE Modem+* и *Micro TRACE MODE GSM+*.

Основу диспетчерского уровня управления составляют мониторы реального времени (MPB). MPB Trace Mode – это сервер реального времени, осуществляющий прием данных с контроллеров, управление технологическими процессами, перераспределение данных по локальной сети, визуализацию информации, расчет технико-экономических показателей и статистических функций, ведение архивов. Минимальное время цикла MPB составляет 0,001 с [10]. Архивирование информации MPB производится с дискретностью 0,001 с.

На административном (верхнем) уровне АСУ ТП в системе Trace Mode 5 используются модули *Supervisor*, которые предоставляют руководителю информацию о ходе и прогнозировании характеристик технологических процессов, статических и технологических па-

раметров предприятия. Надежность работы диспетчерского комплекса обеспечивается встроенной системой автоматического горячего резервирования ПЛК, серверов реального времени, сервера архива. Встроенная система автоматического горячего резервирования самостоятельно контролирует работу дублированных узлов и в случае отказа одного из них, автоматически переключает информационные потоки на резервный, производит автоматическое выравнивание и синхронизацию накопленных архивов. Резервируется датчиковое оборудование, платы ввода/вывода, УСО, ПК, ПЛК, сетевые линии, архивы.

**Тестирование SCADA-систем** затрагивает актуальные вопросы языков программирования, коммуникационных протоколов, новых технологий. Выбор алгоритмов тестирования определяется принципами построения SCADA-систем, поддерживаемыми протоколами, производительностью и т.п. (Рис.1.18).



**Рис.1.18.** Выбор наилучшей SCADA-системы [6]

По функциональным возможностям все SCADA-системы в целом сравнимы. Технология программирования близка к интуитивному восприятию автоматизированного процесса. Мощное объектно-ориентированное программирование, используемое в большинстве этих пакетов, делает данные программные продукты легкими в освоении и доступными для широкого круга потребителей. Данные системы имеют открытую архитектуру с возможностью дополнения функциями собственной разработки, открытый протокол для создания драйверов аппаратных средств автоматизации, развитую сетевую поддержку, возможность включения ActiveX объектов и доступность к БДРВ.



## **2. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ И ОДНОПЛАТНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ В АСУ ТП**

### **2.1. Общие сведения о программируемых логических контроллерах**

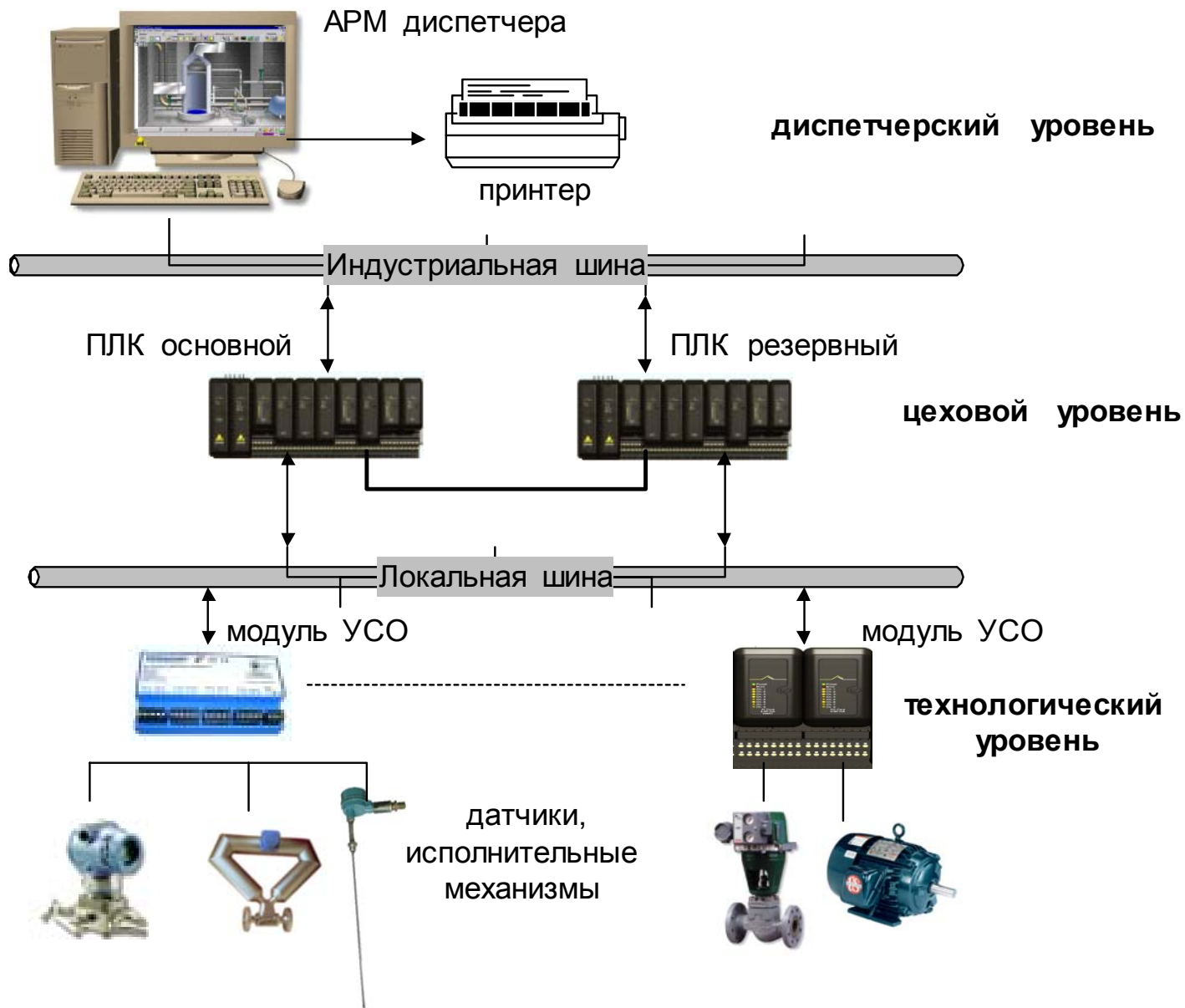
Первоначально ПЛК отличались по качеству изготовления компонентов (технология), функциональности (набор базовых и специальных функций), производительности, структуре локальной шины управления и данных для связи с УСО, средствам коммуникации, операционным системам, системным программным средствам, инструментальным пакетам для разработки прикладного программного обеспечения и средствам диагностики. В настоящее время наблюдается тенденция к сближению характеристик ПЛК.

Возможны различные варианты выбора базовых критериев при оценке выбора ПЛК, например по техническим, эксплуатационным характеристикам, потребительским свойствам. Возможно оценивание по быстродействию, производительности, объему памяти программ, числу каналов ввода/вывода аналоговых, дискретных и цифровых сигналов, по функциональным свойствам. По мнению авторов [11] быстродействие ПЛК необходимо учитывать не в MIPS (миллион инструкций центрального процессора в секунду), т.к. эта единица не является корректной, а по времени выполнения команд (двоичных, логических, смешанных, базовых) в микросекундах. При этом предложено рассмотреть следующие требования к PLC: адекватность архитектуры PLC функционально-технологической структуре объекта автоматизации; оптимальное соотношение цена-производительность; широкая номенклатура специализированных модулей (сетевые, тензометрические, ввода сигналов термодпар, частотного регулирования и др.); возможность построения систем резервирования и противоаварийной защиты. Для распределенных АСУ ТП, кроме того, требуются коммуникационные возможности PLC для связи с распределенными и удаленными УСО по физическому, оптическому и радиоканалу.

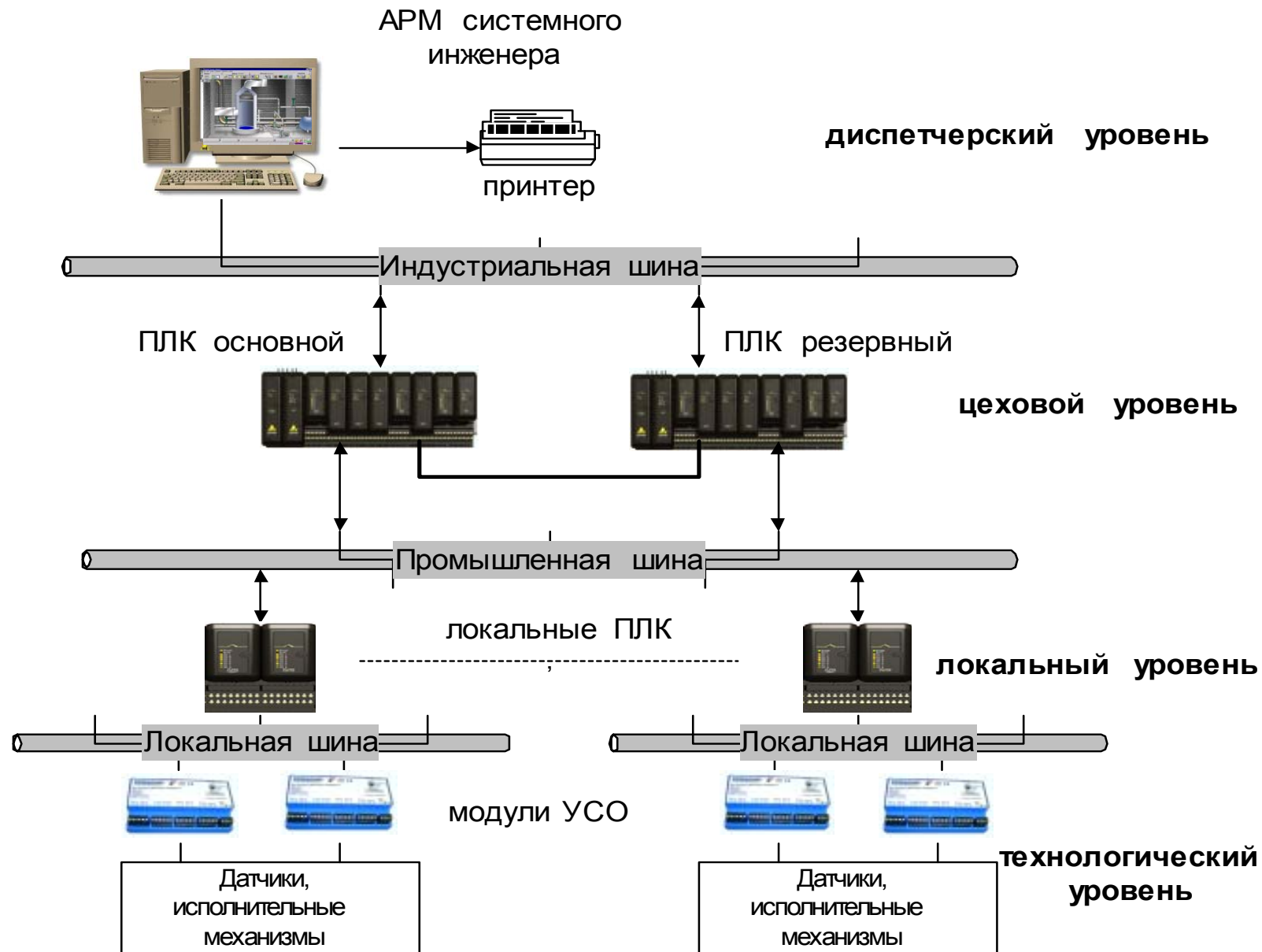
Централизованные и распределенные АСУ ТП представляют собой распределенную структуру, состоящую из ряда уровней. Централизованная АСУ ТП – комплекс программно-аппаратных средств, как правило, занимает единое ограниченное производственное пространство с централизованной подсистемой обеспече-

ния электропитанием и магистралями для обмена информационными потоками. Централизованная АСУ ТП имеет следующие уровни автоматизации (Рис.2.1): диспетчерский, цеховой, технологический.

Распределенные АСУ ТП строятся на базе объектов, расположенных на различных, часто, далеко расположенных, закрытых и открытых площадках. Для распределенной АСУ ТП характерны следующие уровни автоматизации (Рис.2.2): диспетчерский, цеховой, локальный, технологический. Основными техническими требованиями при проектировании распределенных АСУ ТП являются [12]: жесткие условия эксплуатации технических средств локальных систем автоматического управления (САУ); распределенная система электропитания; обеспечение надежного контура заземлений на каждой отдельной площадке объекта автоматизации; защита каналов измерения и управления от внешних воздействий; выбор оптимального по эффективности, надежности, взаимозаменяемости составных частей, удовлетворяющего международным стандартам контроллерного оборудования; выбор оптимального, с точки зрения пылевлагопроницаемости, защиты от электромагнитного излучения, коррозии, эргономики, удовлетворяющего международным стандартам конструктива шкафа цеховых контроллеров, шкафов автоматики локальных САУ и АРМ системного инженера; обеспечение высоконадежных каналов обмена технологической информацией между отдельными автоматизированными объектами и централизованной системой управления и контроля; резервирование основной аппаратуры контроля и управления, каналов обмена информацией; обеспечение аппаратного и программного аварийного останова технологического комплекса при аварийных ситуациях; обеспечение высокоэффективного НМІ в системе визуализации и мониторинга; обеспечение обмена данными по информационным каналам в реальном масштабе времени; эффективная, по скорости обнаружения неисправностей и надежности, система диагностики программно-аппаратных средств.



**Рис.2.1.** Структурная схема централизованной АСУ ТП



**Рис.2.2.** Структурная схема распределенной АСУ ТП

Промышленные контроллеры используются на цеховом и локальном уровнях АСУ ТП. Применение контроллеров на цеховом уровне централизованного АСУ ТП должно удовлетворять требованиям: локальная или полевая (промышленная) шина для обмена данными между контроллерами и распределенными (удаленными) УСО, например, Modbus on TCP/IP, Profibus, со скоростью обмена не менее 1 Мбит/с; индустриальная шина обмена данными между контроллерами и АРМ диспетчера; количество переменных ввода/вывода на один ПЛК может превышать 280/112 дискретных/аналоговых; наличие ОСПВ, синхронизации времени, обработки прерываний; контуры регулирования; архивирование данных; система резервирования; программирование в режиме реального времени. Оптимальными, с этой точки зрения, являются контроллеры с шиной VME или с локальной шиной обмена данными со встроенными УСО, например, контроллеры типа VME9300-42, IUC9000 (PEP Modular Computers), SIMATIC S5-115F, SIMATIC S7-400 (SIEMENS), Premium, Quantum (Schneider Electric), 90-30, 90-70 (GE Fanuc), серии 600 (Octagon Systems).

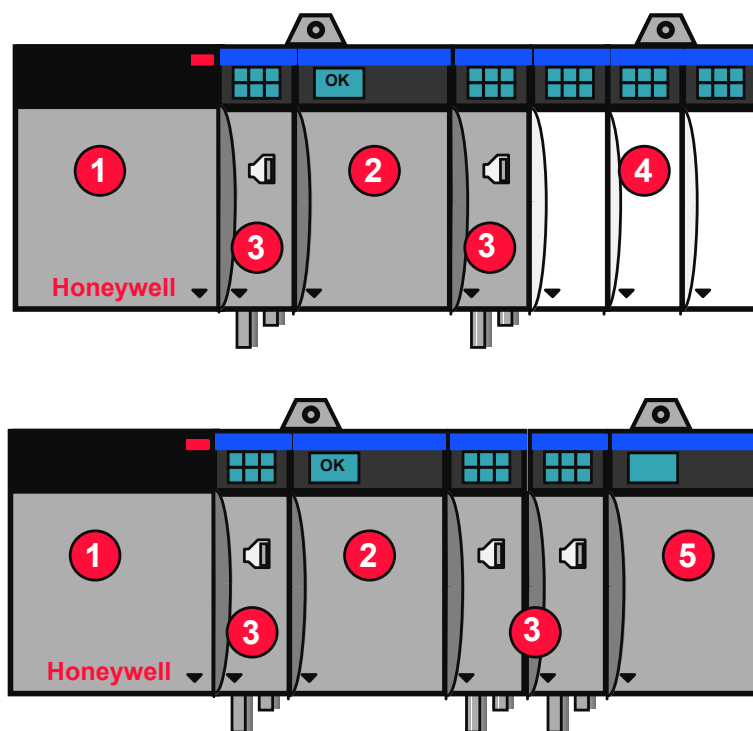
Применение ПЛК на цеховом уровне распределенных АСУ ТП аналогично их применению на цеховом уровне централизованных АСУ ТП, но имеются дополнительные функции: обязательно наличие системы резервирования; количество переменных ввода/вывода в системе может превышать 1000; для обмена между цеховым контроллером и локальными контроллерами используется полевая шина.

Применение контроллеров на локальном уровне распределенной АСУ ТП должно удовлетворять следующим основным требованиям: наличие локальной полевой шины обмена данными между ПЛК и распределенными (удаленными) УСО, например, Modbus, HART, Profibus со скоростью обмена не менее 1 Мбит/с; наличие полевой шины обмена данными между локальными и цеховыми контроллерами; число аналоговых и дискретных переменных ввода/вывода может достигать более 100 и 300, соответственно; наличие ОСПВ; поддержка режима синхронизации времени; контуры непрерывного и дискретного регулирования; программирование в режиме реального времени. В качестве контроллеров распределенных АСУ ТП можно применять ПЛК VME9000, IUC9000, SMART (PEP Modular computers) и др. Данные контроллеры по архитектуре соответствуют международным стандартам и имеют следующие характеристики: системная шина VME для ПЛК цехового применения; локальная шина для локальных ПЛК типа IUC9000 и SMART; встроенная ОСПВ OS9 для про-

мышленных ПЛК; мезонинная технология с ориентацией на гибкость конфигурирования ПЛК; прикладное программное обеспечение на основе открытых инструментальных систем типа ISaGRAF (стандарт IEC61131-3); стандартный сетевой интерфейс Ethernet, Profibus, Modbus; широкий выбор взаимозаменяемых модулей УСО; конструктив типа «Евромеханика», обеспечивающий удобство монтажа, механическую совместимость. Высокую помехозащищенность и сертифицированную защиту от механических и климатических воздействий.

Контроллеры могут иметь различную архитектуру и конфигурацию: встраиваемые в системную плату рабочей станции в ISA- или PCI – слоты; блочно-модульную (магистрально-модульную) конструкцию. Магистрально-модульный принцип построения PLC предполагает монтаж блоков ввода/вывода, CPU, интерфейсных и других специализированных модулей на панель или DIN – рейку, работают от напряжения +24 В. Набор модулей включает: модули дискретных входов/выходов; интерфейсные (коммуникационные) модули; модули аналогового ввода/вывода; модули ввода сигналов термопар; модули частотных приводов; модули позиционирования; модули PID – регулирования; модули контроля движения.

Типичная конфигурация ПЛК блочно-модульной конструкции показана на Рис.2.3. Контроллер с управляющим процессором C200 состоит из шасси (каркаса), блока электропитания (1), управляющего процессора C200 (2), интерфейса ControlNet (3) и модулей ввода/вывода (4). При компоновке контроллера могут быть использованы каркасы различного размера, имеющие различное число слотов. Все модули могут сниматься и устанавливаться в слоты без отключения питания. Модули управляющего процессора C200 фирмы HONEYWELL (2) – это блоки удвоенной ширины с оперативным запоминающим устройством (ОЗУ) 8 Мб, с функцией выявления и исправления ошибок. Главный элемент ПЛК – процессор с тактовой частотой 100 МГц PowerPC 603E. В качестве постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) используется 4 МБ ПЗУ с параллельным стиранием и с защитой от ошибок по четности. Встроенная литиевая батарейка служит для сохранения резервной копии базы данных контроллера, а дополнительный модуль батарей (5) шириной в два слота обеспечивает функцию подзарядки вместо замены литиевой батарейки. Интерфейс ControlNet (CNI) (3) – обеспечивает связь контроллера с одной из двух сетей управления процессом ControlNet.



**Рис.2.3.** Блочно-модульная архитектура контроллера фирмы HONEYWELL (США)

Для промышленного контроллера характерными функциями являются: наличие сторожевого таймера для перезапуска системы при сбое, с программируемым интервалом перезапуска; возможность работы с флэш-памятью; поддержка различных протоколов обмена данными по полевым шинам.

Одной из основных характеристик PLC является производительность контроллера. Производительность можно оценивать по следующим характеристикам:

1. Время считывания (выбора) канала телеизмерения.
2. Время обработки команд (двоичных, логических).
3. Время оборота маркера на внешней шине.
4. Цикл приложения задачи мастера (опрашивающего устройства).
5. Пропускная способность локальной или промышленной шины.
6. Цикл приложения задачи исполнителя (опрашиваемого устройства).

Существенный параметр ПЛК – время считывания ( $T_{ск}$ ) канала модуля телеизмерения. Как правило, это время представляется в технических характеристиках на модуль УСО неявно в виде времени

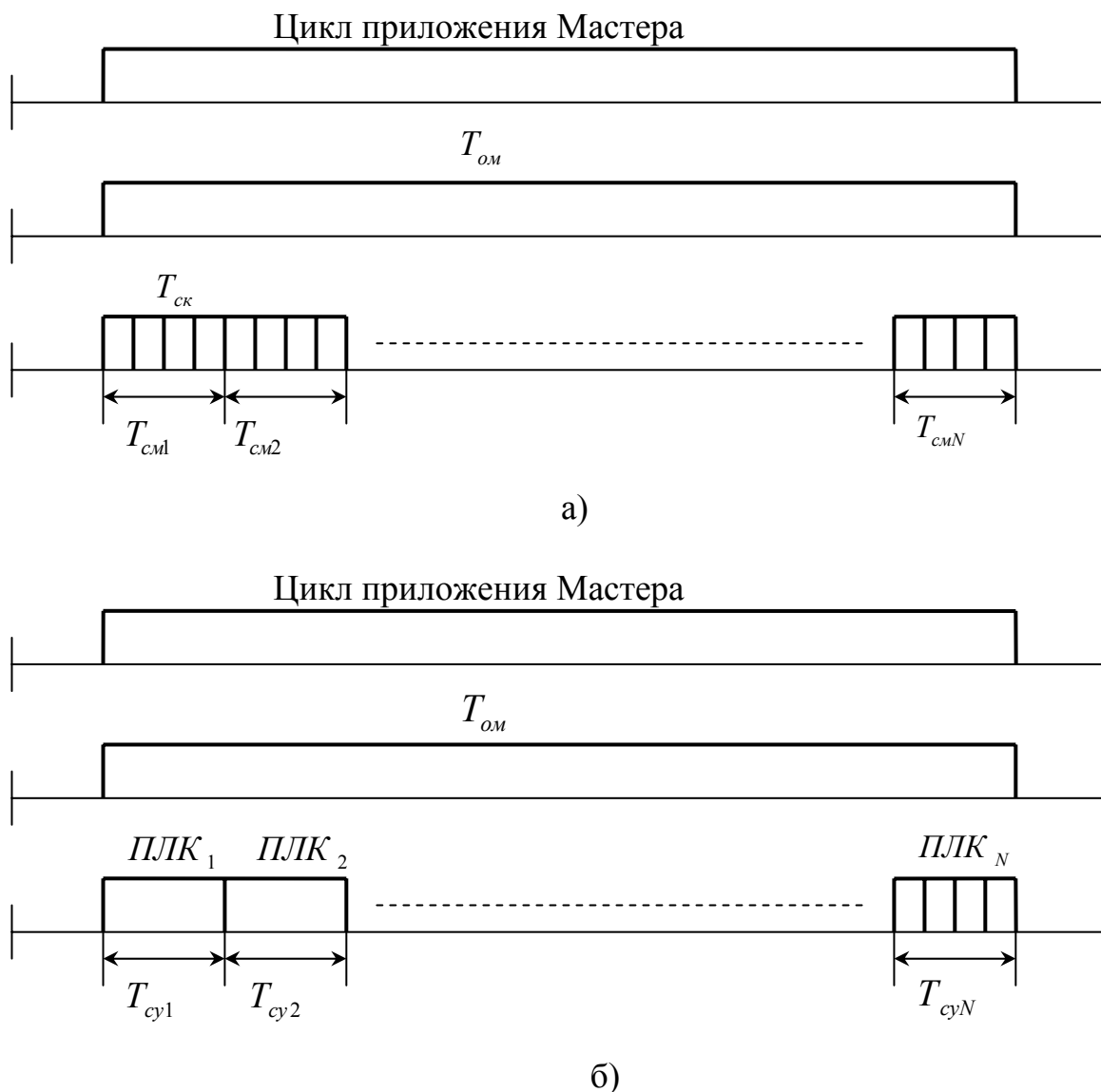
преобразования аналогового модуля (примерно 50 мкс для типового модуля) и в явном виде приводится в пределах 0,2 – 4,0 мс [11]. Суммарное время преобразования и время на обработку результата (время драйвера модуля УСО) определяет время  $T_{ск}$ .

Время обработки команд ( $T_{ок}$ ) применяется для модуля центрального процессора (CPU) в расчете на время обработки 1 КБ операций. Это время относится к обработке операндов в приложении. Практически его трудно рассчитать и косвенно можно оценить по объему приложения в памяти программ. Как правило, время обработки команд значительно превышает суммарное время считывания каналов и определяет время цикла задачи в инструментальном пакете ПЛК.

Время оборота маркера ( $T_{ом}$ ) определяется циклами считывания модулей УСО на локальной шине или циклами прикладной задачи на локальных ПЛК, а также пропускной способностью шины. На Рис.2.4 а,б показаны переменные соотношения цикла приложения,  $T_{ск}$ ,  $T_{ом}$ , где  $T_{ск}$  - время считывания канала;  $T_{см}$  - время считывания модуля;  $T_{су}$  - время считывания узла для опроса на промышленных шинах Modbus, Profibus.

Время оборота маркера на локальной и промышленной шине равно циклу приложения узла задатчика (мастера) на шине и может быть меньше пропускной способности шины. Цикл приложения узла исполнителя (ведомого) на промышленной шине не должен превышать время  $T_{ом}$ , в противном случае приложение не успеет подготовить данные для опроса. Цикл приложения мастера на промышленной шине может быть меньше цикла приложения исполнителя, но при этом не в каждом цикле приложения мастера данные модифицируются.





**Рис.2.4.** Опрос каналов ввода/вывода на промышленной шине Modbus (а), Profibus (б)

Таким образом, для программируемых логических контроллеров характерны общие свойства, определяемые международными стандартами, а именно: унификация процессоров и сопроцессоров; наличие внутриприборной шины для подключения модулей ввода/вывода; поддержка промышленных и офисных сетей (Modbus, Ethernet, Profibus, CAN, Internet и др.); поддержка технологических и процедурных языков программирования (инструментальная система ISaGRAF, Ultralogic, UltraC/C++ и др.); встраиваемые операционные системы реального времени (OS-9, QNX-4.25 и др.); поддержка механизмов обмена со SCADA-системами (DDE, OPC).

Для контроллерного оборудования различных фирм-производителей характерны системообразующие и функциональные качества: интегрирование в единую систему АСУ ТП контроллеров различных производителей, выполненных в стандарте открытых систем; масштабирование систем АСУ ТП; сопряжение ПЛК с различными SCADA-системами через стандартные средства многозадачного обмена; единая технология программирования контроллеров и возможность экспорта/импорта пользовательских программ; возможность подключения к сети Internet (наличие встроенных WEB – серверов); независимая от верхнего уровня автоматизации сеть межконтроллерного обмена данными; высокая производительность (32-разрядный процессор, параллельные вычисления в интеллектуальных модулях ввода/вывода), передача данных до 12 Мбит/с; широкая номенклатура сигналов ввода/вывода; большой набор решаемых задач (алгебраические и тригонометрические задачи, статические и динамические преобразования, регулирование, программно-логическое управление, защита, регистрация и архивирование данных и т.п.).

## **2.2. Промышленные интерфейсы и протоколы обмена данными**

На каждом уровне технологического процесса производится обработка специфических наборов данных. При выборе конфигурации сосредоточенных и распределенных АСУ ТП необходимо учитывать скорость передачи данных, протоколы передачи, физические интерфейсы. Гарантия совместной работы отдельных частей системы возможна лишь при использовании соответствующих стандартов связи между этими частями. Объединение в единую цифровую сеть нескольких устройств образует уникальные системы, как правило, поддерживаемые одним производителем, являющиеся «закрытыми» системами АСУ ТП.

Пример архитектуры открытых систем – CAN – сетевая технология (Controller Area Network), появившаяся в середине 70-х годов XX века как продукт фирмы Robert Bosch GmbH (Германия) для автомобильной отрасли. Мировое признание CAN-сети получили в 1993 г. в международном стандарте ISO 11898. В настоящее время стандарт ISO 11898 и спецификация Bosch CAN 2.0A/B – базовые документы разработчиков CAN-устройств. Действующий стандарт CAN ограничивается спецификацией двух нижних уровней эталонной се-

миуровневой модели взаимодействия открытых систем OSI/ISO (OSI – Open System Interconnection, открытая система для взаимодействия) – физического и канального (Рис.2.5).



**Рис.2.5.**Соотношение эталонной модели OSI/ISO и CAN-протоколов [13]

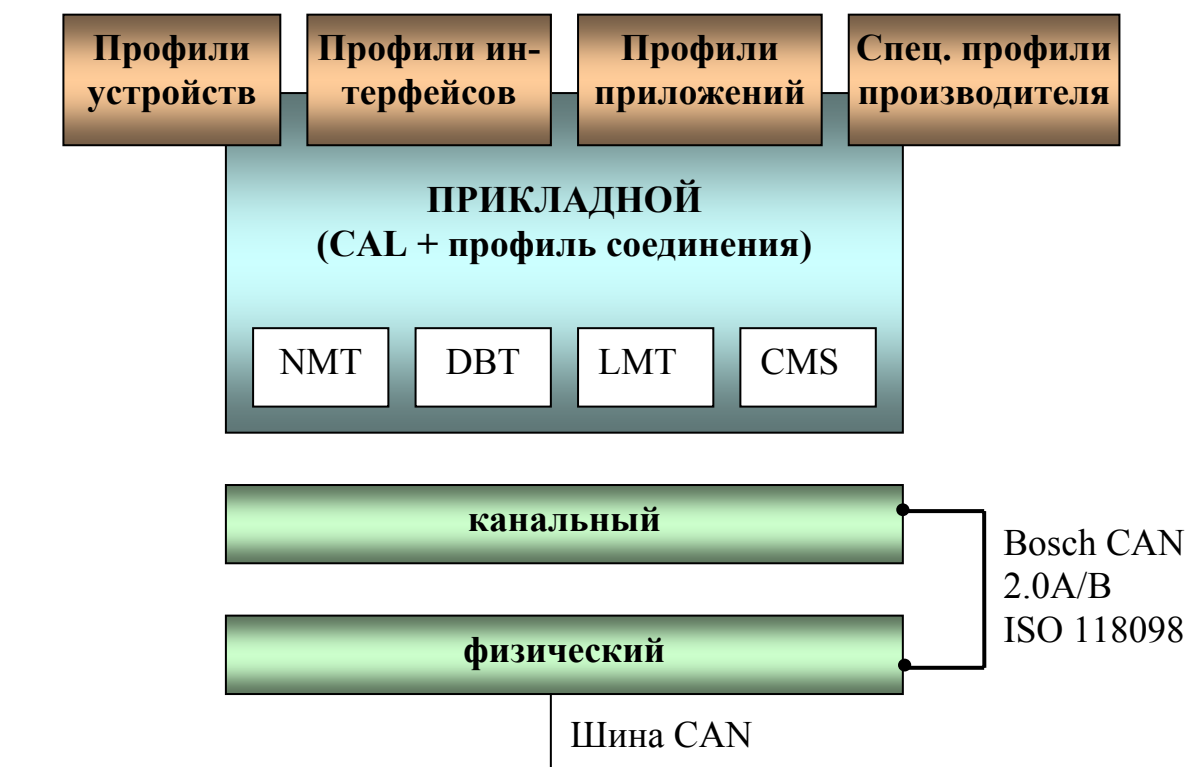
Стандарт ISO 11898 описывает физические параметры среды передачи данных, форматы сообщений, процессы передачи данных длиной до 8 Б, механизмы обнаружения ошибок. Однако стандарт не рассматривает вопросы адресации узлов сети, распределение между ними CAN-идентификаторов, интерпретации содержимого фрейма сообщения, передачи данных длиной более 8 Б. Существующие в настоящее время спецификации протоколов CAN HLP (CAN Higher Level Protocol – протокол верхнего уровня сети CAN), как правило, имеют трехуровневую архитектуру (Рис.2.5), включающую в себя два базовых уровня CAN-протокола и прикладной уровень. Сервисные функции промежуточных уровней либо отсутствуют, либо включены в прикладной. Соблюдение полной иерархии уровней эталонной модели OSI/ISO в системах АСУ ТП не требуется, наличие дополнительных изолирующих межуровневых интерфейсов приведет к потере производительности системы в реальном масштабе времени.

Спецификация CAN предполагает использование технологий: CAL/CANopen, CAN Kingdom, DeviceNet, SDS (Smart Distributed System).

Спецификация CAN включает в себя четыре составные части: спецификация CAN-сообщений (CMS-CAN Message Specification); сетевое управление (NMT – Network Management); распределение идентификаторов (DBT – Identifier Distributor); управление уровнем (LMT – Layer Management). Спецификация CMS описывает типы объектов взаимодействия в рамках объектно-ориентированного подхода, правила передачи данных различных типов посредством CAN-фреймов, взаимодействие между модулями в терминах модели клиент-сервер, механизмы передачи данных, включая передачу пакетов длиной более 8 Б. Сетевое управление построено на взаимодействии типа master-slave. Один модуль сети является NMT-мастером, остальные – NMT-ведомые. В задачи сетевого управления входят контроль ошибок и конфигурирование устройств. За счет DBT-сервисов производится безконфликтное распределение идентификаторов среди модулей под контролем DBT-мастера. Посредством LMT-сервисов возможны запрос и изменение текущих параметров (значений идентификаторов, скорости передачи, параметров квантования) в модулях непосредственно из CAN-сети.

Стандарт протокола CANopen дополняет протокол CAN системой профилей (устройств, интерфейсов, приложений) и спецификациями физического уровня (типы соединителей, правила квантования, определяющие, на сколько квантов разделять бит и в каком месте бита считывать его значение и т.п.). В структуре CANopen в соответствии с моделью OSI выделяются два нижних уровня по стандарту CAN (ISO 11898, CAN Specification 2.0 A/B) (Рис.2.6). В дополнение к спецификациям физического уровня ISO 11898 (среда передачи данных – экранированная или неэкранированная двухпроводная линия) CANopen определяет собственные правила квантования битов информации, а также три рекомендуемых типа соединителей: 9-контактный D-Sub (DIN 41652), 5-контактный круглый Mini (ANSI/B93.55M-1981), 5-контактное открытое клеммное соединение. Протокол CANopen снабжен дополнительными функциональными возможностями: стандартизированными коммуникационными объектами для технологической информации, служебных данных, сетевого управления, синхронизации, временной регистрации и аварийных сообщений. В сети CANopen с максимальным числом узлов – 64, определены восемь градаций скоростей передачи данных: 1МБ/с, 800, 500, 250, 125, 50, 20, 10 КБ/с.

В сети CANopen на прикладном уровне модули обмениваются между собой объектами-сообщениями – COB (Communication Object), включающими в себя один или более CAN-фреймов: объекты данных процесса – Process Data Objects (PDO); объекты сервисных данных – Service Data Objects (SDO); объекты специальных функций – Special Function Objects; объекты сетевого управления – Network Management Objects. Для целей передачи данных используются два различных механизма – с использованием PDO и на основе SDO. Механизм SDO позволяет модулям обмениваться данными любой длины (при последовательностях длиной более 8 Б – благодаря использованию нескольких CAN-фреймов) в ациклическом низкоприоритетном режиме. Этот тип обмена используется для конфигурирования устройств или настройки формата PDO. Обмен данными на основе PDO используется для синхронной (циклической или ациклической) или асинхронной (инициируемой внешними прерываниями) скоростной передачи не более 8 Б (длина поля данных фрейма CAN), имеет более высокий приоритет, чем SDO, и применяется для пересылок данных в реальном масштабе времени.



**Рис.2.5.** Архитектура протокола CANopen

Устройство в сети CANopen включает в себя три основные логические части: интерфейс связи и ПО протокола; словарь объектов;

интерфейс ввода/вывода и прикладное программное обеспечение. Первая часть обеспечивает прием-передачу объектов по сети. Словарь объектов описывает типы данных, объектов связи и прикладных объектов, используемых в данном устройстве. Третья часть поддерживает функционирование устройства и его взаимодействие с аппаратным интерфейсом.

Для максимального упрощения процесса интеграции модулей независимых производителей в единую сеть, в CANopen используется понятие профилей устройств: модулей ввода/вывода (аналоговые и цифровые DSP-401); приводы и модули управления перемещением (DSP-402); элементы HMI (DSP-403); измерительные устройства и регуляторы (WD-404) и др. По сравнению с другими сетями на базе шины CAN сеть CANopen в большей степени пригодна для быстродействующих систем управления перемещением объектов, контуров регулирования с обратной связью, имеет высокую надежность. К недостаткам можно отнести сложность протокола передачи данных, ограниченную пропускную способность, ограниченный размер сообщений и длины соединений (до 500 м).

DeviceNet – протокол, разработанный в 1994 г. компанией Allen-Bradley – формирует универсальную шину для промышленных сетей нижнего и среднего уровней. Сеть DeviceNet имеет шинную топологию. Физическая среда сети – 4-проводный кабель для шины DeviceNet (CAN\_H, CAN\_L, Vcc, Ground), например, фирмы Belden с длиной соединения до 500 м. Кабель представляет собой две индивидуально экранированные (алюминиево-полиэфирная лента) витые пары из многожильных медных луженых проводников, заключенные в общий экран в виде медной оплетки со степенью экранирования 65%. Параметры варианта магистрального кабеля и кабеля для отводов представлены в Табл.2.1.

Скорости передачи данных по сети DeviceNet составляют: 125, 200 и 500 Кбит/с. Особенность сети DeviceNet – возможность питания модулей непосредственно от сетевого кабеля стандартным напряжением 24 В, максимальной токовой нагрузкой 8 А на толстом кабеле (1,65 мм<sup>2</sup>), 3 А – на тонком кабеле (0,33, 0,22 мм<sup>2</sup>).

Таблица 2.1.

Параметры кабелей передачи данных для шины  
DeviceNet фирмы Belden

Обозначение	Назначение пары	Сечение, мм <sup>2</sup>	Погонное сопротивление		Внешний диаметр, мм	Наружная оболочка	Волновое сопротивление, Ом	Погонная емкость, пФ/м
			Проводник	Экран				
3082А (магистральный)	Данные, питание	0,96 1,65	22,7 11,8	5,9	12,2	Поливинилхлорид	120	39.4
3084А (ответвительный)	Данные, питание	0,22 0,33	90,9 57,4	10,5	7,0	Поливинилхлорид	120	39.4
3083А (магистральный)	Данные, питание	0,96 1,65	22,7 11,8	5,9	12,2	Хлористый полиэтилен	120	39.4
3085А (ответвительный)	Данные, питание	0,22 0,33	90,9 57,4	10,5	7,0	Хлористый полиэтилен	120	39.4

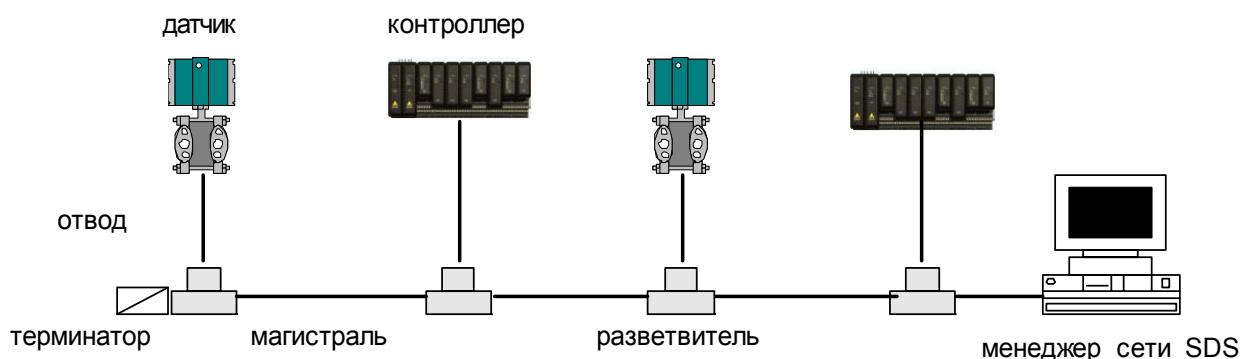
Сеть DeviceNet предусматривает «горячее» (без отключения сетевого питания) подключение и отключение модулей. При наличии оптоэлектронной развязки сигнальных цепей в модулях их питание может производиться от внешнего источника. При передаче данных в сети DeviceNet используется принцип адресации CAN-протокола с ориентацией на потребителя, узлы выбирают «свои» передаваемые в сети данные по их идентификаторам. Определены два типа сообщений:

- сообщения ввода/вывода (I/O messages) предназначены для целей управления устройствами и передачи данных в реальном масштабе времени между узлами в широковещательном режиме «точка-точка»; используют идентификаторы с высоким приоритетом, которые определяют содержание сообщения;
- явные сообщения (Explicit messages) предназначены для многоцелевого обмена данными в режиме «точка-точка» и обеспечивают сервис «запрос-ответ», используют идентификаторы с низким приоритетом и применяются для конфигурирования устройств и целей диагностики; значение сообщения содержится в поле данных.

При необходимости передачи данных длиной более 8 Б применяется механизм фрагментации. В зависимости от потребностей обмена и возможностей модулей возможны мастер-ведомый (master-slave), мультимастерный (multi-master) или равноправный (peer-to-peer) способы взаимодействия устройств. Пересылки данных могут

иницироваться путем опроса, циклически или при изменении их значения (change of state). Максимальное число узлов в сети DeviceNet – 64. Общее число устройств ввода-вывода может достигать 2048 (по 32 на узел).

Протокол SDS разработан компанией Honeywell Inc для сетевого управления интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами от PLC (рабочей станции) в системах АСУ ТП. Функционирование сети SDS происходит по аналогии с сетью DeviceNet в режиме Predefined Master/Slave. Архитектура протокола SDS включает в себя три уровня модели OSI/ISO – физический, канальный и прикладной. Шинная топология представляет собой линейную шину (магистраль или транк) с короткими отводами (Рис.2.6). Определены два базовых типа кабельной разводки: Mini (применяемый при сборке транка сети) – 4-проводный кабель с максимальной токовой нагрузкой 8 А, 5-контактный разъем, и micro (для подключения физических устройств сети) – 4-проводный кабель, 3 А, 4-контактный разъем без отдельного контакта для экрана кабеля.



**Рис.2.6.** Пример сети SDS

Сообщения, циркулирующие в сети SDS (APDU – Application Layer Protocol Data Unit) – блоки данных протокола прикладного уровня. APDU – это CAN-фрейм стандартного формата (расширенный формат фрейма в SDS-сети не применяется), элементы которого имеют свое собственное назначение в SDS (Рис.2.7). В поле арбитража (ID3 – ID9) расположен 7-разрядный адрес устройства (максимально допустимое количество устройств в сети SDS – 126). Тип APDU (3-разрядное поле) определяет тип сервиса (0...7) прикладного уровня, которому соответствует данный APDU. Нулевое значение бита ID10 (DIR) для арбитража указывает, что адрес устройства (device address) является адресом назначения, а единичное – адресом источника. Чем выше значения логического адреса, тем выше приоритет



сообщения. Бит RTR в SDS CAN-фреймах всегда имеет нулевое значение. Блок APDU имеет две формы: укороченную и длинную. Укороченная форма APDU содержит в поле DLC все нули и для передачи данных не используется. В поле данных длинной формы APDU содержится код длины (2...8) поля данных CAN-фрейма (2), два первых байта которого содержат спецификатор сервиса (Service Specifier), идентификатор встроенного объекта (EOID) и дополнительные параметры сервиса, а оставшиеся шесть предназначены для передачи собственно данных. При необходимости передачи последовательностей данных более 6 Б используется фрагментированный формат (до 64 фрагментов по 4 Б) длинной формы APDU.

7	6	5	4	3	2	1	0	Позиция
ID 10	ID 9	ID 8	ID 7	ID 6	ID 5	ID 4	ID 3	Байт 1
ID 2	ID 1	ID 0	RTR	DLC (Data Length Code)				Байт 2

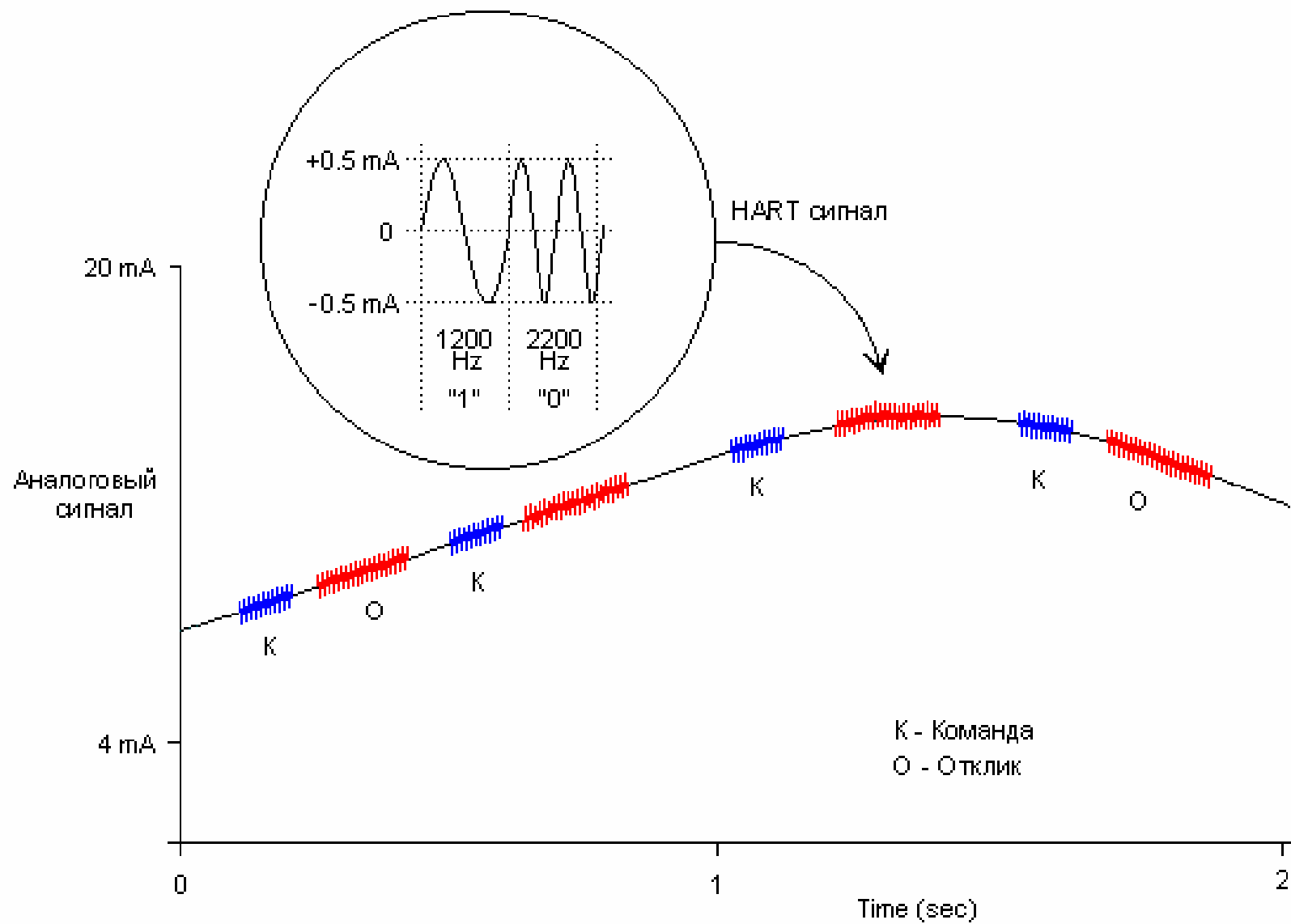
Заголовок стандартного CAN - фрейма

7	6	5	4	3	2	1	0	Позиция	
DIR	Device Address								Байт 1
APDU Type			0	DLC (Data Length Code)					Байт 2

Заголовок APDU сети SDS

**Рис.2.7.** Заголовок блока данных протокола APDU сети SDS

Протокол HART Field Communications широко известен у разработчиков и системных интеграторов АСУ ТП как промышленный стандарт для усовершенствования токовой петли 4 – 20 мА для цифровой (smart) коммуникации. HART протокол (Highway Addressable Remote Transducer – удаленно адресуемый приемопередатчик) обеспечивает совместимость между аналоговыми и цифровыми сигналами, которые могут одновременно передаваться по одному проводу. Протокол HART разработан фирмой Rosemount в середине 80-х годов [14]. Протокол построен по принципу «главный/подчиненный», поддерживает двухсторонний цифровой обмен данными между smart приборами, не влияя на аналоговый сигнал 4 – 20 мА. Для передачи цифровой информации в HART протоколе используется кодирование на основе частотной модуляции: логической «1» соответствует один полный период синусоиды 1200 Гц, логическому «0» - два периода синусоиды 2200 Гц. Цифровой и аналоговый сигнал передаются по одной паре проводов путем простого наложения HART на токовую петлю (Рис.2.8).



**Рис.2.8.** Структура сигнала в HART-протоколе: «К» – команда, «О» – ответ

HART протокол осуществляет коммуникацию при скорости 1,2 Кбит/с и позволяет управляющему устройству получить два или больше цифровых сообщения от полевого устройства в секунду. Протокол позволяет объединять до 15 полевых устройств на одной и той же паре проводов в многоточечную сетевую структуру (Рис.2.9). Все приборы в многоточечном режиме имеют свой уникальный адрес (от 1 до 15). В качестве среды передачи данных используется экранированная витая пара. В Табл.2.2 представлена информация о максимальной длине кабеля как функции от числа приборов в цепи и удельной емкости кабеля.

Таблица 2.2.

Максимальная длина кабеля (км) в многоточечном режиме  
(сечение кабеля 1,02 мм)

Число приборов	65 нФ/км	95 нФ/км	160 нФ/км	225 нФ/км
1	2,8 км	2,0 км	1,3 км	1,0 км
5	2,5 км	1,8 км	1,1 км	0,9 км
10	2,2 км	1,6 км	1,0 км	0,8 км
15	1,8 км	1,4 км	0,9 км	0,7 км

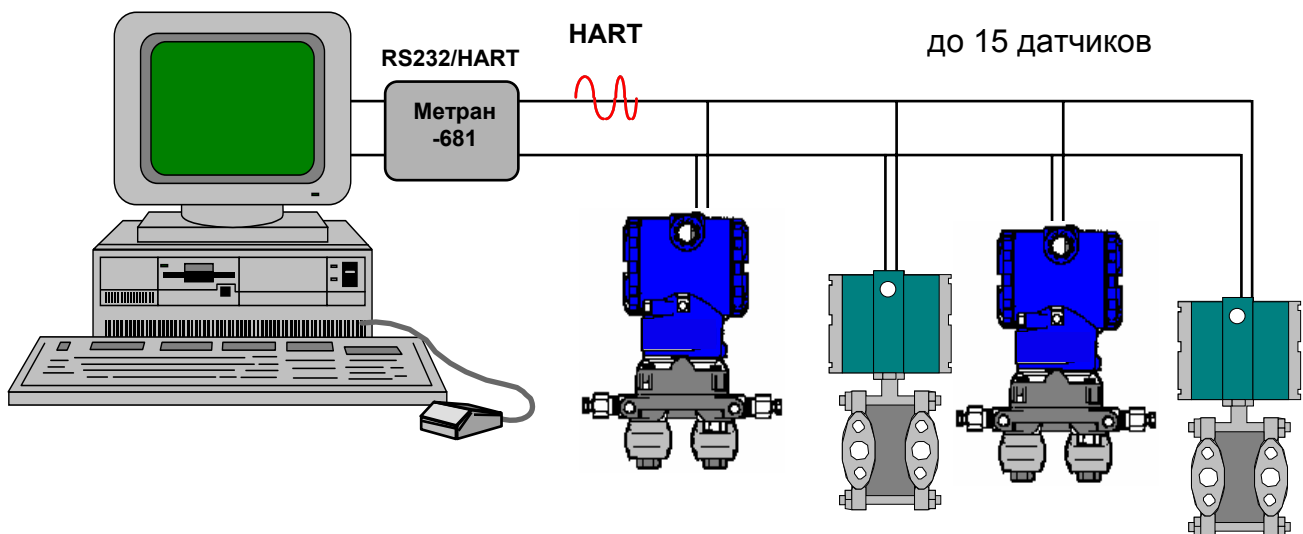


Рис.2.9. Многоточечный режим работы устройств при использовании HART-протокола

Часто в аналоговой АСУ ТП присутствует множество интеллектуальных полевых приборов, работающих в режиме совместимости с токовой петлей 4 – 20 мА. В этом случае удаленная настройка и конфигурирование датчиков с помощью HART-коммуникатора или HART-модема требует последовательного подключения коммуникационного устройства в каждой линии 4 – 20 мА. Идущей от соответ-

ствующих приборов. Для решения поставленной задачи используется HART-мультиплексор (например для датчиков «Метран-670»). При таком подходе приборы продолжают передавать измерительную информацию в систему по токовому выходу 4 – 20 мА, а их конфигурация может быть изменена с одного цифрового выхода управляющей системы.

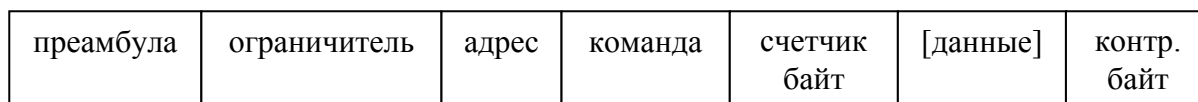
На физическом уровне HART-сообщение кодируется как последовательность 8-разрядных байтов, которые передаются с использованием UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter – универсальный асинхронный приемопередатчик). К каждому байту добавляется стартовый бит, бит четности и стоп-бит (Рис.2.10). Бит четности устанавливается «1», если число единиц в информационном байте четное.



**Рис.2.10.** Формат байта в HART-сообщении

Канальный уровень разделен на подуровни: логический контроль связи, позволяющий принимать сообщения; контроль доступа к среде, определяющий время обращения определенного устройства к каналу для передачи сообщения. Обмен данными между HART-объектами выполняется кадрами. Кадр ограничен комбинацией символов: преамбула и ограничитель, которые определяют начало кадра, и полем счетчика байтов, которое определяет конец кадра (Рис.2.11). Кадрам, передаваемым HART-приборами, предшествует определенный набор 16-ричных символов – преамбула для синхронизации приемника. Все части (поля) кадра, включая ограничитель, обеспечены двойной проверкой на четность (в каждом передаваемом байте) и контрольным байтом.

кадр «управляющее устройство – датчик»



кадр «датчик – управляющее устройство»

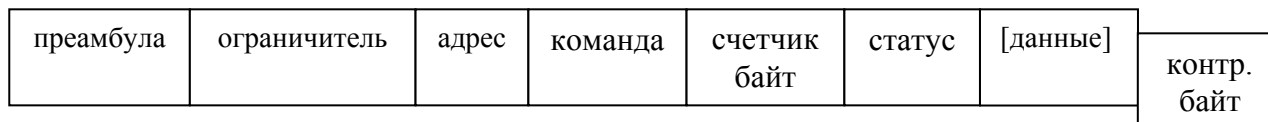


Рис.2.11 Формат HART-кадра

На прикладном уровне осуществляется взаимодействие с пользователем. Здесь описываются команды HART-протокола, используемые для работы с первичными HART-устройствами. Универсальные команды поддерживают все полевые HART-приборы. Они обеспечивают интероперабельность программно-аппаратных продуктов различных производителей и доступ к наиболее общей информации: переменные процесса, верхние и нижние значения диапазона измерений, изготовитель полевого прибора, его модель, маркировка и описание. Полевые приборы должны отвечать на все универсальные команды. Общие команды обеспечивают доступ к функциям, которые используются во многих, но не во всех приборах. Эти команды не являются обязательными. Как правило, HART-полевое устройство поддерживает 12-15 общих команд. Специальные команды обеспечивают доступ к уникальным характеристикам устройства. Эти команды не стандартны для данного прибора и назначаются производителем.

Одним из широко распространенных протоколов обмена данными компонентов АСУ ТП является протокол Modbus фирмы Modicon Inc. [15]. Протокол организует обмен информацией между устройствами по принципу master (MS) – slave (SL) (Рис.2.12).

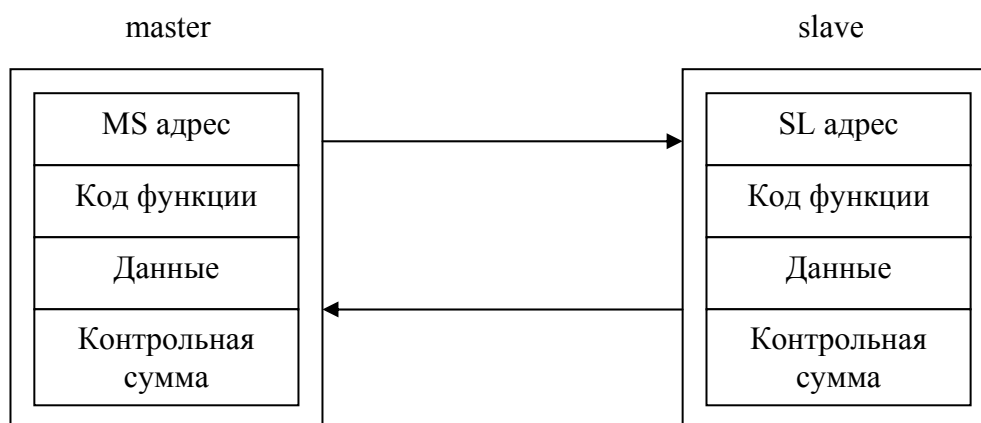


Рис.2.12. Обмен информацией между устройствами по протоколу Modbus

На шине Modbus в сети с одним MS может находиться до 247 SL. Каждому SL присваивается уникальный адрес устройства от 1 до 247. MS может инициировать запрос в виде транзакции типа запрос/ответ (адресуется только один SL), либо широковещательный запрос (адресуются все SL). Транзакция содержит один кадр запроса и один кадр ответа, либо один кадр широковещательного запроса. К фиксированным характеристикам протокола Modbus относятся: формат кадра, последовательность кадров, обработка ошибок коммуникации, выполнение функций. Другие характеристики выбираются пользователем: тип средств связи, скорость обмена, проверка на четность, число стоповых бит, режим передачи (RTU или ASCII). Параметры, выбираемые пользователем, устанавливаются аппаратно или программно для каждой станции. Режим передачи определяет структуру отдельных блоков информации в сообщении и системы счисления, используемую для передачи данных.

В режиме RTU данные передаются в виде 8-ми разрядных двоичных символов. В режиме ASCII каждый RTU символ сначала делится на две 4-х разрядные части, переводится в свой 16-ричный эквивалент, и затем используется в создании сообщения. В режиме RTU символы сообщения должны передаваться непрерывным потоком. В режиме ASCII допустима задержка до 1 сек между двумя соседними символами.

Проверка достоверности сообщения проверяется по принципу CRC-16 (Cyclic Redundancy Check) или LRC-16 (Longitudinal Redundancy Check). При этом сообщение (только биты данных без учета старт/стоповых бит и бит четности) рассматриваются как одно последовательное двоичное число, у которого старший значащий бит (MSB) передается первым. Сообщение умножается на  $X^{16}$  (сдвигается влево на 16 бит), а затем делится на  $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$ , выражаемое как двоичное число 11000000000000101. Целая часть числа игнорируется, а 16-ти битный остаток, предварительно инициализированный единицами, для предотвращения случая, когда все сообщение состоит из нулей, добавляется к сообщению (старшим битом вперед) как два байта контрольной суммы. Полученное сообщение, включающее CRC, затем в приемнике делится на тот же полином  $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$ . Если ошибок и сбоя не было, остаток от деления должен быть равен нулю.

Кадровая синхронизация в режиме RTU может поддерживаться только путем эмулирования синхронного сообщения. Приемное устройство отслеживает время между приемом символов. Если прошло время, равное периоду следования 3,5 символов, а кадр не был завершен или не поступило нового символа, устройство очищает кадр и предполагает, что следующий принимаемый байт – это адрес в новом сообщении. Формат кадра предполагает, что поле адреса следует сразу за началом кадра и состоит из одного 8-ми разрядного символа в режиме RTU или 2-х символов в режиме ASCII (Рис.2.13). Данные биты указывают пользователю адрес SL-устройства, которое должно принять сообщение, посланное MS. Каждый SL должен иметь уникальный адрес и только адресуемое устройство может ответить на запрос, который содержит его адрес.

В широковещательном режиме используется адрес 0. Все SL интерпретируют такое сообщение как выполнение определенного действия, но без посылки подтверждения.

T1-T3	адрес	функция	[данные]	Контр. сумма	T1-T3
	8 бит	8 бит	N*8 бит	16 бит	

**Рис.2.13.** Формат кадра сообщения Modbus в режиме RTU

Поле кода функции указывает адресуемому SL какое действие выполнить. Старший бит этого поля устанавливается в единицу SL в случае, если необходимо сообщить, что ответное сообщение аномальное. Этот бит остается в нуле, если ответное сообщение повторяет запрос или в случае нормального сообщения. В Табл.2.3 представлены коды основных функций протокола Modbus.

Таблица 2.3.

Коды основных функций протокола Modbus

Код	Название	Действие
01	READ COIL STATUS	Получение текущего состояния (ON/OFF) группы логических ячеек
02	READ INPUT STATUS	Получение текущего состояния (ON/OFF) группы логических ячеек
03	READ HOLDING REGISTERS	Получение текущего значения одного или нескольких регистров хранения

04	READ INPUT REGISTERS	Получение текущего значения одного или нескольких входных регистров
05	FORCE SINGLE COIL	Изменение логической ячейки в состояние ON или OFF
06	FORCE SINGLE REGISTER	Запись нового значения в регистр хранения
08	LOOP BACK DIAGNOSTIC TEST	Тестовое сообщение, посылаемое SL для получения данных о связи
09	FETCH EVENT COUNTER COMMUNICATIONS	Позволяет MS путем последовательной отправки одного сообщения определить выполнение операции
13	PROGRAM	Позволяет MS программировать SL
17	REPORT SLAVE LD.	Позволяет MS определить тип адресуемого SL и его рабочее состояние

В качестве примера на Рис.2.14 показан протокол запроса (а) и ответа (б) на чтение логических ячеек из прибора с адресом 17. Функция 01 чтения логических ячеек позволяет пользователю получить статус (1/0) логических ячеек. Широковещательный режим не поддерживается. Адресация позволяет получить за один запрос до 2000 логических ячеек. Данные в поле данных упакованы один бит на каждую ячейку. Ответное сообщение включает адрес SL, код функции, число данных в поле данных, данные и контрольную сумму. Так как запрос обслуживается в конце рабочего цикла прибора, данные в ответном сообщении отражают состояние ячеек на тот момент.

адрес	функция	Старший байт адреса первой ячейки	Младший байт адреса первой ячейки	Старший байт числа ячеек	Младший байт числа ячеек	CRC
17	01	00	13	00	25	B6

а)

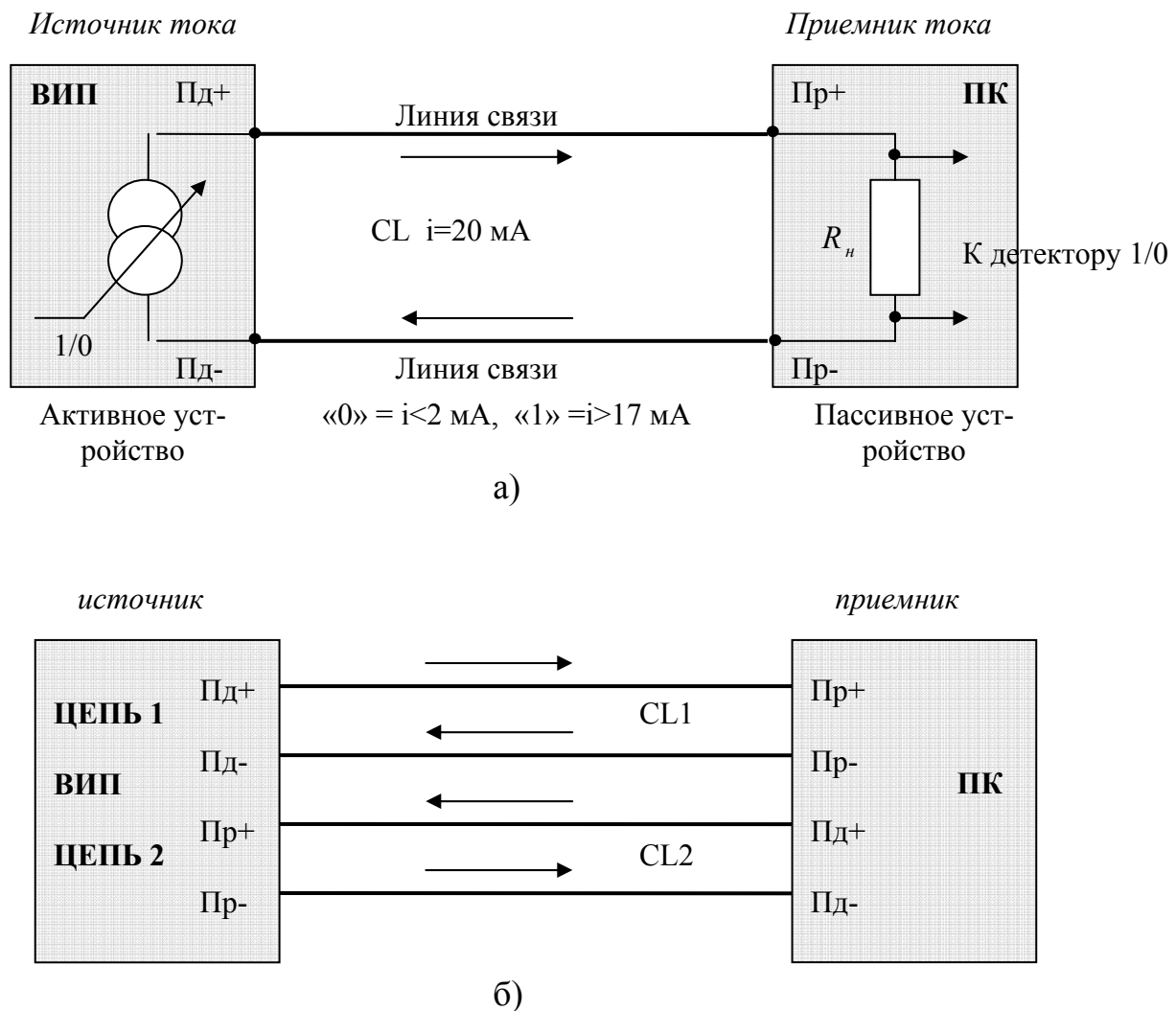
адрес	функция	Количество байт в поле данных	Статус ячеек 20-27	Статус ячеек 28-35	Статус ячеек 36-43	Статус ячеек 44-51	Статус ячеек 52-56	CRC
17	01	05	CD	6B	B2	0F	10	B6

б)

**Рис.2.14.** Запрос на чтение логических ячеек 0020 – 0056 из прибора с адресом 17 (а) и пример ответного сообщения на запрос (б)



Каналы связи в АСУ ТП связывают уровень контроллеров с уровнем ПК. Подавляющее большинство устройств имеет типовые интерфейсы. Интерфейс с токовой петлей (CL – Current Loop) относится к классу универсальных двухточечных радиальных интерфейсов удаленного последовательного доступа к системам (Рис.2.15). Данный интерфейс широко применяется в промышленном оборудовании, т.к. позволяет осуществить связь на расстояния до 3 км без использования модема [16].



**Рис.2.15.** Токовые интерфейсы контроллеров с ПК: а – токовая петля CL; б – интерфейс радиальный последовательный четырехпроводный ИРПС (ВИП – вторичный источник питания)

Интерфейс CL представляет собой двухпроводную линию, образующую токовую петлю с дискретно переключаемым источником тока и приемником (Рис.2.15а). Последовательные данные от источника к приемнику передаются побитно и побайтно асинхронным способом

сигналами постоянного тока  $i=20$  мА. Ток, превышающий 17 мА, представляет логическую «1» (маркер), а ток, меньше 2 мА – логический «0» (пробел). Одно из взаимодействующих устройств должно быть активным и служить источником тока, а другое – пассивным (приемником). Схемы передатчика и приемника линии могут быть гальванически развязаны за счет использования оптронов и изолированных источников питания. Максимальная скорость передачи сигналов по токовой петле – 9,6 Кбит/с при длине линии связи до 300 м. Увеличение длины линии связи до 2000 м приводит к уменьшению скорости передачи данных до 1,2 Кбит/с.

Токовая петля позволяет передавать данные по двухпроводной линии в одном направлении (симплексная связь): от передатчика к приемнику. Для дуплексной связи в двух противоположных направлениях используется 4-х проводная линия (Рис.2.15б). Интерфейс ИПРС содержит цепь 1 «Передаваемые данные» (Пд+/Пд-) и цепь 2 «Принимаемые данные» (Пр+/Пр-). Этот интерфейс гарантирует передачу данных со скоростью 9,6 Кбит/с на расстояние до 500 м.

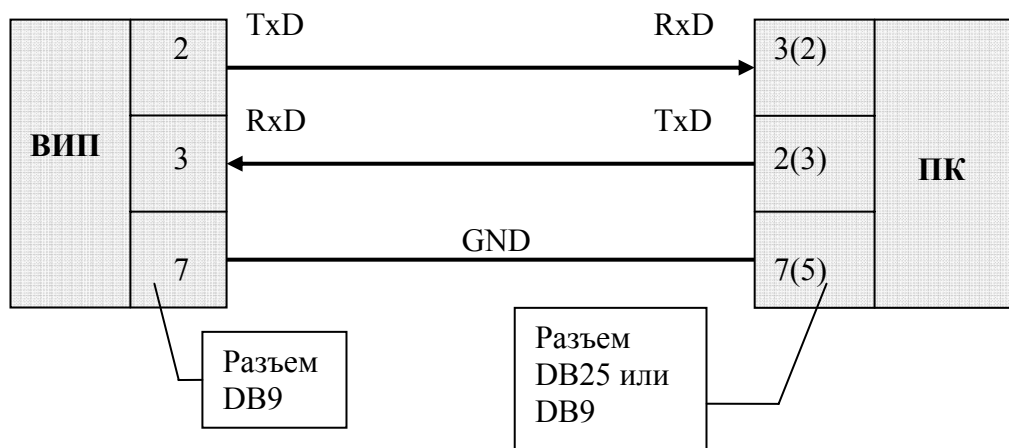
Интерфейс RS-232C применим для синхронной и асинхронной связи в симплексном, полудуплексном и дуплексном режимах. Стандарт регламентирует состав, назначение и обозначение линий (цепей) интерфейса, их нумерацию, электрические характеристики, обозначения и уровни сигналов, скорости передачи данных и тип используемых разъемов [17].

В зависимости от условий применения в стандарте RS-232C используется различное число линий. Для асинхронного обмена через модем требуется 8 цепей, для аналогичной связи по физическим линиям – 3 цепи: данные передатчика TxD, данные приемника RxD и сигнальная «земля» GND (Рис.2.16). Соединения по интерфейсу RS-232C реализуются через стандартные 9- или 25-контактные разъемы типа DB9 или DB25.

Пропускная способность шины по интерфейсу RS-232C составляет от 50 до 19,2 Кбит/с при максимальной длине 16 м. Формат байта данных составляется стартовым битом, битами данных, битом паритета и стоповым битом.

Стандарт RS-422А ориентирован на использование дифференциальной линии передачи с импедансом 50 Ом, что повышает помехоустойчивость интерфейса, длину линии связи и пропускную способность (10 Мбит/с при длине кабеля до 13 м, 100 Кбит/с при длине линии 1300 м). Данный стандарт предусматривает подключение к

одному передающему устройству до 10 приемников. Более поздний стандарт RS-485 ориентирован при тех же скоростных характеристиках на совместную работу до 32 источников и 32 приемников данных.



**Рис.2.16.** Структура интерфейса RS-232C для асинхронной связи по физическим линиям

### 2.3. Одноплатные промышленные компьютеры

Отличительными особенностями одноплатных компьютеров для встраиваемых систем являются: управляющее ядро в виде микропроцессорной системы достаточно большой вычислительной мощности, компактный размер, малое энергопотребление, высокая надежность, поддержка большого числа интерфейсов. Одноплатные компьютеры (SBC – Single Board Computer) имеют на одной плате процессор, оперативную и постоянную память, устройства ввода/вывода. Это компьютеры фирм Advantech, Diamond Systems, Lippert, Fastwel, Octagon Systems, SBS Technologies и др.

Особую нишу на рынке встраиваемых систем занимают SBC для жестких условий эксплуатации: диапазон температур  $-40...+85^{\circ}\text{C}$ , сильные механические воздействия (удары и вибрации до нескольких  $g$ ).

Размер SBC определяется форм-фактором и количеством плат расширения. Энергопотребление тесно связано с допустимым верхним пределом диапазона рабочих температур. Для жестких условий эксплуатации важным фактором является возможность автоматического понижения тактовой частоты процессора при возникновении

опасности перегрева. Устойчивость к механическим воздействиям – важнейшее требование при эксплуатации изделия в промышленности и на транспорте. Устойчивость к электромагнитным помехам актуальна при эксплуатации устройств вблизи источников электромагнитного излучения и электростатических разрядов. Гибкость SBC определяется возможностью наращивания и варьирования функций конечной системы автоматизации путем комплексирования SBC с платами расширения. Специфика встраиваемых приложений проявляется в том, что, кроме привычных пассивных объединительных плат, в SBC применяются мезонинные решения, позволяющие значительно экономить место и сохранять ударо- и вибростойкость конструкции [18].

Термин «встраиваемая система» предполагает компактность конечного изделия, которая обеспечивается стандартизованными форм-факторами: PC/104, PC/104+, MicroPC, 3,5”, 5,25”, EBX, CompactPCI, VME.

PC/104 – один из наиболее компактных форм-факторов. Линейные размеры стандартной платы 90×96 мм. Платы объединяются по принципу этажерки с шагом 15 мм. На электрическом (сигнальном) и логическом уровнях шина PC/104 аналогична стандартной последовательной асинхронной шине ISA. Стандарт PC/104+ идентичен PC/104, но имеет дополнительную шину, электрически и логически аналогичную параллельной синхронной шине PCI.

MicroPC – форм-фактор, предложенный в 1990 г. фирмой Octagon Systems. Платы имеют размер 114×124 мм и ножевой разъем, идентичный 8-разрядной шине ISA.

Форм-фактор 3,5” соответствует размеру стандартного 3,5-дюймового дискового накопителя (148×95 мм). 5,25” – форм-фактор, соответствующий размеру стандартного 5-дюймового дискового накопителя (203×145 мм). Как правило, платы этого стандарта могут наращиваться модулями PC/104 или PC/104+. EBX практически идентичен форм-фактору 5,25”, имеет другое расположение крепежных отверстий и обязательно поддерживает PC/104+.

Магистрально-модульный стандарт CompactPCI имеет следующие основные параметры: разрядность синхронной шины – 32/64; конструктив – Eurocard 3U, 6U; расстояние между модулями в крейте – 20,32 мм; максимальное количество модулей в крейте – 8/16; пропускная способность в базовом 32-разрядном варианте – 132 МБ/с.

Стандарт VME имеет характеристики: разрядность асинхронной шины – 32/64; конструктив – Eurocard 3U, 6U, 9U; расстояние между модулями в крейте – 20,32 мм: максимальное количество модулей в крейте – 21; пропускная способность в базовом 32-разрядном варианте – 40 МБ/с.

Промышленное и специальное оборудование фирмы SBS Technologies ориентировано для решения широкого спектра различных задач в таких областях как промышленная автоматизация, машиностроение, медицина, транспорт, телекоммуникация, аэрокосмическая и военная индустрия.

Применение новейших научных разработок и передовых технологий позволяет создавать компоненты для встраиваемых приложений, отвечающие самым высоким требованиям. В числе новых разработок фирмы SBS Technologies - одноплатные компьютеры стандарта CompactPCI и VME, базирующиеся на процессорах Intel Pentium®M.

Семейство одноплатных процессорных модулей стандарта 6U CompactPCI пополнилось новыми разработками: CP9, CT9 и CR9. Все три модели идентичны по своей базовой архитектуре и выполнены для определенного рыночного сегмента. CP9 оптимизирован для применения в секторе общего машиностроения, и обеспечивает возможность вывода на фронт-панель максимального количества интерфейсов ввода-вывода. CT9 предназначен для использования в области телекоммуникации. CR9 разработан, в основном, для применения в тяжелых условиях эксплуатации и имеет повышенную устойчивость к механическим нагрузкам.

Такие параметры как производительность процессора, объем памяти, объем видео памяти и рабочий температурный диапазон могут варьироваться в определенных пределах по желанию заказчика. С помощью двух PMC-мезонинов возможно интегрировать дополнительные функциональные интерфейсы: Video, Audio, Fast Ethernet, USB, COM (RS232/485), а также дискретный ввод/вывод. Микросхемы памяти Flash/SDRAM запаяны. В отличие от разъемных соединений, соединение с помощью пайки позволяет повысить устойчивость процессорного модуля к механическим нагрузкам. Использование Intel® Pentium® M процессора, а также чипсета E7501/P64H2 определяет низкую потребляемую мощность.

Благодаря низкому потреблению мощности, CP9 и CT9 в исполнении «I», «C» не комплектуются наплатным вентилятором, однако при температуре окружающего воздуха выше +30<sup>o</sup>С принудительный

обдуж необходим. Чипсет поддерживает 3 PCI шины: две 64 бит/133 МГц и одну 32бит/133 МГц. В «пакетном» режиме PCI шина 64 бит/133 МГц может работать с PMC-слотом со скоростью до 1000 Мбит/с. Высокоскоростной двухканальный Intel 82546GB Ethernet-контроллер поддерживает работу на шине PCI 64 бит/66 МГц и автоматически задает скорость приема/передачи 10/100/1000 Мбит/с. Все три процессорных модуля соответствуют спецификации PICMG 2.16.

CP9 – CompactPCI/6U/8HP одноплатный процессорный модуль (фото на Рис.2.17), оснащен низко потребляющим процессором Intel Pentium M с тактовой частотой от 600 МГц до 1,8 ГГц с двумя Gigabit Ethernet PICMG 2.16-интерфейсами. Мощности наплатного процессора достаточно для обеспечения одновременного функционирования двух PMC модулей, 2.5” HDD (или CompactFlash) и других PCI-устройств.



**Рис.2.17.** CP9 – CompactPCI/6U/8HP одноплатный процессорный модуль фирмы SBS Technologies

Графический контроллер Nvidia® GeForce™ 4 410/420 позволяет подключать одновременно два независимых монитора. Модуль может работать как в системном слоте, так и в периферийном слоте объединительной магистрали CompactPCI 64/66 MHz. CP9 поддерживает режим «горячая замена» и поставляется с передней панелью 8HP

(двойной ширины), что позволяет получить доступ к большому количеству интерфейсов на передней панели. CP9 имеет интерфейсы: VGA/LCD, 2xGigabit Ethernet, 5xUSB2.0, 2xCOM (RS232/422/485), LPT, клавиатуры, мыши. Поддерживаются операционные системы Windows 2000/XP, QNX, VxWorks, Linux и другие. CP9 работает в стандартном диапазоне температур 0/+70С, а также в расширенном -40...+75С. Таким образом, этот одноплатный компьютер идеально подходит для применения в таких областях, как промышленная автоматизация, тестовое и измерительное оборудование, транспорт и т.д.

СТ9 – одноплатный процессорный модуль (фото на Рис.2.18), имеет сходные параметры с CP9, но занимает в крейте один слот (4HP). В случае, если на СТ9 установлен наплатный HDD-диск, второй PMS слот не доступен. СТ9 включает в себя дополнительный наплатный управляющий контроллер (BMC), поддерживающий IPMI архитектуру (intelligent platform management interface), для независимого управления наплатным источником питания и другими системными компонентами. BMC также может быть использован для независимого отображения, определения и восстановления функции управления.



**Рис.2.18.** Одноплатный компьютер СТ9 фирмы SBS Technologies



CR9 – одноплатный процессорный модуль (фото на Рис.2.19) разработан для применения в экстремально-жестких условиях, таких, как тяжелое машиностроение, бортовые системы управления, аэрокосмическое и военное оборудование. Специальная теплоотводящая «маска» и клиновые фиксаторы обеспечивают гарантированный теплосток и надежную фиксацию процессорного модуля в корпусе. Поэтому CR9 защищен от ударных и вибрационных нагрузок. Технология кондуктивного теплоотвода незаменима в условиях вакуума и придает модулю дополнительную механическую жесткость. Кроме того, дополнительно модуль может быть покрыт защитным герметиком, что повышает устойчивость к статическим потенциалам, газовым и влажным средам.



**Рис.2.19.** CR9 – CompactPCI встраиваемый компьютер фирмы SBS Technologies

SBS Technologies производит процессорные модули в трех вариантах исполнения. Каждый вариант определяет конфигурацию модуля и условия окружающей среды, при воздействии которых модуль может функционировать.

В конце 2004 года SBS Technologies представила новый процессорный модуль CL9, (фото на Рис.2.20), 3U CompactPCI на основе низко потребляющего Intel Pentium M - процессора. Использование

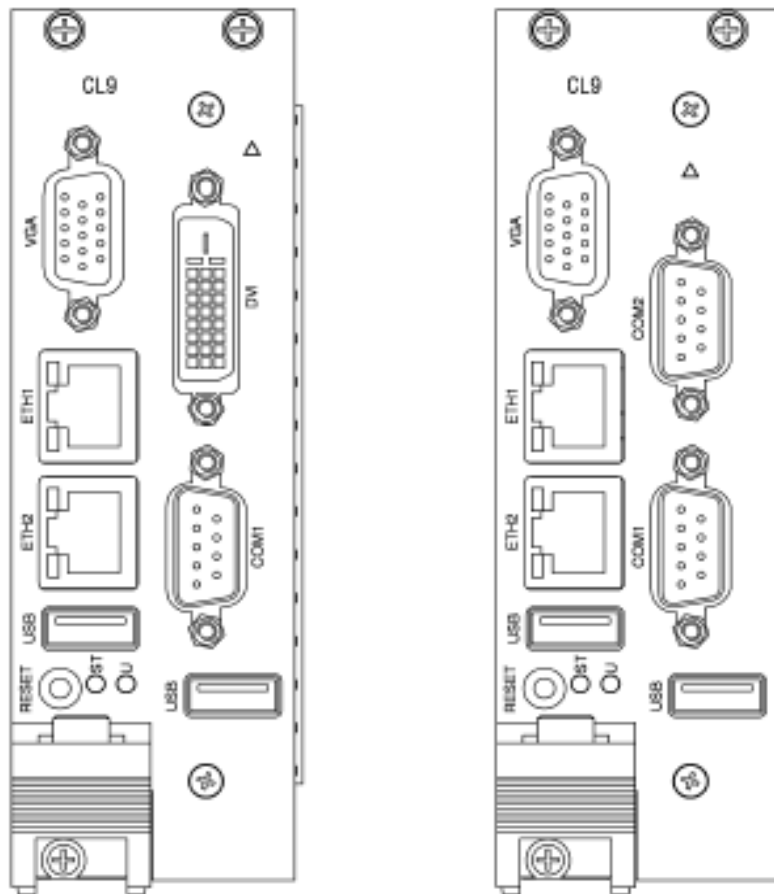


компонентов с поддержкой FSB 400МГц – повысило пропускную способность шины между процессором и чипсетом. Чипсет работает с шиной памяти при 333 МГц (PC2700) DDR SDRAMs. Применение новейших технологий позволило снизить потребляемую мощность и обойтись без наплатного вентилятора. CL9 имеет следующие характеристики:

- процессор Intel Pentium M, от 600 МГц до 1,8 ГГц;
- оперативная память объемом от 256 МБ до 1ГБ (паяная);
- Flash-диск до 2ГБ или 2,5” HDD;
- DVI/VGA 64 МБ;
- COM1 и COM2, RS232C;
- 4xUSB 2.0;
- 2xEthernet 10/100/1000BaseT;
- дежурный таймер, температурный датчик;
- рабочий температурный режим – 0...+70С и расширенный – 40...+75С;
- покрытие герметиком.

CL9 поставляется с передней панелью одинарной (4HP) и двойной (8HP) ширины. На фронтпанель (4HP) выведены интерфейсы VGA, Ethernet1, Ethernet2, USB, 2 светодиодных индикатора и кнопка RESET. На переднюю панель (8HP) дополнительно к вышеперечисленным интерфейсам выведены USB, COM1 и DVI. При этом заказчик может выбрать COM2 вместо DVI. Все остальные интерфейсы выведены на тыльный разъем. Однослотная версия комплектуется CompactFlash. Двухслотное исполнение включает 2,5” HDD IDE или Flash-диск до 2 ГБ.

CL9 является мощной процессорной платформой широкого спектра применения в таких областях, как мультимедиа, промышленная автоматизация, управление транспортом, средства визуализации, медицина, робототехника и другие. CL9 подходит ко всем приложениям, где требуется использование малогабаритных встраиваемых компьютеров с низкой потребляемой мощностью, и высокой производительностью. Новые разработки с использованием процессора Intel Pentium M выполняются не только в стандарте CompactPCI, но также и VME.



**Рис.2.20.** CL9 – высокопроизводительный 3U CompactPCI процессорный модуль фирмы SBS Technologies.  
 Варианты исполнения передней панели

## ЛИТЕРАТУРА

1. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. – М.: ООО Изд. дом «МВМ», 2003. – 264 с.
2. Загидуллин Р.Р., Зориктуев В.Ц. Вопросы интеграции систем управления класса ERP в CALS-проектах на машиностроительных предприятиях //Мехатроника, автоматизация, управление. №11. 2004. С. 54-56.
3. Канащенков А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. – М.: ИПРЖР, 2002. – 176 с.
4. Хамицкий В.А. MES-система. Что делать? //Мир компьютерной автоматизации. №4. 2003. С.64-73.
5. Будник Р. MES-системы: задачи и решения. // Мир компьютерной автоматизации. №4. 2003. С.74-78.
6. Деменков Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП. //Информационные технологии. №11. 2002. С.2-24.
7. Куцевич Н.А. SCADA-системы и муки выбора. //Мир компьютерной автоматизации. №1. 1999. С.72-78.
8. Бочкарева И. CitectScada Batch помогает выпускать рецептурную продукцию эффективно и качественно. //Мир компьютерной автоматизации. №4. 2003. С.46-47.
9. Никитин А. Advantech Studio – SCADA с поддержкой WEB-технологий. //Современные технологии автоматизации. №1. 2003. С.54-59.
10. Анзимиров Л.В. Интегрированная SCADA и Softlogic система TRACE MODE 5 в 2002 году. //Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №1. 2002. С.7-13.
11. Громов В.С., Тимофеев В.Н. Промышленные контроллеры в АСУ ТП. //Мир компьютерной автоматизации. №2. 2003. С.78-84.
12. Громов В.С., Покутный А.В., Вишнепольский Р.Л., Тимофеев В.Н. Особенности проектирования распределенных АСУ ТП. //Мир компьютерной автоматизации. №5. 2001. С.63-67.
13. Щербаков А. Протоколы прикладного уровня CAN-сетей. //Современные технологии автоматизации. №3. 1999. С.6-15.
14. Корнова Т.Л. Протокол HART и другие коммуникационные технологии, применяемые в России. //Мир компьютерной автоматизации. №2. 2004. С.75-77.

15. Modicon Modbus Protocol. Reference Guide. PI-MBUS-300 Rev.J. June, 1996.

16. Гуртовцев А. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах. // Современные технологии автоматизации. №3. 1999. С.34-47.

17. Норенков И.П. Систем промышленной автоматизации. // Информационные технологии. №11. 2001. С.7-14.

18. Кругляк К. Одноплатные компьютеры для встраиваемых систем //Современные технологии автоматизации. №4. 2003. С.6-17.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Системы управления производством .....	3
1.1. Общие сведения .....	3
1.2. Сравнительный анализ SCADA-систем.....	26
2. Программируемые логические контроллеры и одноплатные компьютеры в АСУ ТП .....	42
2.1. Общие сведения о программируемых логических контроллерах.....	42
2.2. Промышленные интерфейсы и протоколы обмена данными ..	51
2.3. Одноплатные промышленные компьютеры .....	68
Литература.....	76

УДК 681.5(9075.32)  
ББК 32.965я723  
П56

*Автор:*

*О.П.ПОНОМАРЕВ – кандидат технических наук,  
первый проректор Института «КВШУ»*

*Рецензент:*

*А.П.КОГАН, кандидат технических наук, доцент кафедры  
автоматизации производственных процессов  
Калининградского государственного технического университета*

**Пономарев, О.П.**

П56      Наладка и эксплуатация средств автоматизации. SCADA-системы. Промышленные шины и интерфейсы. Общие сведения о программируемых логических контроллерах и одноплатных компьютерах: Учебное пособие / О.П.Пономарев; Ин-т «КВШУ». – Калининград: Изд-во Ин-та «КВШУ», 2006. – 80 с.

ISBN не присвоен. Внутреннее издание Института «КВШУ».

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 230103 «Автоматизированные системы обработки информации и управления» (по отраслям) при изучении дисциплин «Информационные технологии» и «Наладка и эксплуатация средств автоматизации».

**УДК 681.5(9075.32)  
ББК 32.965я723**

ISBN не присвоен. Внутреннее издание  
института КВШУ

© О.П.Пономарев, 2006  
© Институт КВШУ, 2006

Учебное издание

**ПОНОМАРЕВ Олег Павлович**

**НАЛАДКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ.  
SCADA-СИСТЕМЫ. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ШИНЫ  
И ИНТЕРФЕЙСЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ  
О ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРАХ  
И ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ**

**Учебное пособие**

Редактор *А.В.Самаркин*  
Корректор *В.В.Самаркина*  
Электронный набор и вёрстка *О.О.Чиликина*

Изд. лиц. код 221, серия ИД, № 1269 от 20.03.00. Подписано в печать 06.04.06  
Бумага писчая 80 г/м<sup>2</sup>. Формат 60х90/16. Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 5. Уч.-изд. л. 2.84. Тираж 50 экз. Заказ № 143.

Институт «Калининградская высшая школа управления»  
ул. Литовский вал, д. 38, г. Калининград, 236016  
тел.: (0112) 45-12-23, 45-16-73; факс: (0112) 45-25-35  
E-mail: [postmaster@khms.koenig.su](mailto:postmaster@khms.koenig.su);  
Web-сайт: [www.kvshu.ru](http://www.kvshu.ru)

Отпечатано в типографии  
Института «Калининградская высшая школа управления»  
ул. Литовский вал, д. 38, г. Калининград, 236016