

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Рязанский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Механико-технологические дисциплины»

Татарников Н.Н., Коблов С.В.

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ОБОРУДОВАНИЕМ**

Курс лекций

Рязань 2020

УДК 621.002(075.8)
ББК 34.5Я73
А90

Татарников Н.Н., Коблов С.В.

А90 Системы управления технологическим оборудованием: курс лекций /Н.Н. Татарников, С.В. Коблов - Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2020. – 30 с.

Пособие предназначено для студентов всех форм обучения специальностей 15.04.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

УДК 621.002(075.8)
ББК 34.5Я73

© Н.Н. Татарников, С.В. Коблов, 2020
© Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического
университета, 2020

Лекция № 1

Общая характеристика объектов нефтегазовой отрасли и программно-аппаратных средств их автоматизации

1. Объекты нефтегазовой отрасли

1.1. Состав объектов добычи и подготовки нефти и объемы автоматизации

Технология добычи и подготовки нефти включает ряд разнородных производственных процессов. Основные объекты промысловой технологии и их взаимодействие представлены на рис. 1.

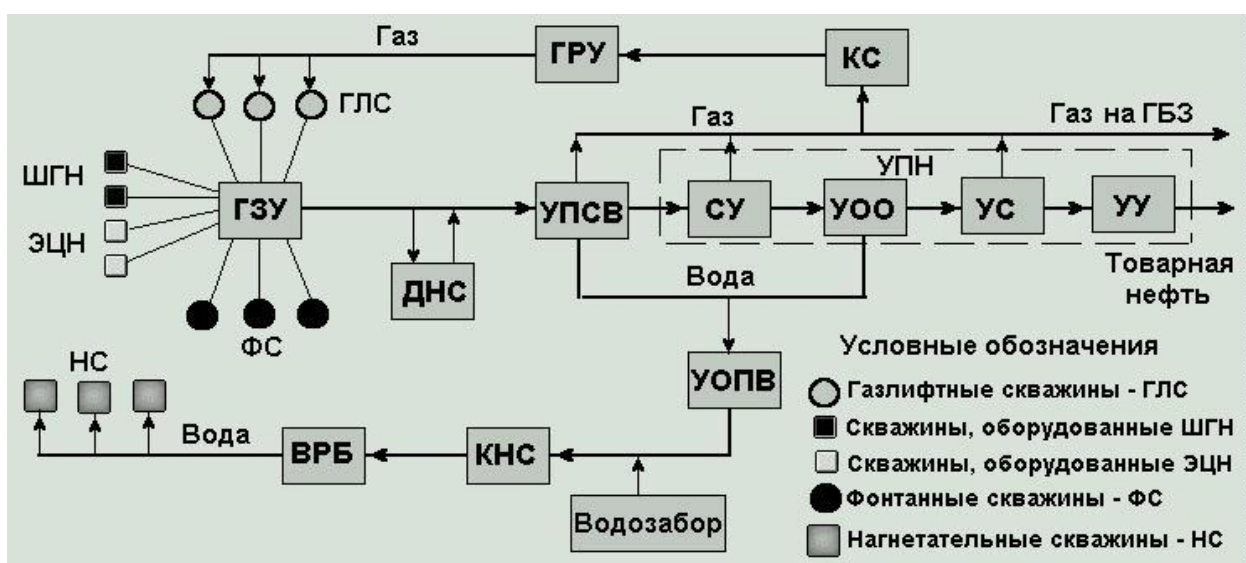


Рис. 1. Упрощенная структура объектов нефтегазодобычи.

Поднятая на поверхность различными способами (фонтанный, газлифтный, насосный) нефть от скважин по скважинным коллекторам направляется на групповую замерную установку (ГЗУ). Скважины поочередно подключаются к замерной установке для определения их дебита по жидкой и газовой фазам.

После замера нефть попадает в промысловый коллектор. Чтобы ее «протолкнуть» до центрального пункта сбора (ЦПС) или установки подготовки нефти (УПН), используют дожимные насосные станции (ДНС). Здесь из нефти частично отделяют газ и воду (в сепараторах и отстойниках), а затем с помощью насосов транспортируют до ЦПС или УПН.

Установки предварительного сброса пластовых вод (УПСВ) могут включать в свой состав отстойники и технологические резервуары, где нефть отстаивается, и из нее частично выделяются вода и газ.

Частично обезвоженная нефть попадает на УПН, в состав которых включены сепарационные установки (СУ), предназначенные для дегазации нефти, установки обезвоживания и обессоливания (УОО), установки

стабилизации (**УС**) для выделения из нефти легких углеводородных фракций. Метан/этан/пропан/бутановые фракции имеют достаточно низкую температуру кипения и могут быть потеряны в процессе транспорта нефти по магистральным нефтепроводам.

Подготовленная (товарная) нефть направляется в товарный парк (резервуары), откуда ее насосами через узлы коммерческого учета готовой продукции (**УУ**) подают в магистральный нефтепровод.

Пластовая вода, выделенная из нефтяной эмульсии на установках предварительного сброса вод, установках подготовки нефти, поступает на установку очистки пластовых вод (**УОПВ**), после чего ее снова закачивают в пласт через водораспределительные блоки (**ВРБ**) и нагнетательные скважины с помощью кустовой насосной станции (**КНС**) для улучшения притока нефти к забоям эксплуатационных скважин.

Газ, выделенный на технологических аппаратах УПСВ и УПН, направляется на газобензиновый завод (**ГБЗ**). Часть этого газа подается компрессорной станцией (**КС**) на газораспределительную установку (**ГРУ**), а затем - в затрубное пространство нефтяных скважин, эксплуатируемых газлифтным методом.

1.1.1. Способы добычи нефти

Различают следующие добывающие (эксплуатационные) скважины:

- **фонтанные** - нефть поднимается на поверхность под действием внутрипластового давления;
- **насосные**:
 - оборудованные штанговыми глубинными насосами (**ШГН**);
 - оборудованные электроцентробежными насосами (**ЭЦН**);
- **газлифтные** - нефть поднимается на поверхность закачиваемым в скважину газом.

• Фонтанный способ

Фонтанирование скважин обычно происходит на вновь открытых месторождениях нефти, когда запас пластовой энергии велик. Давление на забое скважин достаточно большое, чтобы преодолеть гидростатическое давление столба жидкости в скважине, противодействие на устье и давление, расходуемое на преодоление трения при движении жидкости вверх. Фонтанирование жидкости облегчается содержащимися в ней пузырьками газа, так как разгазирование нефти начинается уже в скважине на определенных глубинах.

Плотность столба ГЖС (газожидкостная смесь) в фонтанных трубах

меньше, чем при подъеме негазированной нефти. Соответственно, гидростатическое давление столба ГЖС меньше и для ее подъема потребуется меньшее забойное давление P_c .

Давление, при котором начинается разгазирование нефти, называется давлением насыщения - $P_{нас}$.

Фонтанирование возможно при $P_c > P_{нас}$ и при $P_c < P_{нас}$.

В зависимости от геологических характеристик и особенностей продуктивного пласта применяются различные конструкции скважин. Обязательными элементами являются направление (5 – 15 м), кондуктор (100 – 500 м) и обсадная (эксплуатационная) колонна (до продуктивного горизонта). Эта простая конструкция может быть использована при глубинах скважин до 2000 м.

По целому ряду причин часто применяют более сложные конструкции.

Для подвески НКТ (насосно-компрессорные трубы), направления продукции скважин в замерные устройства, регулирования работы скважины, ее кратковременного закрытия на ремонт на устье фонтанной скважины устанавливается специальное оборудование – колонная головка, фонтанная арматура и манифольды.

Колонная головка предназначена для герметизации межтрубных пространств, подвески обсадных колонн и установки фонтанной арматуры.

Фонтанная арматура предназначена для направления продукции в выкидную линию на замерную установку, проведения технологических операций при эксплуатации и ремонте скважины, осуществления глубинных исследований, регулирования режима работы скважины.

Фонтанная арматура состоит из трубной головки (для подвеса фонтанных труб) и фонтанной елки. На выкидных линиях фонтанной арматуры устанавливаются штуцеры (регулируемые и нерегулируемые) для регулирования режима работы скважины.

Манифольд предназначен для обвязки фонтанной арматуры с трубопроводом. Применяются различные схемы обвязок в зависимости от местных условий и технологии эксплуатации.

• Эксплуатация скважин штанговыми глубинными насосами

Теоретическая суточная подача штангового плунжерного насоса определяется выражением $Q_T = 1440 F S n$, где:

Q_T - теоретическая суточная подача;

F – площадь сечения плунжера насоса;

S – действительный ход плунжера;

n – число ходов плунжера в минуту.

Действительная подача Q_d как правило меньше теоретической и определяется коэффициентом подачи $\eta = Q_d / Q_T$ ($\eta \geq 0,6-0,65$)

На коэффициент подачи влияют многие факторы, среди которых:

- влияние свободного газа - η_1 ;
- уменьшение полезного хода плунжера - η_2 (упругие деформации);
- уменьшение объема откачиваемой жидкости в результате ее охлаждения на поверхности и дегазации - η_3 ;
- утечки между цилиндром и плунжером, утечки в клапанах и т.п. - η_4 .

Таким образом, результирующий коэффициент подачи представляет собой произведение нескольких коэффициентов $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4$

Штанговая насосная установка состоит из наземного и подземного оборудования. К подземному оборудованию относятся:

- штанговый насос с всасывающим и нагнетательным клапанами;
- насосные штанги и трубы.

Наземное оборудование представляет собой станок-качалку, основными элементами которого являются электродвигатель, редуктор, кривошип, шатун, балансиры, устьевая обвязка с сальником.

Нормальное функционирование глубинных штанговых насосных установок требует применения современных способов контроля работы как подземного, так и наземного оборудования и выявления различных неисправностей еще до наступления аварийных отказов ШГН.

Один из способов диагностики подземного и наземного оборудования – **динамометрирование**. Динамограммы дают важную информацию о работе установки в целом. Для получения динамограмм установка оборудуется специальными датчиками усилий и датчиками хода полированного штока.

По отклонению формы динамограммы от нормальной можно судить о различных дефектах работы глубинной насосной установки (попадание газа в насос, утечки в нагнетательном или всасывающем клапане, заклинивание и др.), а также об уменьшении полезного хода плунжера насоса по сравнению с ходом точки подвеса штанг из-за упругих деформаций штанг и труб.

Другой способ диагностики ШГН – **ваттметрирование**. Этот способ использует связь информационных признаков ваттметрограммы (зависимость потребляемой активной мощности от положения плунжера насоса) с теми или иными повреждениями ШГН (обрыв или проскальзывание ремней, разбаланс противовеса, перегрузка по току, неисправности в насосной системе и т.д.).

• **Эксплуатация скважин погружными электроцентробежными насосами (ЭЦН)**

ЭЦН имеют неоспоримые преимущества перед штанговыми установками по двум причинам:

- перенос приводного электродвигателя на забой и ликвидация колонны штанг, что существенно повышает КПД системы;
- значительный диапазон рабочих подач (от нескольких десятков до нескольких сотен м³/сут) и напоров (от нескольких сотен до нескольких тысяч метров) при сравнительно высокой наработке установки на отказ.

Погружные электроцентробежные насосы – это многоступенчатые центробежные насосы с большим числом ступеней (несколько сот), приводимые во вращение погружным электродвигателем специальной конструкции. ЭЦН опускается в скважину под расчетный динамический уровень на 150 – 300 м. Установка включает следующие компоненты:

- маслозаполненный электродвигатель;
- гидрозащиту или протектор;
- приемную сетку насоса;
- многоступенчатый центробежный насос;
- бронированный электрокабель с крепежом к НКТ;
- устьевую арматуру;
- барабан для намотки кабеля;
- трансформатор;
- станцию управления.

Выпускаемые в настоящее время насосы рассчитаны на номинальные расходы от 10 до 1000 м³/сут. и напоры от 450 до 3000 м.

Состояние погружного оборудования и состояние скважины определяются целым рядом параметров. Такими параметрами являются ток электродвигателя, сопротивление изоляции кабеля и электродвигателя, температура электродвигателя, состояние насоса (включен/выключен), давление на приеме насоса, буферное давление и др.

• **Газлифтная эксплуатация скважин**

Газлифтную скважину можно рассматривать как фонтанную, в которой недостающий для необходимого разгазирования жидкости газ подводится с поверхности по специальному каналу. Два канала, необходимые для работы газлифтной скважины, создаются двумя рядами концентрично расположенных труб. Как правило, сжатый газ подается в межтрубное пространство, а образующаяся при этом газожидкостная смесь поднимается

по внутреннему ряду труб. Диаметр внутренних труб достаточно мал и диктуется скоростью подъема ГЖС. Первый ряд труб обычно опускают до интервала перфорации, а второй ряд – под динамический уровень на глубину, соответствующую рабочему давлению газа (на устье скважины). Реальный уровень всегда устанавливается у башмака подъемных труб. Он не может быть выше или ниже башмака, так как либо газ не будет поступать в НКТ, либо жидкость.

Давление на забое газлифтной скважины достаточно просто определить по рабочему давлению газа на устье скважины (рабочее давление газа и давление у башмака НКТ практически равны, а глубины погружения труб известны).

Арматура, устанавливаемая на устье газлифтной скважины, аналогична фонтанной арматуре и имеет то же назначение: герметизация устья, подвеска подъемных труб и возможность осуществления различных операций по промывке скважины, по переключению направления закачивания газа и т.п. Часто используется фонтанная арматура, оставшаяся после фонтанного периода эксплуатации. В случае интенсивных отложений парафина арматура дополнительно оборудуется лубрикатором для ввода в скважину скребка.

Состояние газлифтной скважины определяется такими параметрами, как рабочее давление газа и его расход, дебит жидкости, буферное давление, динамический уровень, забойное давление и др.

1.1.2. Групповые замерные установки (ГЗУ)

Групповые замерные установки предназначены для измерения дебита нефтяных скважин по жидкой и газовой фазам. ГЗУ включает в свой состав переключатель скважин многоходовой (ПСМ) и сепаратор. С помощью ПСМ исследуемая скважина подключается к сепаратору, а продукция остальных скважин куста направляется в общий коллектор. В сепараторе происходит разделение жидкости и газа с последующим измерением дебита скважины по фазам. Продукция поставленной на замер скважины после произведенных измерений направляется в общий коллектор.

1.1.3. Дожимные насосные станции (ДНС)

Дожимная насосная станция представляет собой совокупность технологических объектов, выполняющих задачу доведения до требуемых величин значений давления и расхода нефти, поступающей с месторождения, для её дальнейшей транспортировки на пункты сбора и подготовки. Технологическими объектами ДНС являются сепараторы и газосепараторы для предварительного выделения газа из нефтяной эмульсии, насосные агрегаты для транспорта нефти, факельная установка, реагентное хозяйство,

дренажно-канализационные емкости, запорная и регулирующая арматура, узлы учета газа и жидкости.

1.1.4. Установки подготовки нефти (УПН)

Состав технологического оборудования установок подготовки нефти к транспорту по магистральным нефтепроводам зависит от многих факторов и специфичен для каждого конкретного месторождения. К такому оборудованию можно отнести:

- нагревательные печи;
- сепараторы;
- отстойники;
- электродегидраторы;
- концевые сепараторы;
- резервуарный парк;
- дренажные емкости;
- установки ввода реагентов;
- факельное хозяйство;
- аварийные емкости;
- насосные станции различного назначения;
- емкости различного назначения;
- узел учета нефти и другие технологические объекты.

Сепараторы предназначены для дегазации нефти. Здесь вследствие уменьшения давления и нагрева нефти происходит выделение газа из сырья.

В отстойниках происходит основное отделение воды вследствие разности плотностей нефти и подтоварной воды, а также уменьшения скорости потока.

В электродегидраторах под воздействием электрических переменных полей происходит окончательное разрушение эмульсии «нефть-вода», слияние, укрупнение и отстаивание капель воды с растворенными в ней солями.

Товарная нефть направляется в резервуарный парк, откуда через узлы учета нефти подается в магистральный нефтепровод.

1.1.5. Кустовые насосные станции (КНС)

Поддержание пластового давления часто осуществляется закачкой воды во внешний контур нефтяного пласта. Закачка воды производится кустовыми насосными станциями через водораспределительные блоки и нагнетательные скважины.

Объемы автоматизации некоторых объектов добычи и подготовки нефти приведены ниже.

Таблица 1 — Скважина, оснащённая ШГН

Наименования параметров и состояний	Функции Системы				
	Измерение	Управление	Регулирова - ние	Сигнализа- ция	Противо- аварийная защита
1. Ток электродвигателя	⊕			⊕	
2. Давление на устье скважины	⊕			⊕	⊕
3. Динамометрирование	⊕				
4. Состояние насоса (включён - отключён)		⊕		⊕	
5. Работа по заданной временной программе		⊕		⊕	
6. Деблокировка аварии		⊕			

Таблица 2 — Скважина, оснащённая ЭЦН

Наименования параметров и состояний	Функции Системы				
	Измерение	Управление	Регулирова - ние	Сигнализа- ция	Противо- аварийная защита
1. Ток электродвигателя насоса	⊕			⊕	
2. Давление буферное	⊕			⊕	⊕
3. Давление на приёме насоса				⊕	
4. Температура двигателя				⊕	
5. Сопротивление изоляции кабеля и электродвигателя				⊕	
6. Состояние насоса (включён - отключён)		⊕		⊕	
7. Работа по заданной временной программе		⊕		⊕	
8. Недогрузка по току двигателя				⊕	
9. Перегрузка по току двигателя				⊕	
10. Деблокировка аварии		⊕			

Таблица 3 — Установки для измерения производительности скважин

Наименования параметров и состояний	Функции Системы				
	Измерение	Управление	Регулирова - ние	Сигнализа- ция	Противо- аварийная защита
1. Дебит скважины по нефти	⊕				
2. Дебит скважины по воде	⊕				
3. Дебит скважины по газу	⊕				
4. Давление в общем коллекторе	⊕			⊕	
5. Положение переключателя скважин		⊕		⊕	
6. Переключение скважин		⊕		⊕	
7. Несанкционированный доступ в помещение КИПиА				⊕	
8. Температура в помещении замерной установки	⊕		⊕	⊕	

Таблица 4 — Сепараторы нефтяные

Наименования параметров и состояний	Функции Системы				
	Измерение	Управление	Регулирова - ние	Сигнализа- ция	Противо- аварийная защита

1. Давление в сепараторе	⊕		⊕	⊕	⊕
2. Уровень жидкости	⊕		⊕	⊕	⊕
3. Положение клапана		⊕		⊕	

Таблица 5 — Отстойники

Наименования параметров и состояний	Функции Системы				
	Измерение	Управление	Регулирова - ние	Сигнализация	Противо- аварийная защита
1. Уровень жидкости	⊕		⊕	⊕	
2. Уровень раздела фаз (нефть-вода)	⊕		⊕	⊕	⊕
3. Обводнённость нефти	⊕			⊕	
4. Положение клапанов		⊕		⊕	

Таблица 6 — Электродегидраторы

Наименования параметров и состояний	Функции Системы				
	Измерение	Управление	Регулирова - ние	Сигнализация	Противо- аварийная защита
1. Расход нефти на выходе	⊕			⊕	
2. Давление нефти на выходе	⊕		⊕	⊕	
3. Обводнённость нефти	⊕			⊕	
4. Уровень жидкости	⊕			⊕	⊕
5. Уровень раздела фаз (нефть-вода)	⊕		⊕	⊕	
6. Уровень масла в трансформаторе				⊕	⊕
7. Ток трансформатора	⊕			⊕	
8. Напряжение на трансформаторе	⊕			⊕	

ПРИМЕЧАНИЕ: Таблицы 1–6 соответствуют стандарту компании ЛУКОЙЛ.

Анализ приведенных выше таблиц показывает, что автоматизация объектов добычи и подготовки нефти сводится, в основном, к измерению значений технологических параметров, сигнализации отклонений параметров от заданных значений и состояний кранов и оборудования. Широко развита и функция противоаварийной защиты. Но лишь в редких случаях реализуется функция регулирования (сепараторы, отстойники, электродегидраторы). При этом объекты регулирования достаточно простые и не требуют сложных алгоритмов управления.

1.2. Состав объектов добычи и подготовки газа и объемы автоматизации

Упрощенная схема добычи и подготовки газа представлена на рис. 2.

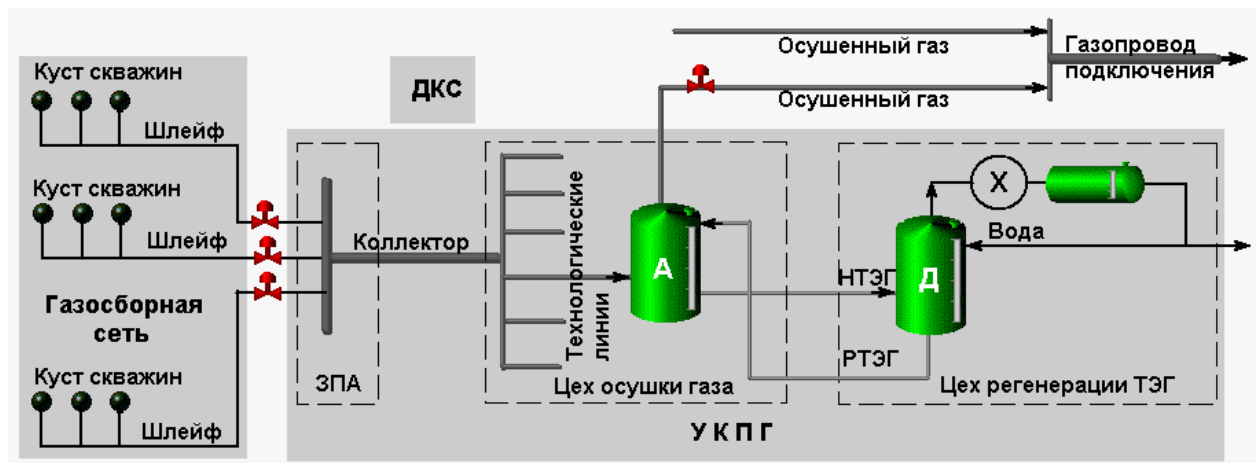


Рис. 2. Упрощенная схема добычи и подготовки газа.

Месторождения природного газа в зависимости от его состава могут быть *газовыми* или *газоконденсатными*. Такое деление месторождений природного газа определяется составом углеводородной продукции.

Газовыми называют месторождения, в состав продукции которых входят в основном углеводороды C_1 , C_2 , C_3 и практически отсутствуют углеводороды C_5 и выше. К газовым месторождениям можно отнести такие, как Медвежье (начало разработки – 1971г.), Уренгойское (1978г.) и Ямбургское (1986г.). Основные запасы газа в этих месторождениях сосредоточены в сеноманском горизонте.

Газоконденсатными называют месторождения, в состав продукции которых входит значительное количество углеводородов C_5 и выше. Например, продукция валанжинской залежи Уренгойского месторождения содержит до 350 г/м^3 тяжелых углеводородов.

Деление месторождений на газовые и газоконденсатные обусловлено различием технологических процессов подготовки их продукции к транспорту. В соответствии с требованиями отраслевого стандарта (ОСТ 51.40-93) точка росы транспортируемого газа по влаге и углеводородам ограничена следующими значениями:

- в зимний период:
 - для холодной климатической зоны – от минус 25 до минус 20°C ;
 - для умеренной и жаркой климатических зон - от минус 10 до минус 5°C .
- в летний период:
 - для холодной климатической зоны – от минус 15 до минус 5°C ;
 - для умеренной и жаркой климатических зон - минус 3°C .

Выполнение этих требований и диктует выбор метода подготовки газа к транспорту.

Подготовка продукции скважин **газовых месторождений сводится к**

осушке газа. При этом обеспечивается требуемая точка росы по влагосодержанию. Для осушки газа в настоящее время на промыслах применяют два процесса:

- Поглощение влаги из газа с помощью жидкого абсорбента (**абсорбционная осушка**). При этом влажный газ и жидкий абсорбент движутся противотоком, а насыщенный влагой абсорбент непрерывно выводится из абсорбера на регенерацию (часто применяется на северных месторождениях).
- Поглощение влаги твердым адсорбентом (**адсорбционная осушка**). Влажный газ прокачивается через неподвижный слой адсорбента, который требует периодической регенерации. Для обеспечения непрерывности процесса адсорбции требуется батарея адсорберов (применяется редко).

Установки подготовки продукции скважин **газоконденсатных месторождений должны обеспечить точку росы подготовленного к транспорту газа по влаге и углеводородам.** Основной технологический процесс подготовки газа газоконденсатных месторождений – **низкотемпературная сепарация (НТС).** Процесс протекает при пониженной температуре ($-10 \div -20^{\circ}\text{C}$) и позволяет очистить газ от влаги и конденсата (C_5 и выше).

Добыча пластового газа обеспечивается эксплуатационными скважинами, объединенными в кусты (3 – 7 скважин). Подключение кустов скважин к УКПГ (установка комплексной подготовки газа) осуществляется, как правило, по индивидуальным газопроводам-шлейфам. Иногда к одному шлейфу подключается 2 куста. В зависимости от многих факторов прокладка шлейфов может осуществляться надземным и подземным способами. В условиях Крайнего севера (вечная мерзлота) распространение получил надземный способ.

На устье скважин пластовый газ имеет плюсовую температуру ($10-30^{\circ}\text{C}$). Но так как в состав газового потока кроме углеводородов входит и пластовая вода, то в зимнее время, когда температура окружающей среды опускается до $-20 \div -40^{\circ}\text{C}$ и даже ниже, в шлейфах возможно замерзание капельной влаги (гидратообразование). Гидратообразование препятствует процессу доставки газа от скважин до УКПГ. Поэтому в выкидные линии скважин предусматривается подача метанола.

Объем автоматизации кустов газовых скважин:

- измерение давления газа на скважине;
- измерение перепада давления газа на сужающем устройстве;

- измерение температуры газа на скважине;
- измерение напряжения, тока СКЗ (система катодной защиты) и уровня защитного потенциала куста;
- измерение потребляемой электроэнергии СКЗ;
- сигнализация температуры в блок-боксе ТМ (телемеханики);
- сигнализация открытия двери блок-бокса;
- сигнализация отсутствия напряжения питания 220 вольт;
- сигнализация разряда аккумуляторных батарей устройства бесперебойного питания.

В состав УКПГ входят следующие основные технологические объекты:

- здание переключающей аппаратуры (ЗПА);
- цех осушки газа;
- цех регенерации абсорбента;
- узел хозрасчётного учета газа.

Общими для всего УКПГ являются: служебно-эксплуатационный блок с операторной и узлом связи, цех регенерации метанола, газосборная сеть (кусты газовых скважин), узел подключения к магистральному газопроводу (газопровод подключения) и технологические объекты вспомогательного назначения.

По мере выработки газового месторождения и понижения пластового давления в газовых скважинах на входе УКПГ потребуется строительство дожимной компрессорной станции (ДКС). Иногда их называют ДКС второй очереди в отличие от ДКС, устанавливаемых на выходе газа из УКПГ (ДКС первой очереди).

Отбор пластового газа для его подготовки к транспорту на УКПГ обеспечивается N скважинами, сгруппированными в M кустов. Средний дебит скважины – 100 - 600 тыс. м³/сут. (цифры очень средние – все зависит от пластового давления).

Газ с давлением P МПа (для новых месторождений – 10-15МПа, но давление падает в ходе разработки месторождения в среднем на 0,4 – 0,6 МПа в год) и температурой плюс 5 - 15°С поступает по коллекторам с кустов скважин в здание переключающей аппаратуры (см. рис. 2).

Газ последовательно проходит запорную арматуру с дистанционным управлением, регулирующий штуцер, снижающий давление газа, и подается в цех осушки газа. Цех абсорбционной осушки газа состоит из нескольких технологических линий. Их количество на различных УКПГ не одинаково и определяется объемом газа, поступающего от скважин, и производительностью абсорберов. Количество линий может быть 8-10-12 и

больше, но две из них - резервные.

Газ по технологической линии последовательно проходит кран с дистанционным управлением, промывочную колонну (в старых технологиях ее нет), абсорбер, расходомер газа, регулирующий клапан и кран с дистанционным управлением.

С помощью расходомеров и регулирующих клапанов осуществляется распределение нагрузок по технологическим линиям цеха осушки газа.

В промывочной колонне газ очищается от мехпримесей, солей и частично от метанола путем промывки рефлюксной водой.

В абсорбере газ осушается абсорбентом - диэтиленгликолем (ДЭГ) (триэтиленгликолем – ТЭГ). Регенерация абсорбента осуществляется в цехе регенерации ДЭГ (ТЭГ). Осушенный газ со всех технологических линий объединяется в общий коллектор и подается в пункты хозрасчетного замера газа.

Для предотвращения растепления грунта газ перед подачей в газопровод подключения проходит через воздушные холодильники (площадка АВО).

Объемы автоматизации технологических объектов подготовки газа представлены в табл. 7 (без учета телемеханики и системы пожаротушения).

Таблица 7

Объект	Аналоговые входы	Аналоговые выходы	Дискретные входы	Дискретные выходы
ЗПА	80	10	160	170
Цех осушки газа	150	30	150	160
Цех регенерации метанола	180	15	380	260
Цех регенерации ТЭГа	100	15	170	170
СЭБ с операторной	15	0	90	70
ИТОГО: 2395	545	70	950	830

ПРИМЕЧАНИЕ: Цифры, приведенные в табл. 7, даны приближенно.

Выводы, сделанные выше по объектам добычи и подготовки нефти, можно в полной мере отнести и к объектам добычи и подготовки газа. Большое количество дискретных входов/выходов по УКПГ говорит о широко развитой функции сигнализации состояний кранов и оборудования и функции противоаварийной защиты. Количество аналоговых выходов определяет количество контуров регулирования в системе. С учетом большого количества ниток цеха осушки на одну нитку приходится 3-5 контуров регулирования (уровни, расходы).

1.3. Объекты транспорта газа

К основным объектам автоматизации процесса транспорта газа относятся (рис. 3):

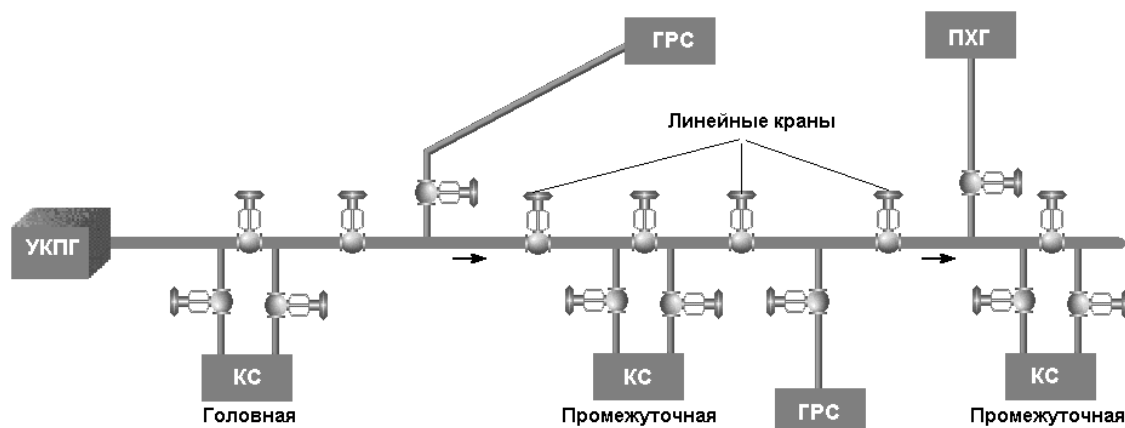


Рис.3. Объекты магистрального газопровода.

- компрессорная станция/цех;
- газоперекачивающие агрегаты;
- удаленные технологические объекты КС;
- газораспределительные станции;
- подземные хранилища газа;
- узлы учета газа;
- линейные крановые площадки.

➤ **Компрессорные станции (КС)** магистральных газопроводов предназначены для компримирования транспортируемого газа до давления, обеспечивающего его подачу от источников газа до потребителей. Основными параметрами КС являются количество транспортируемого газа, давление и температура газа на входе и выходе станции.

По технологическому принципу КС делятся на головные (ГКС), размещаемые обычно в непосредственной близости от месторождений газа, и промежуточные, располагаемые по трассе газопровода, в соответствии с его гидравлическим расчетом.

На ГКС газ не только компримируется, но и подготавливается к транспорту. Для обеспечения требований, предъявляемых к транспортируемому газу, на головных станциях газопровода производится сепарация, осушка, очистка, удаление сероводорода и углекислоты, охлаждение и замер количества газа.

На промежуточных КС обязательно производится очистка газа от механических примесей и, при необходимости, его охлаждение.

Бесперебойная работа КС обеспечивается согласованным функционированием всего комплекса сооружений, который по степени значимости может быть разделен на объекты основного и вспомогательного назначения.

К основным объектам КС относятся площадки приема и пуска очистных устройств, установки очистки газа от механических примесей, газоперекачивающие агрегаты, коллекторы газа высокого давления, узел охлаждения газа.

К объектам вспомогательного назначения относятся: узел редуцирования давления пускового, топливного газа и газа на собственные нужды; электростанция или трансформаторная подстанция при внешнем источнике энергоснабжения; котельная или установка утилизации тепла уходящих газов; склад горюче-смазочных материалов; ремонтно-эксплуатационный блок; служебно-эксплуатационный блок; служба связи; объекты водоснабжения, канализации и очистные сооружения.

➤ Одним из основных объектов процесса транспорта газа является **газоперекачивающий агрегат**, повышающий давление газа в газопроводе путем его сжатия. ГПА состоит из центробежного компрессора, двигателя и вспомогательного технологического оборудования. Агрегаты различаются по многим признакам: по единичной мощности (от 4 до 25 МВт), по типу двигателя (газотурбинные или электроприводные) и т.д.

Как правило, единичной мощности ГПА недостаточно для обеспечения нужной степени сжатия и объемной производительности. Поэтому несколько ГПА обычно объединяют в компрессорные цеха (КЦ).

Таким образом, компрессорный цех представляет собой совокупность работающих на общую нагрузку ГПА и общецехового оборудования (установка подготовки газа, узел подключения, режимные краны, агрегаты воздушного охлаждения газа, система пожаротушения и т.д.).

Для более эффективного управления процессом транспорта природного газа целесообразно комплексно автоматизировать технологические объекты, поэтому производят не только системы автоматического управления (САУ) ГПА, но и компрессорных цехов (САУ КЦ).

➤ Для выдачи газа в сеть потребителя сооружают **газораспределительные станции (ГРС)**, обычно расположенные вблизи от потребителя (город, населенный пункт, промышленные предприятия), т. е. в конце газопровода или отвода от него. Основным назначением ГРС является редуцирование высокого давления газа магистрального газопровода до давления, необходимого потребителю в каждом отдельном случае. Кроме

этого, на ГРС производят очистку газа от механических примесей и влаги, учет передаваемого потребителю газа, регулирование давления газа в заданных пределах. При необходимости, предусматривают одоризационные установки необходимой мощности.

➤ **Газоизмерительные станции (ГИС)** предназначены для учета природного газа, добываемого на месторождении перед подачей его в нитку газопровода. ГИС также сооружаются вблизи границ при транспортировке газа на экспорт. Эти объекты обеспечивают коммерческий учет газа.

➤ **Подземные хранилища газа (ПХГ)** предназначены для обеспечения бесперебойного газоснабжения потребителей при возможных резких колебаниях в потреблении газа (лето, зима). Подземное хранилище газа – сложный технологический объект, включающий в себя пласт-коллектор, скважины, шлейфы, компрессорную станцию, цех подготовки и осушки газа, а также другие объекты промышленного и вспомогательного назначения.

➤ В местах отводов от основной магистрали, перемычек, водных преград на газопроводе устанавливают **запорную арматуру** (крановые площадки), которая также является объектом автоматизации и диспетчерского управления.

Выводы

Для технологических процессов добычи нефти и газа характерна значительная рассредоточенность объектов по площадям (добывающие скважины, нагнетательные скважины, групповые замерные установки, кустовые насосные станции и т. д.). Известно, что наиболее крупные российские месторождения нефти и газа находятся в Западной Сибири и на Крайнем Севере (холодно). Но не всегда имеется возможность разместить контроллеры в отапливаемых помещениях. С другой стороны, рассредоточенность объектов по большим площадям накладывает свои требования к каналам связи. Специфичны и требования к контроллерам с точки зрения количества поддерживаемых вводов/выводов (аналоговых, дискретных).

Управление технологическими процессами добычи нефти и газа сводится к управлению оборудованием - электроцентробежными или штанговыми насосами, групповыми замерными установками, кранами. Управление реализуется командами **открыть, закрыть, включить, выключить** (дискретное управление). Практически отсутствует непрерывное управление технологическими параметрами с обратной связью.

Широко развиты функции контроля, сигнализации аварийных ситуаций, блокировок.

С другой стороны, многие технологические процессы сосредоточены на сравнительно небольших площадях. Это установки подготовки нефти, установки комплексной подготовки газа, дожимные насосные станции и т. п. Контроллеры, как правило, устанавливаются в отапливаемых помещениях и с точки зрения условий эксплуатации к ним предъявляются менее жесткие требования. Взаимодействие контроллеров между собой и с верхним уровнем реализуется посредством специализированных сетей. Объемы автоматизации существенны, а отсюда вытекают свои требования к «интеллекту» контроллеров и количеству поддерживаемых вводов/выводов.

Объектами управления в технологических процессах транспорта нефти и газа являются насосные и компрессорные агрегаты, цеховые и стационарные краны, вспомогательное оборудование, а также линейные участки нефтегазопроводов, газораспределительные станции и т. п. Для линейных участков характерны контроль параметров, сигнализация отклонений и дискретное управление кранами. К тому же эти объекты удалены от пунктов управления на значительные расстояния. В то же время насосные и компрессорные станции - «компактные» объекты, при автоматизации которых наряду с контролем, сигнализацией и дискретным управлением реализуются функции непрерывного управления (регулирования).

По-другому строится управление процессами переработки нефти и газа. Наряду с задачами контроля и сигнализации отклонений здесь широко развиты функции стабилизации технологических параметров в режиме **обратной связи** (непрерывное управление). Схемы автоматизации установок переработки нефти и газа включают десятки, а то и сотни контуров регулирования. Управление такими процессами требует применения более сложных алгоритмов (каскадные системы, системы с компенсацией возмущений, системы со взаимозависимыми параметрами, адаптивные системы, системы оптимального управления). Остаются функции контроля, сигнализации, блокировок.

Таким образом, каждый объект нефтегазовой отрасли обладает своими особенностями с точки зрения его автоматизации. Исходя из этих особенностей, выдвигаются и соответствующие требования к архитектуре, а также аппаратным и программным средствам АСУТП.

Для автоматизации непрерывных технологических процессов переработки нефти и газа, а также нефтехимических процессов наиболее

адаптированы **DCS-системы**. Характерная черта управляющих процессоров (контроллеров) DCS-систем - способность поддерживать большое количество контуров ПИД-регулирования (DCS-системы будут подробно рассмотрены на лекции №5).

Для рассредоточенных объектов, таких, как нефтяные и газовые промыслы, а также для объектов транспорта нефти и газа применяют системы, построенные на базе PLC и программного обеспечения SCADA. Задачей таких систем является обеспечение автоматического дистанционного наблюдения и дискретного управления функциями большого количества распределенных устройств (часто находящихся на большом расстоянии друг от друга и от диспетчерского пункта). Количество возможных устройств, работающих под управлением систем диспетчерского контроля и управления, велико и может достигать нескольких сотен. Для этих систем наиболее характерной задачей является сбор и передача данных, которая реализуется дистанционно расположенными (удаленными) **терминальными устройствами (RTU)**.

2. Программно-аппаратные средства автоматизации

2.1. Обобщенная архитектура системы управления объектами добычи, подготовки и транспорта нефти и газа (SCADA)

На рис.4 представлена архитектура многоуровневой системы управления, обобщающая многочисленные применения таких систем для управления технологическими процессами нефтяной и газовой промышленности.

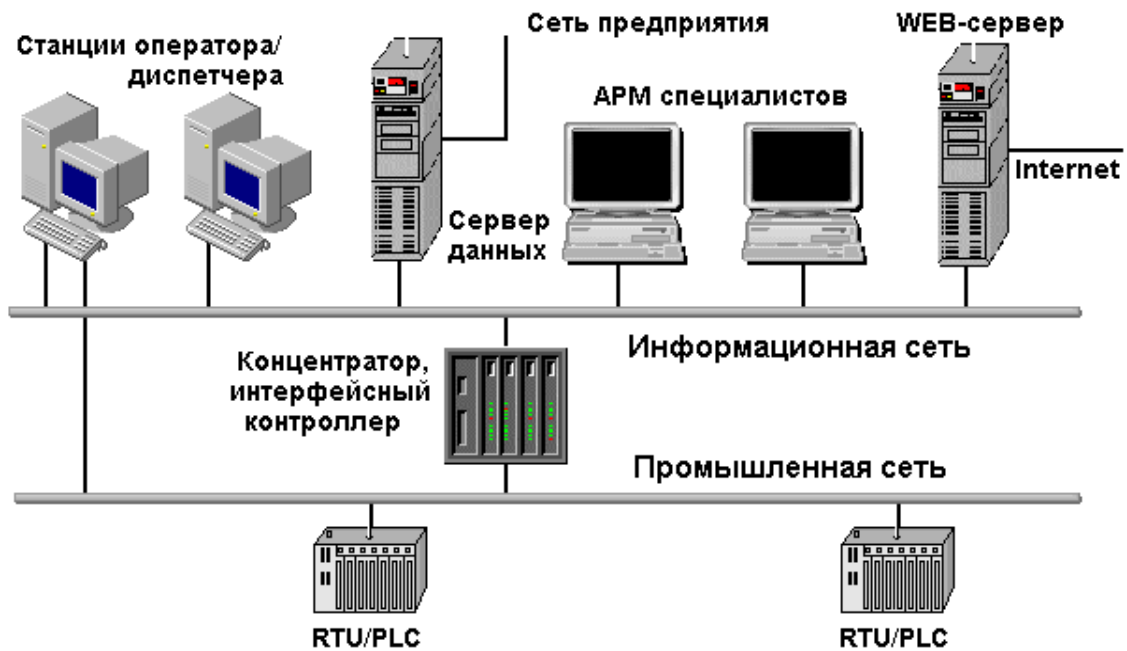


Рис.4. Обобщенная структурная схема системы управления.

Как правило, это двухуровневые системы, и именно на этих уровнях реализуется непосредственное управление технологическими процессами. Специфика каждой конкретной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно - аппаратной платформой.

• **Нижний уровень** - уровень объекта (контроллерный) - включает различные *датчики (измерительные преобразователи)* для сбора информации о ходе технологического процесса, *электроприводы и исполнительные устройства* для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным контроллерам (PLC), которые могут обеспечить реализацию следующих функций:

- сбор, первичная обработка и хранение информации о состоянии оборудования и параметрах технологического процесса;
- автоматическое логическое управление и регулирование;
- исполнение команд с пункта управления;
- самодиагностика работы программного обеспечения и состояния самого контроллера;
- обмен информацией с пунктами управления.

Так как информация в контроллерах предварительно обрабатывается и частично используется на месте, существенно снижаются требования к пропускной способности каналов связи.

- Информация с локальных контроллеров может направляться в сеть диспетчерского пункта непосредственно, а также через **контроллеры верхнего уровня** (см. рис.4). В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, коммуникационные контроллеры) реализуют различные функции. Некоторые из них перечислены ниже:

- сбор данных с локальных контроллеров;
- обработка данных, включая масштабирование;
- поддержание единого времени в системе;
- синхронизация работы подсистем;
- организация архивов по выбранным параметрам;
- обмен информацией между локальными контроллерами и верхним уровнем;
- работа в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем;
- резервирование каналов передачи данных и др.

- **Верхний уровень** - диспетчерский пункт (ДП) - включает одну или несколько станций управления, представляющих собой автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера/оператора. Здесь же может быть размещен сервер базы данных. На верхнем уровне могут быть организованы рабочие места (компьютеры) для специалистов, в том числе и для инженера по автоматизации (инжиниринговые станции). Часто в качестве рабочих станций используются ПЭВМ типа IBM PC различных конфигураций.

Станции управления предназначены для отображения хода технологического процесса и оперативного управления. Эти задачи и призвано решать **программное обеспечение SCADA**, ориентированное на разработку и поддержание **интерфейса** между диспетчером/оператором и системой управления, а также на обеспечение взаимодействия с внешним миром.

- Все аппаратные средства системы управления объединены между собой **каналами связи**. На нижнем уровне контроллеры взаимодействуют с датчиками и исполнительными устройствами посредством физических линий, а с блоками удаленного и распределенного ввода/вывода - с помощью специализированных сетей.

Связь удаленных контроллеров с контроллерами верхнего уровня (концентраторами) часто реализуется по радио и телефонным каналам. В случае небольших расстояний локальные контроллеры объединяются между

собой и с верхним уровнем управляющими сетями на базе витой пары, оптоволокна.

Связь различных АРМ оперативного персонала и специалистов между собой, с контроллерами верхнего уровня, а также с вышестоящим уровнем осуществляется посредством информационных сетей (витая пара, оптоволокно).

Спектр реализаций RTU в таких системах управления достаточно широк. Конкретная реализация RTU зависит от области применения. Это могут быть промышленные компьютеры (PC-совместимые контроллеры) или программируемые логические контроллеры (PLC/ПЛК). На российском рынке представлена широкая гамма контроллеров самых различных конфигураций и назначений.

Что касается программного продукта типа SCADA, то сейчас на российском рынке присутствует несколько десятков открытых SCADA-пакетов, обладающих практически одинаковыми функциональными возможностями. Тем не менее, каждый SCADA-пакет является по-своему уникальным, и его выбор для конкретной системы автоматизации по-прежнему остается актуальным.

Выбор коммуникационного программного обеспечения (протоколов обмена информацией) для конкретной системы управления определяется многими факторами, в том числе и типом применяемых контроллеров, и выбранным SCADA-пакетом.

2.2. Программно-аппаратные средства автоматизации процессов переработки нефти и газа

Для управления непрерывными технологическими процессами (заводскими) существуют специализированные программно-аппаратные средства, которые получили название **Distributed Control Systems – DCS** (распределенные системы управления - РСУ).

Если контроллеры в свое время пришли в автоматизацию для обработки дискретных сигналов, то DCS-системы изначально предназначались для работы с аналоговыми сигналами. Именно аналоговые сигналы датчиков температуры, давления, уровня, расхода определяют состояние технологических процессов переработки нефти и газа. Одна из основных задач управления такими процессами – стабилизация большого количества технологических параметров, которые часто являются взаимозависимыми.

Но это не означает, что современные DCS-системы не адаптированы для работы с дискретными сигналами.

Любая DCS-система – это **система**, включающая в себя все компоненты системы управления: контроллеры (управляющие процессоры), сети и интерфейсы связи, программное обеспечение станций операторов, инжиниринговых станций. Все эти программно-аппаратные средства называются системой, более того, интегрированной системой, так как взаимодействие всех компонентов такой системы (и программных, и аппаратных) обеспечено фирмой - производителем. Понятно, что в этом случае можно говорить о высокой степени готовности этих средств и высокой надежности, так как это взаимодействие “оттачивается” многими годами в “лабораторных” условиях специалистами самой фирмы.

Этого не скажешь о SCADA-системах, когда созданием **системы** управления занимаются фирмы - системные интеграторы. Приходится “стыковать” программно-аппаратные средства разных производителей в рамках реального времени, отпущенного на разработку проекта. Для приобретения опыта (который, как известно, приходит не сразу) требуется время.

В рамках этой лекции трудно описать все тонкости и нюансы выбора того или иного подхода к созданию системы управления. Этот выбор определяется очень многими факторами и в каких-то случаях очевиден и однозначен. В других случаях возможны варианты выбора и того, и другого подхода. При этом должны быть выдвинуты дополнительные критерии, способные склонить чашу весов в ту или иную сторону.

Утверждать можно лишь следующее. Сегодня выбор DCS-системы обойдется потребителю дороже (в среднем) по сравнению с выбором PLC и SCADA. Но желание сэкономить, в свою очередь, может привести к отрицательному результату.

Лекция №2 – Программируемые логические контроллеры.

Лекция №3 – Программное обеспечение SCADA.

Лекция №4 – Распределенные системы управления (DCS).

Лекция №5 – Автоматизированные системы управления производством.

Контрольные вопросы

1. Особенности объектов управления нефтегазовой отрасли, определяющие различные подходы к автоматизации (на примере объектов нефтепромысловой технологии).
2. Особенности объектов управления нефтегазовой отрасли, определяющие различные подходы к автоматизации (на примере объектов добычи, подготовки и транспорта газа).
3. Обобщенная архитектура многоуровневой системы управления. Компоненты системы и их функции.
4. Два подхода к выбору программно-аппаратных средств автоматизации для объектов нефтегазовой отрасли. Сравнительная характеристика.

Лекция №2

Аппаратные средства SCADA-систем

1. Основные технические характеристики контроллеров и программно-технических комплексов

Современный рынок контроллеров и программно-технических комплексов весьма разнообразен. Выбор наиболее приемлемого варианта автоматизации представляет собой многокритериальную задачу, решением которой является компромисс между стоимостью, техническим уровнем, надежностью, комфортностью, затратами на сервисное обслуживание, полнотой программного обеспечения и многим другим.

Предприятия выбирают средства и системы автоматизации исходя из двух вариантов поставленной цели:

- решение чисто тактических задач автоматизации (замена морально и технически устаревших средств, обеспечение нормального функционирования процесса, реализация простейших функций – контроля, блокировки, регулирования);
- преследование стратегических целей автоматизации (повышение экономической эффективности, обеспечение интеграции данной системы автоматизации с другими системами на предприятии, обмен информацией с бизнес-процессами, т.е. с АСУП, упрощение обслуживания и возможных будущих модернизаций).

К особенностям приобретения средств и систем автоматизации большинством заказчиков можно отнести:

1. Отсутствие требований к современности приобретаемых средств и систем и свойствам, определяющим перспективность их эксплуатации.
2. Недостаточное знание рынка предлагаемых средств автоматизации и отсутствие их независимого объективного анализа.
3. Неоправданно узкое число производителей, рассматриваемых в качестве потенциальных поставщиков средств и систем автоматизации. А фактически в России имеется огромный выбор средств и систем широкого круга производителей.
4. Незаинтересованность заказчика в сложных, но гораздо более эффективных алгоритмах управления. Обычно это объясняется достаточно низким уровнем обслуживающего персонала. Достаточно ПИД-регулятора и блокировок – это то, что нужно сейчас. А когда повысится квалификация персонала, тогда будем думать.

Трудно “влезть в шкуру” заказчика и понять, почему он так себя ведет

на очень широком рынке средств и систем автоматизации. Но одну из особенностей его поведения можно обсуждать – **незнание рынка** средств и систем. Прошло уже 8-10 лет с тех пор, как на российский рынок вышли мировые производители контроллеров. Кажется, это достаточное время для того, чтобы разобраться в проблеме.

Настоящая лекция не преследует цель дать глубокий и объективный анализ средств автоматизации (контроллеров). Это дело специалистов-эксплуатационников. Тем не менее, попытаемся сделать первую попытку систематизации знаний о контроллерах.

Формирование современного мирового, в том числе и российского, рынка средств и систем управления в последнее десятилетие было обусловлено следующими факторами:

- появлением недорогих и высокопроизводительных промышленных компьютеров на базе микропроцессоров фирмы **Intel**;
- появлением недорогих модулей ввода/вывода, конструктивно совмещенных с клеммными колодками;
- появлением в номенклатуре PLC модулей ПИД-регулирования;
- появлением коммуникационных модулей, позволяющих создавать сети PLC и легко подключать их к компьютеру;
- использованием витой пары для подключения измерительных преобразователей и модулей ввода/вывода.
- появлением недорогих и совершенных сетей, подобных Ethernet, Arcnet;
- появлением недорогих промышленных сетей FIP, CAN, Profibus и других;
- появлением универсального программного обеспечения SCADA для персональных компьютеров, выполняющего функции человеко-машинного интерфейса;
- появлением комбинированного ПО для визуализации и программирования PLC;
- появлением надежной, широко распространенной операционной системы Windows NT;
- появлением типовых решений при производстве аппаратных средств, в частности, магистрально - модульной архитектуры плат контроллеров по стандартам ISA, PCI, VME.

Классифицировать контроллеры можно по различным признакам. Вот одна из классификаций (по назначению):

- общепромышленные контроллеры;

- встраиваемые контроллеры;
- противоаварийные контроллеры (резервированные, высоконадежные);
- телемеханические контроллеры, передающие сигналы на большие расстояния (десятки и сотни км).

Обзор различных семейств контроллеров многих производителей показал, что в первом приближении в качестве характеристик контроллеров можно выделить пять обобщенных показателей:

- характеристика процессора;
- характеристика каналов ввода/вывода, поддерживаемых контроллерами;
- коммуникационные возможности;
- эксплуатационные характеристики;
- программное обеспечение.

Рассмотрим эти показатели.

1.1. Характеристика процессора. Здесь имеется ввиду:

- наличие и объем различных видов памяти: ОЗУ, ПЗУ, ППЗУ, EPROM, EEPROM, Flash;
- тип и разрядность основной процессорной платы;
- рабочая частота;
- поддержка математики с плавающей запятой, позволяющая выполнять эффективную обработку данных;
- наличие функции ПИД-регулирования.

Память.

ОЗУ (оперативное запоминающее устройство) или RAM (random access memory - память с произвольным доступом) представляет собой тип памяти, которая позволяет чтение и запись в любую ячейку без предварительного поиска. В контроллерах этот тип памяти используется для хранения программ и значений технологических параметров (данных).

ПЗУ (постоянное запоминающее устройство) или ROM (Read Only Memory - память только для чтения) устроена в виде адресуемого массива ячеек (матрицы), каждая ячейка которого может кодировать единицу информации. Данные на ROM записывались при ее изготовлении путём нанесения на матрице алюминиевых соединительных дорожек литографическим способом. Наличие или отсутствие в соответствующем месте такой дорожки кодировало "0" или "1".

В контроллерах память типа ПЗУ используется для хранения программ пользователя. Данный тип памяти не получил широкого распространения в связи с тем, что современное программное обеспечение зачастую имеет много недоработок и часто требует обновления, в то время как производственный цикл изготовления памяти достаточно длителен (4-8 недель).

EPROM (СППЗУ), EEPROM (ЭСППЗУ) и Flash (флэш) относятся к классу **энергонезависимой перезаписываемой памяти** (английский эквивалент - **nonvolatile read-write memory** или **NVRWM**).

В EPROM перед записью необходимо произвести стирание (для получения возможности перезаписывать содержимое памяти). Стирание ячеек EPROM выполняется сразу для всей микросхемы посредством облучения чипа ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами в течение нескольких минут.

В EPROM стирание приводит все биты стираемой области в одно состояние (обычно во все единицы, реже - во все нули). Запись на EPROM осуществляется на программаторах.

Большим достоинством такой памяти является возможность перезаписывать содержимое микросхемы.

Недостатки:

- небольшое количество циклов перезаписи;
- высокая вероятность "недотереть", что в конечном итоге приведет к сбоям, или передержать микросхему под ультрафиолетовым светом, что может уменьшить срок службы микросхемы и даже привести к её полной негодности.

Главной отличительной особенностью **EEPROM** (в т. ч. и Flash) от ранее рассмотренных типов энергонезависимой памяти является возможность перепрограммирования при подключении к стандартной системной шине микропроцессорного устройства. В EEPROM появилась возможность производить стирание отдельной ячейки при помощи электрического тока. Для EEPROM стирание каждой ячейки выполняется автоматически при записи в нее новой информации, т.е. можно изменить данные в любой ячейке, не затрагивая остальные. Процедура стирания обычно существенно длительнее процедуры записи.

Преимущества EEPROM по сравнению с EPROM: увеличенный ресурс работы, проще в обращении; недостаток - высокая стоимость. В контроллерах этот тип памяти используется как для хранения программ, так и для хранения данных.

Flash (полное название - **Flash Erase EEPROM**) впервые была разработана компанией Toshiba в 1984 году, и уже на следующий год было начато производство 256 Кбит микросхем flash-памяти в промышленных масштабах. В 1988 году компания Intel разработала собственный вариант флэш-памяти.

Технологически флэш-память родственна как EPROM, так и EEPROM. Основное отличие флэш-памяти от EEPROM заключается в том, что стирание содержимого ячеек выполняется либо для всей микросхемы, либо для определённого блока (кластера, кадра или страницы).

Следует заметить, что существуют микросхемы, позволяющие работать с блоками разных размеров (для оптимизации быстродействия). Стирать можно как блок, так и содержимое всей микросхемы сразу. Таким образом, в общем случае, для того, чтобы изменить один байт, сначала в буфер считывается весь блок, где содержится подлежащий изменению байт, стирается содержимое блока, изменяется значение байта в буфере, после чего производится запись измененного в буфере блока. Такая схема существенно снижает скорость записи небольших объёмов данных в произвольные области памяти, однако, значительно увеличивает быстродействие при последовательной записи данных большими порциями.

Преимущества флэш-памяти по сравнению с EEPROM:

- более высокая скорость записи при последовательном доступе за счёт того, что стирание информации во флэш производится блоками;
- себестоимость производства флэш-памяти ниже за счёт более простой организации.

Недостаток - медленная запись в произвольные участки памяти.

Ниже приведены три таблицы с характеристиками процессоров различных контроллеров. Очевидно, области их применения совершенно различны.

Характеристика процессора DL05 (Direct Logic)

Процессор	DL05
Общий объем памяти (слов)	6К
Объем памяти программ (слов)	2048
Объем памяти переменных (слов)	4096 (128 - э/н [*])
ПИД-регулирование	нет
Время выполнения логической операции	2.0 мкс
Время сканирования (программы в 1К)	2.7-3.2 мс

э/н^{*} - энергонезависимая

Характеристика процессоров Simatic S7-400 (Siemens)

CPU	412-1 / 2	414-2 / 3 / 4H	416-2 / 3	417-4 / 4H
1	48+48/ 72+72 Кб	128/384/+384 Кб	0.8+0.8/1.6+1.6 Мб	2+2 / 2+2 Мб
2.1	256 / 256 Кб	256 / 256 Кб	256 / 256 Кб	256 / 256 Кб
2.2	64 / 64 Мб	64 / 64 Мб	64 / 64 Мб	64 / 64 Мб
2.3	64 / 64 Мб	64 / 64 Мб	64 / 64 Мб	64 / 64 Мб
3	0.2 мкс	0.1 мкс	0.08 мкс	0.1 мкс
4	0.6 мкс	0.6 мкс	0.48 мкс	0.6 мкс
5	32768	65536	131072/131072	131072 / 131072
6	2048 / 2048	4096 / 4096	8192 / 8192	8192 / 8192

1. Объем встроенного ОЗУ (для программ + для данных).
- 2.1. Объем загружаемой встроенной памяти.
- 2.2. Карта Flash EEPROM.
- 2.3. Карта ОЗУ.
3. Время выполнения логической операции (мкс).
4. Время выполнения операции с плавающей запятой (мкс).
5. Адресное пространство дискретных в/в.
6. Адресное пространство аналоговых в/в.

Процессорные модули Power PC (Motorola) формата VME 6U

Процессорные модули	MVME2300	MVME2400	MVME2100
Микро-процессор	MPC603/604	MPC750	MPC8240
Частота, МГц	200/300	233/500	200/250
SDRAM, Мб	16/32/64/128	32/64/128/256	32/64

Flash, Мб	5	9	5/9
-----------	---	---	-----

Сравнительная характеристика процессоров

Контроллер	Процессор	Частота, МГц
RTU 3310	Intel 186 XL	24
RTU 3330/3335	Intel 386 EX	20
Fanuc 90 - 70	Intel 386	16
	Intel 386 DX	32
MOSCAD-L	68LC302	16,6
SMART	MC68302	20
IUC	MPC860T	80
VME	Pentium,	450
	Celeron	500
Quantum	Intel 486 DX	80
	Intel 586 DX	133
TREI	Intel 486 DX4	75
	Pentium	100

1.2. Характеристика каналов ввода/вывода контроллеров

Параметры контроллера с точки зрения поддерживаемых им каналов ввода/вывода часто могут быть определяющими при выборе. Важно не только *количество каналов* ввода/вывода, поддерживаемое контроллером, но и разнообразие модулей ввода/вывода по *количеству* и *уровням коммутируемых сигналов* (ток/напряжение), *способы подключения* внешних цепей к модулям ввода/вывода, количество каналов *локального, удаленного* и *распределенного* ввода/вывода.

Рассмотрим подробнее эти характеристики.

⇒ Количество поддерживаемых контроллером (процессором) каналов ввода/вывода (аналоговых, дискретных, скоростных).

Большинство фирм-производителей поставляют на рынок средств и систем автоматизации семейства контроллеров, каждое из которых рассчитано на определенный набор выполняемых функций и объем обрабатываемой информации. Среди них имеются семейства самых малых контроллеров (микро) небольшой вычислительной мощности, способных поддерживать максимум несколько десятков вводов/выводов, в основном, дискретных. Область применения таких

контроллеров - сбор данных и системы противоаварийной защиты. В качестве примеров можно привести контроллеры семейства MicroLogix (Allen-Bradley), Direct Logic DL05 (Koyo), Nano (Schneider Electric).

Семейства малых контроллеров уже способны поддерживать сотни вводов/выводов, выполнять более сложные функции. Эти контроллеры имеют достаточно развитый аналоговый ввод/вывод, выполняют операции с плавающей точкой и функции ПИД-регулирования. К этой группе контроллеров можно отнести **SLC 500** (Allen-Bradley), **Direct Logic DL205** (Koyo), **Smart** – (PEP Modular Computer), **Simatic S7-200** (Siemens).

Контроллеры средней мощности, обладая достаточной памятью и быстродействием, могут обрабатывать уже тысячи переменных дискретного, аналогового и скоростного типа. Применяются для автоматизации небольших объектов процессов добычи, подготовки и транспорта нефти и газа. Это контроллеры **Fanuc 90-30** (GE Fanuc), **PLC-5** (Allen-Bradley), **Premium** (Schneider Electric), **Direct Logic DL405** (Koyo) и другие.

Наконец, некоторые крупные фирмы производят класс контроллеров очень высокой вычислительной мощности, обладающих памятью, измеряемой мегабайтами и десятками мегабайт. Их способность обрабатывать десятки тысяч переменных и предопределила их область применения - в качестве концентраторов информации, получаемой от локальных контроллеров. Вычислительные возможности этого класса контроллеров позволяют реализовывать сложные алгоритмы (адаптивное, оптимальное управление), применяемые при автоматизации непрерывных технологических процессов (переработка нефти и газа, нефтехимия). Наиболее яркими представителями этой группы контроллеров являются **ControlLogix** (Allen-Bradley), **Simatic S7-400** (Siemens), **Fanuc 90-70** (GE Fanuc), **VME** (PEP Modular Computers).

Сравнительная характеристика контроллеров по вводу/выводу

Контроллер	Общее	Дискретные	Аналоговые
MicroLogix1000	32	32	5 (1)
MOSCAD-M	24	19 (14/5)	5 (1)
TeleSAFE Micro16	512	256/256	128/64
Direct Logic DL-405	3584	3584	512
Quantum	31744	31744	1736/868
ControlLogix	128000	128000	4000
Simatic S7-400	131072	131072	8192

⇒ Разнообразие коммутируемых сигналов.

Как зарубежные, так и отечественные производители контроллеров комплектуют свои изделия широкой гаммой модулей дискретного и аналогового ввода/вывода. По количеству подключаемых сигналов различают модули на 4, 8, 16, 32 и 64 канала. Такое разнообразие модулей облегчает подбор требуемой конфигурации контроллера, позволяя минимизировать стоимость технических средств.

Коммутируемые модулями дискретного ввода/вывода сигналы могут иметь различный уровень напряжения переменного и постоянного тока. Это и 12, 24, 48 В постоянного тока, 120 и 240 В переменного тока с различными нагрузками по току.

Уровни коммутируемых сигналов модулями аналогового ввода/вывода могут быть самыми разнообразными. Это 0-5В, 0-10В, $\pm 5В$, $\pm 10В$ по напряжению и 0-20мА, 4-20мА по току. Есть и специальные модули для ввода в контроллеры сигналов от термопар и термометров сопротивления различных градуировок. Приведенные здесь данные по уровням сигналов, безусловно, не исчерпывают всего разнообразия, представленного на рынке.

Ниже в качестве примера приведена номенклатура модулей ввода/вывода контроллеров семейства DL-405 фирмы Кoyo.

VDC/VAC - напряжение постоянного/переменного тока.

Модули ввода/вывода контроллера DL-405 (Кoyo)

Код по каталогу	Описание модулей
Дискретный ввод	
D4-08ND3S	8DI изолированных уровня 24-48 VDC
D4-16ND2	16DI (2 группы по 8) уровня 12-24 VDC
D4-32ND3	32DI (4 группы по 8) уровня 24 VDC
D4-64ND2	64DI (8 групп по 8) уровня 24 VDC
D4-08NA	8DI уровня 110-220 VAC
D4-16NA	16DI (2 группы по 8) уровня 110 VAC
D4-08NE3S	8DI изолированных уровня 90/150 VAC

D4-16NE3	16DI (2 группы по 8) уровня 12/24 VDC
Дискретный вывод	
D4-08TD1	8DO уровня 12-24 VDC
D4-08TD1S	8DO уровня 24-150 VDC
D4-16TD1	16DO (2 группы по 8) уровня 5-24 VDC
D4-16TD2	16DO (2 группы по 8) уровня 12-24 VDC
D4-32TD1	32DO (4 группы по 8) уровня 5-24 VDC
D4-32TD2	32DO (4 группы по 8) уровня 12-24 VDC
D4-64TD1	64DO (8 групп по 8) уровня 5-24 VDC
D4-08TA	8DO уровня 18-220 VAC
D4-16TA	16DO (2 группы по 8) уровня 18-220 VAC
D4-08TRS-1	8 релейных выходов 10А
D4-08TRS-2	8 релейных выходов 5А
D4-08TRS	8 релейных выходов 2А
D4-16TR	16 релейных выходов 1А
Аналоговый ввод	
F4-04AD	4AI уровня 0-5В, 1-5В, 0-10В, $\pm 5В$, $\pm 10В$, 0-20мА, 4-20мА
F4-04ADS	4AI изолированных, уровня 0-5В, 1-5В, 0-10В, $\pm 5В$, $\pm 10В$, 0-20мА, 4-20мА
F4-08AD	8AI уровня 0-5В, 1-5В, 0-10В, $\pm 5В$, $\pm 10В$, 0-20мА, 4-20мА
F4-08THM	8AI для сигналов термопар
F4-08RTD	8AI для сигналов термометров сопротивления
Аналоговый вывод	
F4-02DA	2АО уровня 0-5В, 0-10В, 4-20мА
F4-04DA	4АО уровня 0-5В, 0-10В, $\pm 5В$, $\pm 10В$, 4-20мА
F4-08DA-1	8АО уровня 4-20мА
F4-16DA-1	16АО уровня 4-20мА
F4-04DAS	4АО уровня 4-20мА

⇒ Различаются модули ввода/вывода и по способу подключения внешних цепей. К одним модулям внешние цепи подключаются с помощью клемм с винтовыми зажимами. Возможно также подключение внешних цепей через съемные терминальные блоки или фронтальные соединители, что позволяет производить замену модулей без демонтажа внешних цепей. Некоторые производители ПТК предлагают системы ввода/вывода, в которых внешние низковольтные цепи подключаются посредством пружинных зажимов.

На лицевой панели модулей ввода/вывода могут быть расположены светодиоды индикации состояния внешних цепей.

⇒ Одной из важнейших характеристик контроллеров является их способность поддерживать локальный, расширенный, удаленный и распределенный ввод/вывод.

Под **локальным** следует понимать такой ввод/вывод, когда модули ввода/вывода размещаются непосредственно на том же шасси, на котором размещен и модуль центрального процессора. Так как количество слотов в шасси ограничено (максимум 16 - 18 для некоторых контроллеров), то и количество локальных вводов/выводов может быть также ограничено. Преимущество локальных вводов/выводов заключается в том, что они имеют высокую скорость обновления данных. При всех прочих равных условиях, скорость обработки этих вводов/выводов очень высока. Эта характеристика особенно важна, когда речь идет о регулировании технологических параметров.

Для поддержки большего числа переменных фирмы-производители аппаратных средств снабдили свои системы возможностью расширения локального ввода/вывода. Эти **шасси расширения** с размещенными в них модулями ввода/вывода соединяются между собой специализированным коротким кабелем и могут быть отнесены максимум на несколько десятков метров от центрального процессора. Некоторые комплексы контроллеров способны поддерживать одно/два шасси расширения, другие - десятки шасси с очень большим количеством модулей ввода/вывода.

Например, многие контроллеры компании Schneider Electric (семейство Premium) имеют большие возможности по расширенному вводу/выводу. Они допускают использование до 8 расширительных панелей на 12 слотов каждая (до 96 слотов), из которых 87 слотов – для модулей ввода/вывода, или до 16 расширительных панелей на 4, 6, 8 слотов (до 128 слотов). В такой конфигурации под модули ввода/вывода используется 111 слотов.

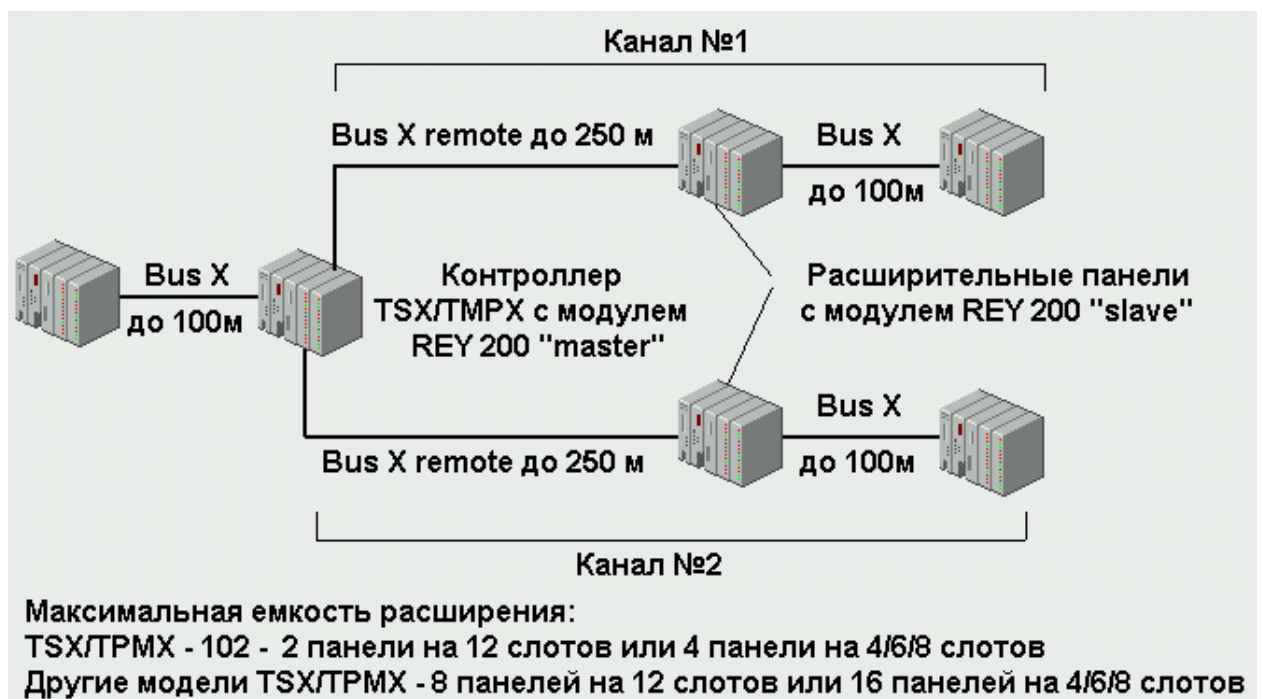


Рис. 1. Организация расширенного ввода/вывода в контроллерах Premium.

В семействе Premium (рис. 1) расширительные панели могут быть размещены на расстоянии не более 100м от базовой панели. При использовании модуля **Bus X remote** (TSX REY 200 "Master", устанавливаемый в базовой панели) это расстояние может достигать 250м (модуль поддерживает два канала расширения - имеет два порта). В этом случае в первую расширительную панель каждого канала должен быть установлен модуль TSX REY 200 "Slave".

Сравнительная характеристика контроллеров по возможностям расширения ввода/вывода:

Simatic S7 - 400 - до 21 стойки расширения

Premium - до 16 стоек (до 128 слотов)

DL - 405 - до 3 стоек расширения

SLC 500 - 1+2 (3 стойки - 30 модулей)

**Quantum - 1 стойка на 16 слотов (локальный ввод/вывод),
без расширения (14 x 32 = 448 DI/DO)**

Удаленный ввод/вывод применяется для систем, в которых имеется большое количество датчиков и других полевых устройств, находящихся на достаточно большом расстоянии (1000 и более метров) от центрального процессора. Это относится и к объектам нефтегазовой отрасли, часто находящихся на больших расстояниях от пунктов управления. Такой подход позволяет уменьшить стоимость линий связи за счет того, что модули ввода/вывода размещаются вблизи полевых устройств.

Каналы удаленного ввода/вывода обновляются асинхронно по отношению к сканированию процессора. Поэтому из числа задач, использующих удаленный ввод/вывод, решены могут быть только те, которые не требуют обновления ввода/вывода на каждом шаге.

Фирмы-производители аппаратных средств автоматизации решают проблему удаленного ввода/вывода по-разному.

Часто поддержка удаленных вводов/выводов осуществляется посредством модулей, называемых "удаленный ведущий" и "удаленный ведомый". Ведущий модуль располагается в локальном каркасе контроллера и соединяется кабелем с "удаленным ведомым", который находится в удаленном каркасе (контроллеры DL205, DL405 фирмы Kooyo, контроллер Quantum компании Schneider Electric).

Один ведущий модуль может поддерживать 32, 64, 125 ведомых. В свою очередь, различные процессоры, могут поддерживать несколько ведущих модулей. Таким образом, системы управления, построенные по технологии

удаленного ввода/вывода, способны обрабатывать многие тысячи параметров.

Для конфигурирования удаленного ввода/вывода контроллера Quantum предусмотрены соответствующие модули:

- модуль головного канала RIO;
- модуль подканала RIO.

Модуль головного канала RIO устанавливаются в ту же монтажную панель, что и модуль центрального процессора, управляющий системой ввода/вывода. Он используется для двунаправленной передачи данных между центральным процессором и модулями подканалов RIO, установленных на удаленных панелях. Для подключения в сеть модуля головного RIO и одного или более модулей подканалов RIO (до 31) используется коаксиальный кабель. Скорость передачи данных по сети RIO - 1.5 Мбит/с, протяженность сети - до 5250 м (рис. 2).

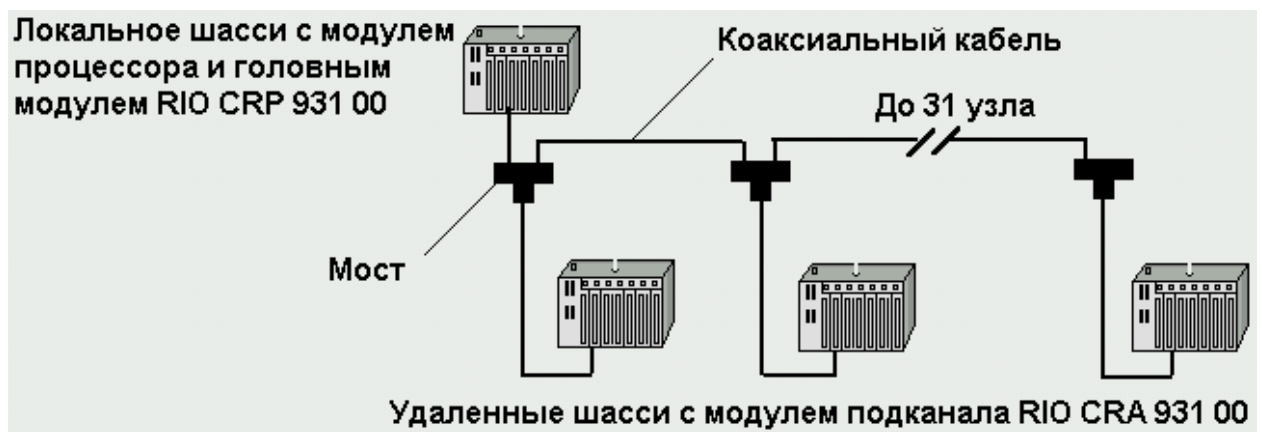
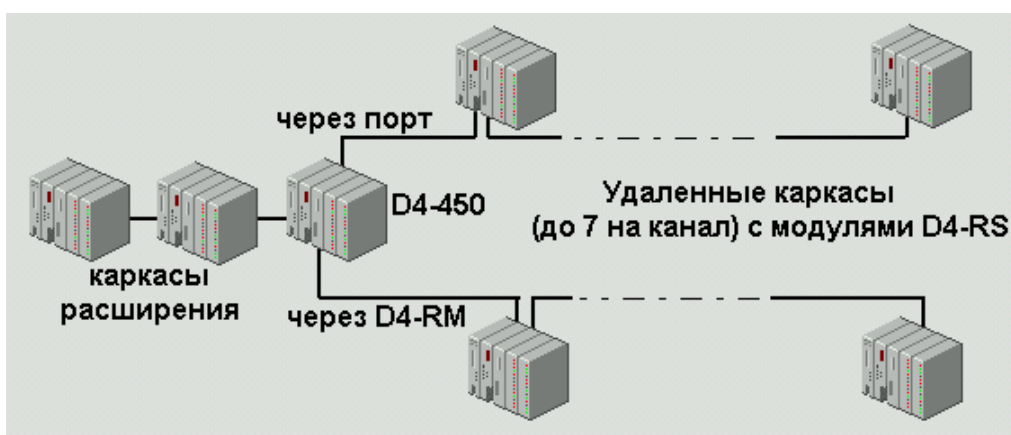


Рис. 2. Организация удаленного ввода/вывода в контроллерах Quantum.

В системе имеются модули удаленного ввода/вывода (RIO) с одинарным и двойным каналом:

- модули головного канала: одинарный 140 CRP 931 00, двойной 140 CRP 932 00;
- модули подканала RIO: одинарный 140 CRA 931 00, двойной 140 CRA 932 00.

Соединение удаленных каркасов (с модулями “D4-RS-ведомый”) с локальным каркасом процессора D4-450 фирмы Коюо осуществляется через



порт процессора или посредством модуля “D4-RM-ведущий”.

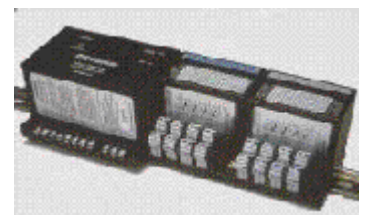
Рис. 3. Организация удаленного ввода/вывода в контроллерах DL405.

Каждый модуль D2-RM поддерживает один канал удаленных вводов/выводов (до 7 каркасов). Все контроллеры DL405 поддерживают два модуля D2-RM (процессор D4-450 плюс к этому имеет порт, поддерживающий удаленный ввод/вывод). Расстояние удаленных каркасов от контроллера достигает 1000м (экранированный кабель “витая пара”) при скорости обмена 38,4 Кбод.

Таким образом, организация удаленного ввода/вывода обеспечивается либо встроенным в процессор портом, играющим роль "мастера", либо специальными модулями, поддерживающими каркасы удаленного ввода/вывода.

Распределенный ввод/вывод является разновидностью удаленного, с той лишь разницей, что количество параметров, которое требуется "достать", мало (от нескольких параметров до десятков). Поэтому решение с применением каркасов удаленного ввода/вывода, рассчитанных на достаточно большое количество параметров, может оказаться дорогим. В связи с этим некоторые фирмы предлагают специализированные решения (система **Field Control** фирмы GE Fanuc, система ввода/вывода **FLEX I/O** фирмы Allen-Bradley). Одно из решений распределенного ввода/вывода - применение интеллектуальных устройств, объединенных полевой шиной.

Field Control (GE Fanuc) имеет модульную конструкцию и состоит из блока интерфейса шины (Bus Interface Unit – BIU), блока полевых контактных устройств (шасси ввода/вывода) и полевых модулей ввода/вывода. В состав BIU входит интерфейс для соединения с такими полевыми хост-шинами, как шина Genius и FIP. Универсальные блоки полевых контактных устройств, которые могут устанавливаться на DIN-рейке или на панели, имеются в различных конфигурациях (по применению). Один блок интерфейса шины может поддерживать до 8 модулей ввода/вывода, обеспечивая в сумме 128 точек.



1.3. Коммуникационные возможности контроллеров

К параметрам контроллеров, характеризующим их способность взаимодействовать с другими устройствами системы управления, относятся:

- количество и разнообразие портов в процессорных модулях;
- широта набора интерфейсных модулей и интерфейсных процессоров;

- поддерживаемые протоколы;
- скорость обмена данными и протяженность каналов связи.

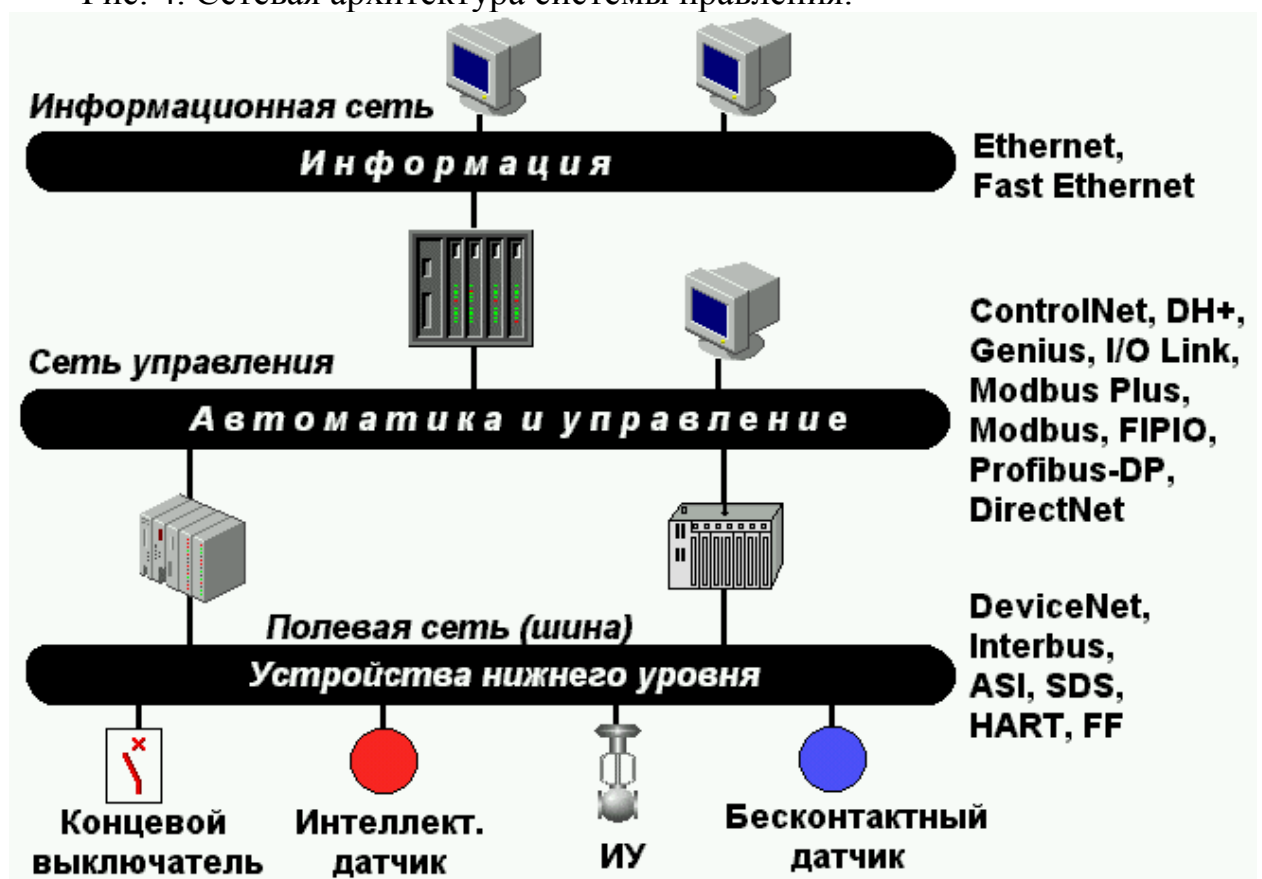
- **Сетевая архитектура системы управления**

Как показано на рис. 4, система управления технологическим процессом представляет собой многоуровневую структуру.

Устройства верхнего уровня (компьютеры, концентраторы) на своем уровне обмениваются большими объемами информации. Эта информация защищена механизмами подтверждений и повторов на уровне протоколов взаимодействия. Пересылаемый массив данных может быть доступен не только центральному устройству, но и другим узлам сети этого уровня. Это означает, что сеть является *равноправной (одноранговой)*, т. е. определяется моделью взаимодействия peer-to-peer (равный с равным). Время доставки информации не является доминирующим требованием к этой сети (речь идет о жестком реальном времени).

Сети, обеспечивающие информационный обмен на этом уровне, называют информационными сетями. Наиболее ярким представителем сетей этого уровня является Ethernet с протоколом TCP/IP.

Рис. 4. Сетевая архитектура системы управления.



Сети, обеспечивающие информационные обмен между контроллерами, датчиками и исполнительными устройствами, часто объединяются под общим названием "*промышленные сети*" (Fieldbus дословно переводится как "полевая сеть").

Их можно разделить на два уровня:

- *управляющие* промышленные сети, решающие задачи сбора и обработки данных на уровне промышленных контроллеров, управления технологическим процессом;

- *полевые* сети или шины, задачи которых сводятся к опросу датчиков и управлению работой разнообразных исполнительных устройств.

На сегодняшний день спектр протоколов для обоих этих классов промышленных сетей (управляющие и полевые) довольно широк. CAN, FIP, Profibus, ControlNet, DH+, Modbus, Modbus plus, Genius, DirectNet, DeviceNet, Interbus, SDS, ASI, HART, FF и еще несколько десятков протоколов присутствуют сегодня на рынке промышленных сетей. Каждая из сетей имеет свои особенности и области применения.

1.3.1. Полевые шины

В последние годы проявилась тенденция применения в системах управления технологий **сквозного сетевого доступа**: от мощных супервизорных компьютеров и multifunctional контроллеров до интеллектуальных полевых устройств (датчики, исполнительные устройства и т. п.). При этом такая связь должна удовлетворять всем современным требованиям по функциональности, надежности и открытости. Рассмотренные ниже полевые шины предназначены для непосредственного взаимодействия с устройствами полевого уровня.

Полевые шины (шины уровня датчиков и исполнительных устройств) должны удовлетворять двум требованиям. Во-первых, необходимо передавать данные в соответствии с жестким временным регламентом. Во-вторых, объем данных должен быть минимальным, чтобы обеспечить работоспособность сети в критические по нагрузкам моменты. Сеть уровня датчиков обеспечивает непосредственный интерфейс между реальным технологическим процессом и промышленными контроллерами.

Передаваемую в такой сети информацию можно разделить на два основных типа: *данные о процессе* и *параметрические данные*. Оба типа данных принципиально различны и предъявляют к коммуникационной системе разные требования.

Данные о процессе (изменение состояния кранов, переключателей, управляющих сигналов и т. п.) не являются сложными и, как правило, определяются несколькими информационными битами. Объем такой информации имеет четкую тенденцию к сокращению. Совсем недавно эти данные для одного простого устройства занимали 8-16 бит. Но уже сейчас развитие технологии привело к тому, что с простейших датчиков (дискретного типа) приходит всего 1-2 бита информации.

Данные о процессе имеют явно выраженный циклический характер. Более того, для реализации задач автоматического управления необходимо, чтобы опрос каналов и выдача команд на управление проводились через регламентируемые интервалы времени. Это так называемое требование детерминированности коммуникационной системы. Благодаря небольшому объему передаваемых данных системы промышленной связи способны действительно удовлетворять временным требованиям со стороны реальных процессов.

Параметрические данные необходимы как для отображения текущего состояния сетевых устройств (интеллектуальных), так и их перепрограммирования. В противоположность данным о процессе параметрическая информация не имеет циклического характера. Доступ к ней реализуется по запросу, в ациклическом режиме. Передача параметрических данных требует и реализует методы специальной защиты, а также механизмов подтверждений. Комплексный параметрический блок для интеллектуальных устройств занимает от нескольких десятков байт до нескольких сотен килобайт. В сравнении с быстро меняющимися данными временные требования для передачи параметров можно считать не критичными. В зависимости от типа устройств и протяженности сети требования по времени простираются от нескольких сотен миллисекунд до нескольких минут.

Протоколы полевых шин

♦ **SDS (Smart Distributed System)** - система ввода/вывода с распределенной логикой, предложенная компанией Honeywell для построения сетей, объединяющих периферийные устройства различных производителей (рис.5).

Эта сеть позволяет работать с такими устройствами ввода/вывода, как концевые выключатели, фотоэлектрические и бесконтактные датчики, позиционеры, и осуществлять обмен информацией на высоких скоростях.

Преимущества сети:

- одна и та же сеть для контроллеров и источников информации;
- питание осуществляется по проводам сетевого кабеля;
- диагностика на уровне физических устройств;
- время прохождения данных по сети может достигать 0.1 мс.

Характеристика сети.

Длина шины	Скорость	Длина ответвления	Число устройств
30.5 м	1 Мбит/с	0.9 м	32
121.9 м	500 Кбит/с	1.8 м	64
243.8 м	250 Кбит/с	3.7 м	64

487.7 м	125 Кбит/с	7.3 м	64
---------	------------	-------	----



Рис.5.

Периферийные устройства подключаются к мастер-модулю **SDS** обычным 4-х проводным кабелем (рис. 5). Таким образом, модуль **SDS** заменяет стандартные модули ввода/вывода, обеспечивая подключение 64 **дискретных** входов или выходов (распределенный ввод/вывод). В каркас процессора **DL405** (Коуо) можно устанавливать до 8 ведущих модулей **SDS** (до 512 адресатов на процессор).

♦ Первые продукты, работающие по технологии **ASI**, вышли на рынок 1993 году. Сегодня эта технология поддерживается рядом известных фирм: Allen-Bradley, Siemens, Schneider Electric и др.

Основная задача этой сети – связать в единую информационную структуру устройства нижнего уровня автоматизируемого процесса (фотоэлектрические датчики, исполнительные устройства, реле, контакторы, емкостные переключатели, приводы, стартеры и т.п.) с системой контроллеров. Это подтверждается и названием сети - **ASI** (Actuator Sensor Interface).

ASI-интерфейс позволяет через свои коммуникационные линии не только передавать данные, но и подводить питание (24 VDC) к датчикам и исполнительным устройствам. Здесь используется принцип последовательной передачи на базовой частоте. Информационный сигнал модулируется на питающую частоту.

К одному контроллеру можно подключить до 31 устройства. Протяженность сегмента **ASI**-шины может достигать 100м. За счет репитеров длину сети и число узлов можно увеличивать. Топологией **ASI**-сети может быть шина, звезда, кольцо или дерево с циклом опроса 31 узла 5 мс.

Основной кабель представляет собой плоский (не экранированный и не витая пара) двужильный кабель, использующийся одновременно для основного питания (24 VDC) датчиков и исполнительных механизмов и для последовательной передачи двоичной информации сбора данных с устройств, подключенных к шине.

Некоторые контроллеры поддерживают модули мастера шины ASI, которые управляют передачей данных между различными компонентами шины ASI и действует как точка подключения шины к управляющему (host) контроллеру.

Контроллер в такой сети играет роль мастера, а периферийные устройства - подчиненных.

Максимальный объем данных с одного ASI-узла – 4 бита.

На рис. 6 контроллеры Micro (Schneider Electric) взаимодействуют с полевыми устройствами по шине ASI. Функции ведущего обеспечиваются интерфейсным модулем SAZ 10.

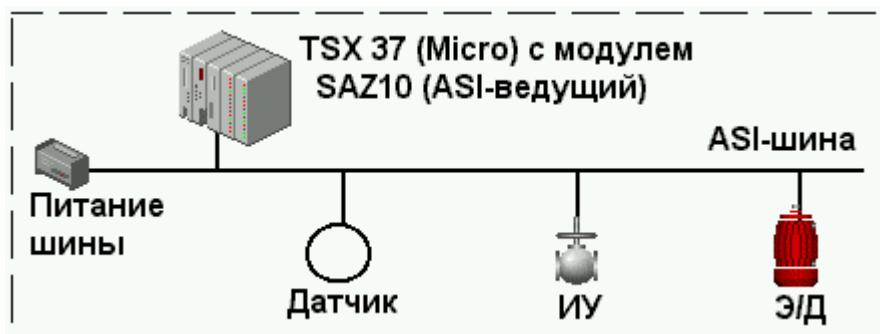


Рис. 6.

♦ HART- протокол

Очень перспективным технически и выгодным экономически является взаимодействие интеллектуальных приборов с контроллерами через цифровую полевую шину. Это исключает искажение низковольтных аналоговых сигналов в цепях связи контроллеров с датчиками, существенно уменьшает расходы на кабельную продукцию, позволяя к одной шине подключать несколько приборов. Такую возможность предоставляет HART-протокол.

Протокол HART (Highway Addressable Remote Transducer), разработанный фирмой Rosemount Inc. в середине 80-х годов, реализует известный стандарт BELL 202 FSK, основанный на технологии 4 – 20 мА.

Стандарт BELL 202 FSK - это кодировка сигнала методом частотного сдвига для обмена данными на скорости 1200 Бод. Сигнал накладывается на аналоговый измерительный сигнал 4—20 мА.

Схема взаимоотношений между узлами сети основана на принципе Master/Slave. В HART-сети может присутствовать до 2 Master-узлов (обычно один). Второй Master, как правило, освобожден от поддержания циклов передачи и используется для организации связи с какой-либо системой контроля/отображения данных. Стандартная топология – «звезда», но возможна и шинная организация. Для передачи данных по сети используются два режима:

- асинхронный: по схеме «Master-запрос/ Slave-ответ» (один цикл укладывается в 500 мс);
- синхронный: пассивные узлы непрерывно передают свои данные мастер-узлу (время обновления данных в мастер-узле - 250 - 300 мс).

Основные параметры HART-протокола:

- длина полевой шины - 1.5 км;
- скорость передачи данных - 1.2 Кб/с;
- число приборов на одной шине - до 16.

HART-протокол позволяет:

- проводить удаленную настройку датчиков на требуемый диапазон измерения через полевую шину;
- не подводить к датчикам отдельные линии электропитания и не иметь в них блоков питания (электропитание реализуется от блоков питания контроллеров через полевую шину);
- увеличить информационный поток между контроллером и приборами, при наличии самодиагностики в приборах передавать сообщения о неисправностях по полевой шине, а далее - оператору.

♦ **Fieldbus Foundation.**

Fieldbus Foundation - некоммерческая организация (создана в 1994 году), которая объединяет более 120 ведущих мировых поставщиков и конечных пользователей систем управления технологическими процессами и автоматизации производства.

В 1996 году была разработана полевая шина, которая использует модификацию стандарта IEC1158-2 для физического уровня и концепцию PROFIBUS для прикладного уровня. Протокол Foundation Fieldbus (FF) представляет собой открытую, внедренную в промышленности технологию, которая дает пользователям возможность применять лучшие в настоящий момент полевые устройства различных поставщиков и не привязывает их к какому-то определенному производителю.

Fieldbus представляет собой локальную сеть (ЛВС), обладающую возможностью распределять управление по всей сети. Управление процессом включает в себя различные функции: конфигурирование, калибровку, мониторинг, диагностику, а также регистрацию событий, происходящих в различных узлах производственной системы.

В соответствии с многоуровневой моделью открытых систем (OSI) протокол полевой шины использует уровни 1, 2 и 7 (уровень физических устройств, уровень канала связи и спецификация формата сообщений).

Foundation Fieldbus имеет 2 физических уровня:

- физический уровень H1 FF (медленный), обеспечивающий рабочую скорость 31,25 Кбит/с;

- физический уровень H2 FF (быстрый), обеспечивающий рабочую скорость до 1 Мбит/с.

Наиболее распространенная топология полевой шины FF - шинная (рис.7) и древовидная.

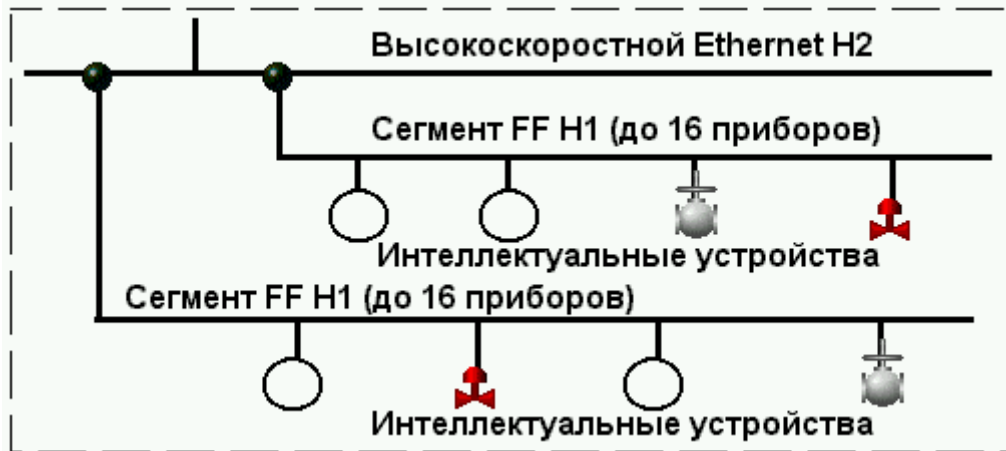


Рис. 7.

Основные преимущества:

- Снижение капитальных и проектных расходов:
 - уменьшение количества оборудования;
 - уменьшение количества кабелей;
 - ускорение пуско-наладки (автоматизированное конфигурирование датчиков с помощью ПО);
 - упрощение чертежей и уменьшение времени на их разработку;
 - ускорение разработки конфигурации;
 - упрощение монтажа.
- Повышение стабильности процесса.
- Увеличение времени непрерывной работы процесса.
- Снижение расходов на обслуживание и эксплуатацию.

1.3.2. Управляющие сети

Класс задач, решаемых этими сетями, сводится к автоматизации конкретных технологических процессов. Отсюда вытекают и соответствующие требования:

- скорость передачи, удовлетворяющая задачам реального времени;
- объем передаваемых данных;
- протяженность сети;
- допустимое количество узлов;
- помехозащищенность и т. п.

Протоколы управляющих сетей

Сегодняшняя ситуация на рынке промышленных управляющих сетей - это ControlNet, PROFIBUS, Modbus, Modbus Plus, DH+, DirectNet, FIPIO,

Remote I/O и многие другие сети. Это сети уровня контроллеров и традиционного ввода/вывода (модульного). Каждая из них имеет свои особенности и области применения.

♦ Протокол **MODBUS** можно назвать наиболее распространенным в мире. Для работы со своими устройствами его используют десятки фирм. Протокол привлекает простотой логики и независимостью от типа интерфейса (RS-232C, RS-422, RS-485 или же токовая петля 20 мА).

Протокол работает по принципу Master/Slave (ведущий-ведомый). Конфигурация на основе этого протокола предполагает наличие одного Master-узла и до 247 Slave-узлов. Только Master инициирует циклы обмена данными. Существует два типа запросов:

- запрос/ответ (адресуется только один из Slave-узлов);
- широковещательная передача (Master через выставление адреса 0 обращается ко всем остальным узлам сети одновременно).

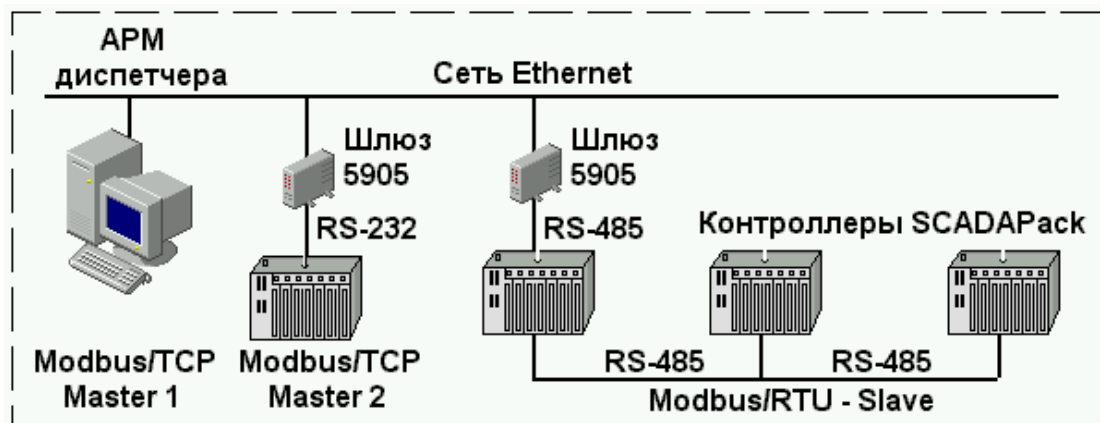


Рис. 8.

На рис. 8 приведен пример взаимодействия контроллеров SCADAPack/Slaves через интерфейс RS-485, используя стандартный протокол обмена Modbus. Для связи контроллеров SCADAPack с рабочей станцией через сеть Ethernet использован модуль/шлюз Ethernet 5905.

♦ Протокол **PROFIBUS** (**PRO**cess **F**ield **BUS**) разработан в Германии. Стандарт протокола описывает уровни 1, 2 и 7 OSI-модели. В PROFIBUS используется гибридный метод доступа Master/Slave и децентрализованная процедура передачи маркера. Сеть может состоять из 125 узлов (4 сегмента по 32 узла), из которых 32 могут быть Master-узлами. Адрес 0 зарезервирован для режима широкого вещания. В среде Master-узлов по возрастающим номерам узлов передается маркер, который предоставляет право ведения циклов чтения/записи на шине. Все циклы строго регламентированы по времени, организована продуманная система тайм-аутов. Протокол хорошо

разрешает разнообразные коллизии на шине. Настройка всех основных временных параметров идет по сценарию пользователя. Рабочая скорость передачи может быть выбрана в диапазоне 9,6-12 000 Кбит/с.

При построении многоуровневых систем автоматизации часто возникают задачи организации информационного обмена между уровнями. В одном случае необходим обмен комплексными сообщениями на средних скоростях. В другом - быстрый обмен короткими сообщениями с использованием упрощенного протокола обмена (уровень датчиков). В третьем требуется работа в опасных участках производства (нефтегазовые технологии, химическое производство). Для всех этих случаев PROFIBUS имеет решение. Под общим названием понимается совокупность трех отдельных протоколов: PROFIBUS-FMS, PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA.

Протокол PROFIBUS-FMS появился первым и был предназначен для работы на так называемом цеховом уровне. Здесь требуется высокая степень функциональности, и этот критерий важнее критерия скорости. Основное его назначение - передача больших объемов данных.

В задачах управления, требующих реального времени, на первое место выдвигается такой параметр, как продолжительность цикла шины. Реализация протокола PROFIBUS-DP дает увеличение производительности шины (например, для передачи 512 бит данных, распределенных по 32 станциям, требуется всего 6 мс).

Протокол PROFIBUS-PA - это расширение DP-протокола в части технологии передачи, основанной не на RS-485, а на реализации стандарта IEC1158-2 для организации передачи во взрывоопасных средах. Он может использоваться в качестве замены старой аналоговой технологии 4-20мА. Для коммутации устройств нужна всего одна витая пара, которая может одновременно использоваться и для информационного обмена, и для подвода питания к устройствам полевого уровня.

Протокол PROFIBUS-DP поддерживается устройствами разных производителей. Для контроллеров компании Siemens этот протокол является основным (рис. 9). Некоторые контроллеры семейств S7-300 и S7-400 имеют встроенный порт PROFIBUS-DP, другие взаимодействуют с сетью посредством коммуникационных процессоров.

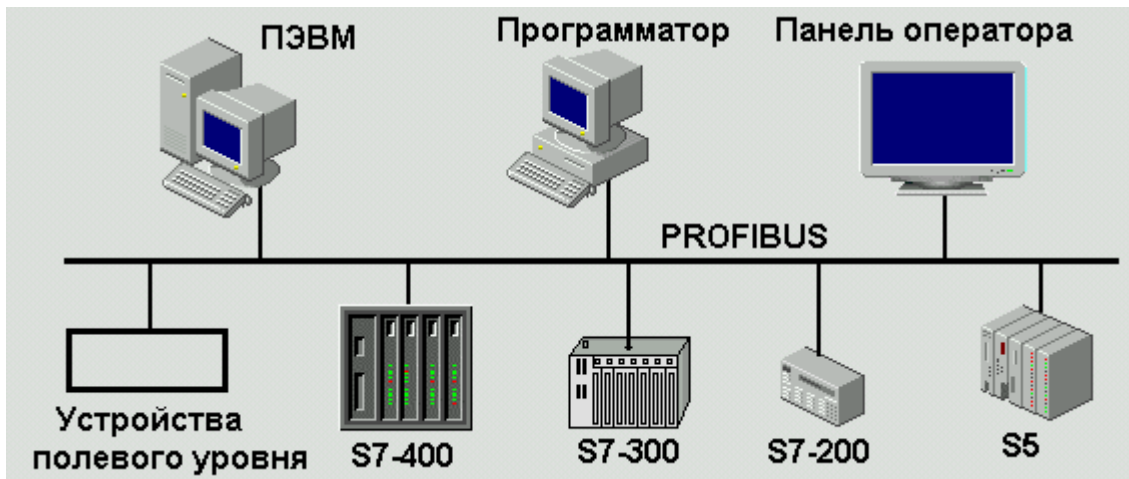


Рис. 9.

1.3.3. Информационная сеть Ethernet

Ethernet - это локальная сеть для быстрого равноправного (одноранговая сеть) обмена информацией между компьютерами и другими устройствами (контроллерами нижнего уровня, большими контроллерами – концентраторами). В качестве физических средств связи используются толстый коаксиальный кабель 10Base5, тонкий коаксиальный кабель 10Base2, витая пара 10Base-T, оптоволокно 10(100)Base-F. Скорость обмена по сети - 10 Мбод (100Мбод).

Протяженность сети на витой паре - до 100 м, на специализированном оптоволокне - до 2800 м. Количество узлов сети (рабочих станций, серверов и т. п.) определяется многими факторами и может достигать нескольких десятков.

Эта локальная сеть используется в том случае, когда в системе имеют место большие потоки информации, а также при необходимости создания многих пользовательских узлов (рабочих, инжиниринговых станций, серверов и т. д.) в сети.

Большинство контроллеров средней и большой мощности имеют возможность взаимодействия с Ethernet через встроенные порты процессоров или посредством интерфейсных модулей.

Даже микроконтроллеры MicroLogix 1200, MicroLogix 1500 фирмы **Allen-Bradley** могут быть подключены к сети Ethernet через интерфейс 1761-NET-ENI. Этот интерфейс поддерживает мониторинг программ и их загрузку, сбор данных и равноправный обмен информацией.

А процессоры контроллеров средней мощности PLC 5/20E, PLC 5/40E и PLC 5/60E снабжены встроенным портом Ethernet. Кроме того, в системе имеется модуль интерфейса Ethernet (1785-ENET) для контроллеров PLC 5.

Платформа контроллеров ControlLogix той же компании располагает

интерфейсными модулями 1756-ENET/ENBT - 1 порт, 10 Мбит/сек (ENET), 10/100 Мбит/сек (ENBT).

Контроллеры семейства Quantum (**Schneider Electric**) поддерживают сеть Ethernet TCP/IP посредством интерфейсных модулей:

- 140 NOE 211 00 - 2 порта (передатчик и приемник) с протоколом 10BASE-T, витая пара, скорость передачи данных 10 Мбит/сек);
- 140 NOE 251 00 - 2 порта (передатчик и приемник) с протоколом 10BASE-FL, оптоволокно, скорость передачи данных 10 Мбит/сек).

Контроллеры семейств S7-300 и S7-400 (компания **Siemens**) поддерживают сеть Ethernet через коммуникационные процессоры CP 343-1 TCP и CP 443-1 TCP.

Контроллеры семейства 90-70 компании **GE Fanuc** имеют разъем для подключения приемопередатчика локальной сети Ethernet, обеспечивающего высококачественную связь между контроллерами.

Коммуникационный процессор MCP-T (**Motorola** Communication Processor) предназначен для взаимодействия с локальной сетью Ethernet по протоколу TCP/IP. Может служить мостом между сетью Modbus и сетью Ethernet при больших объемах передаваемой в сети информации.

1.4. Эксплуатационные характеристики

♦ **Надежность** системы управления оценивается следующими косвенными показателями:

Возможность резервирования сетей, контроллеров, модулей ввода/вывода и т. д.

К наиболее распространенным способам резервирования относятся:

- горячий резерв отдельных компонентов и/или контроллера в целом (при непрохождении теста в рабочем контроллере управление переходит ко второму контроллеру);
- троирование основных компонентов и/или контроллера в целом с голосованием по результатам обработки сигналов всеми контроллерами, составляющими группу (за выходной сигнал принимается тот, который выдали большинство контроллеров группы, а контроллер, рассчитавший иной результат, объявляется неисправным);
- работа по принципу "пара и резерв". Параллельно работает пара контроллеров с голосованием результатов, а аналогичная пара находится в горячем резерве. При выявлении разности результатов работы первой пары управление переходит ко второй паре. Первая пара

тестируется и, либо определяется наличие случайного сбоя и управление возвращается к первой паре, либо диагностируется неисправность и управление остается у второй пары.

Наличие встроенных аккумуляторов и батарей, обеспечивающих работу способ организации управления при прекращении питания от сети.

Глубина и полнота диагностических тестов.

♦ **Условия эксплуатации:**

- диапазоны температур и влажности окружающей среды;
- наибольшие вибрации и ударные нагрузки;
- допускаемые электрические и магнитные помехи и т. п.

Известно, что наиболее крупные российские месторождения нефти и газа находятся в Западной Сибири и на Крайнем Севере. При выборе программно-технических средств автоматизации объектов добычи таких месторождений на первый план могут быть выдвинуты требования их работоспособности в жестких условиях эксплуатации (например, в широком диапазоне температур). Можно, конечно, разместить аппаратуру в специальных обогреваемых помещениях, но это повлечет за собой значительное увеличение линий связи и удорожание системы автоматизации. С другой стороны, следует иметь ввиду, что аппаратура, способная работать при очень низких минусовых температурах (до -40°C), имеет более высокую стоимость.

Контроллеры, способные функционировать без подогрева в условиях минусовых температур и предназначенные для автоматизации объектов, находящихся на больших расстояниях друг от друга и от пунктов управления, получили название RTU (Remote Terminal Unit - удаленное терминальное устройство). Эти устройства в качестве каналов связи используют телефонные линии или радиоканал. Оба эти канала требуют наличия модемов со стороны приемника и передатчика, потому такие системы называют телемеханическими. В нефтегазовой отрасли RTU нашли применение при автоматизации таких объектов, как кусты добывающих нефтяных и газовых скважин, водонагнетательные скважины, кустовые насосные станции, газораспределительные станции, линейные участки магистральных нефтегазопроводов и т. п. Пример применения RTU на линейном участке нефтепровода приведен на рис. 10.

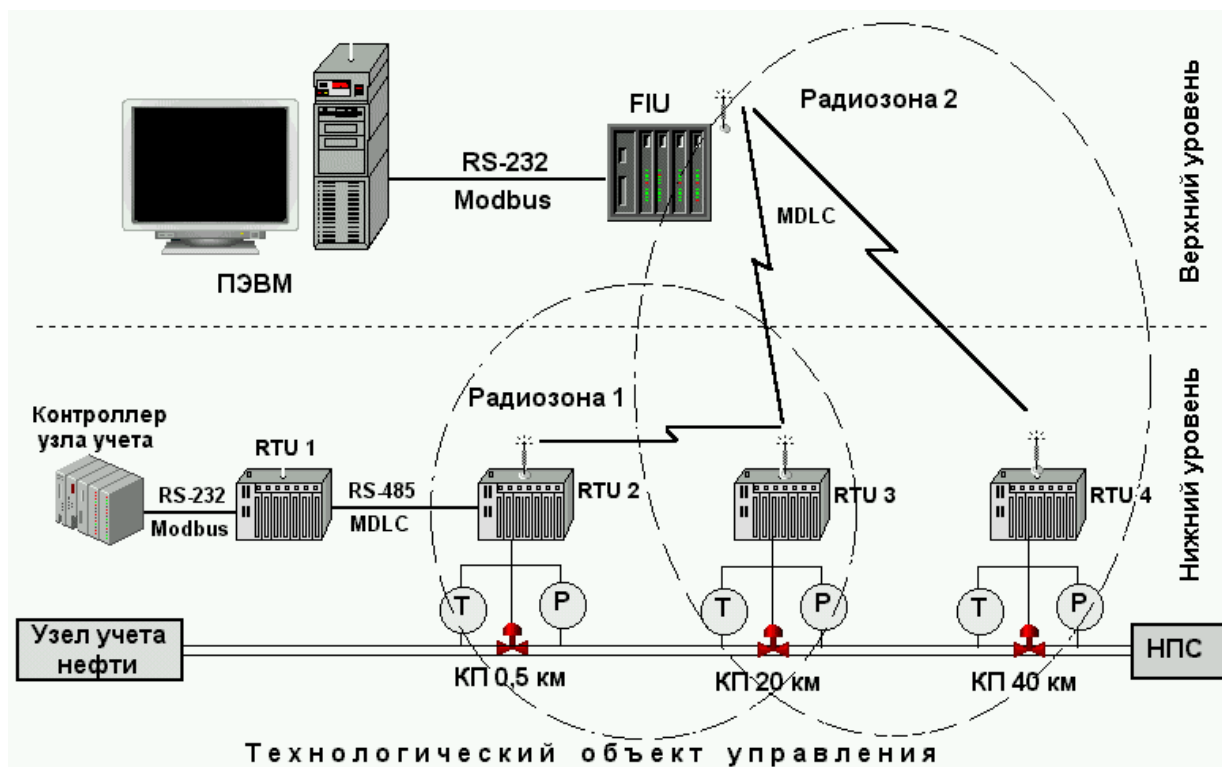


Рис. 10. Система управления нефтепроводом подключения и узлом учета на базе контроллеров MOSCAD.

♦ Способы монтажа

Способы монтажа контроллеров и модулей ввода/вывода достаточно типизированы. Это и корзины с гнездами для различных модулей, и базовые платы с разъемами под модули. Количество модулей, размещаемых в каркасе (корзине) или на базовой плате, может быть различным (от 3 до 18). Сконфигурированные в корзинах и на базовых платах контроллеры могут монтироваться на щитах, в шкафах, профильных рейках. Имеются ПТК, построенные по модульному принципу, в которых монтаж любых модулей (процессорных, ввода/вывода, коммуникационных и т. п.) производится непосредственно на профильной рейке.

2. Тенденции развития контроллеров

- беспроводная связь (сотовая связь, радиосвязь);
- развитие новых видов нано-микроконтроллеров от одного до десятков вводов/выводов (специализированных и программируемых) благодаря возрастанию мощности микропроцессоров;
- расширение вариантов ввода/вывода для контроллеров одного типа;
- развитие общих и специализированных (для отдельных классов технологических процессов) библиотек программного обеспечения, которые “зашиваются в память контроллеров”;

- сближение контроллеров и ПК по функциям (сейчас сближение происходит по архитектуре, по применяемым процессорам и программному обеспечению).

Происходят существенные изменения в промышленных и полевых сетях. Продолжается распространение сети Ethernet на все уровни управления. Главный недостаток – случайный доступ – минимизируется применением коммутаторов, что позволяет снизить нагрузку на сеть и избегать ее “затыкания” при большом количестве сообщений. Происходит изменение протоколов сети таким образом, что становится реальным жесткий цикл гарантированных по времени сообщений, а также цикл со случайным доступом. На полевом уровне шина FF также соединяется с Ethernet.

В контроллерах начинают использовать алгоритмы самонастройки регуляторов. Самонастройка может выполняться по команде оператора или автоматически – регуляторы с прогнозируемой моделью (адаптивные).

Контрольные вопросы

1. Факторы, обусловившие формирование современного рынка средств и систем автоматизации.
2. Классификация контроллеров по назначению, примеры.
3. Классификация контроллеров по количеству поддерживаемых вводов/выводов, примеры.
4. Характеристика контроллеров. Магистрально-модульная архитектура. Процессор, как основной компонент контроллера, его характеристики, примеры.
5. Характеристика контроллеров с точки зрения ввода/вывода. Локальный и расширенный ввод/вывод, примеры.
6. Характеристика контроллеров с точки зрения ввода/вывода. Удаленный и распределенный ввод/вывод, примеры.
7. Эксплуатационные характеристики контроллеров.
8. Способы обеспечения надежности систем управления.
9. Характеристика коммуникационных возможностей контроллеров.
10. Сетевая архитектура системы управления.
11. Полевые шины. Характеристика. Примеры протоколов.
12. Управляющие сети и требования к ним.
13. Характеристика популярных протоколов управляющих сетей.
14. Сеть Ethernet и ее роль на всех уровнях системы управления.
15. Тенденции развития контроллеров.

Лекция №4

Программное обеспечение систем управления**1. Классификация программных средств систем управления технологическими процессами**

В типовой архитектуре SCADA-системы явно просматриваются два уровня:

- **уровень локальных контроллеров**, взаимодействующих с объектом управления посредством датчиков и исполнительных устройств;
- **уровень оперативного управления** технологическим процессом, основными компонентами которого являются серверы, рабочие станции операторов/диспетчеров, АРМ специалистов.

Каждый из этих уровней функционирует под управлением специализированного программного обеспечения (ПО). Разработка этого ПО или его выбор из предлагаемых в настоящее время на рынке программных средств зависит от многих факторов, прежде всего от решаемых на конкретном уровне задач.

Различают **базовое** и **прикладное** программное обеспечение (рис.1).

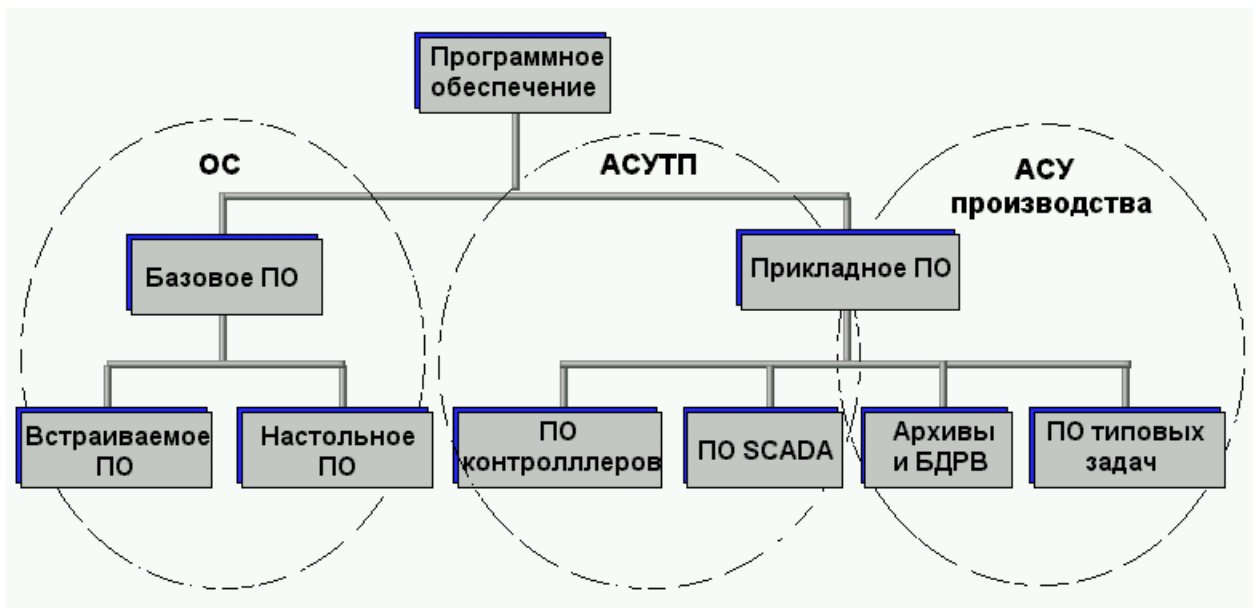


Рис. 1. Классификация программных средств системы управления.

➤ **Базовое** ПО включает в себя различные компоненты, но основным из них является операционная система (ОС) программно-технических средств АСУТП. Каждый уровень АСУТП представлен «своими» программно-техническими средствами: на нижнем уровне речь идет о контроллерах, тогда как основным техническим средством верхнего уровня является компьютер. В соответствии с этим в кругу специалистов появилась

и такая классификация: **встраиваемое** и **настольное** программное обеспечение.

Очевидно, требования, предъявляемые к встраиваемому и настольному ПО, различны. Контроллер в системе управления наряду с функциями сбора информации решает задачи автоматического непрерывного или логического управления. В связи с этим к нему предъявляются жесткие требования по времени реакции на состояние объекта и выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства. Контроллер должен *гарантированно* откликаться на изменения состояния объекта за *заданное* время.

Для решения подобных задач рекомендуется применение **ОС реального времени** (ОСРВ). Такие операционные системы иногда называют детерминированными, подразумевая под этим гарантированный отклик за заданный промежуток времени. Большинство микропроцессорных устройств (в том числе контроллеры и компьютеры) используют механизм прерываний работы процессора. В ОС реального времени, в отличие от ОС общего назначения (не гарантирующих времени исполнения), прерываниям присвоены приоритеты, а сами прерывания обрабатываются за гарантированное время.

Выбор ОС зависит от жесткости требований реального времени. Для задач, критичных к реакции системы управления, в настоящее время применяются такие операционные системы реального времени, как **OS-9, QNX, VxWorks**. В системах с менее жесткими требованиями к реальному времени возможно применение версий Windows NT/CE, точнее их расширений реального времени.

OS-9 относится к классу Unix-подобных операционных систем реального времени и предлагает многие привычные элементы среды Unix. Все функциональные компоненты OS-9, включая ядро, иерархические файловые менеджеры, систему ввода/вывода и средства разработки, реализованы в виде независимых модулей. Комбинируя эти модули, разработчик может создавать системы с самой разной конфигурацией - от миниатюрных автономных ядер, ориентированных на ПЗУ контроллеров, до полномасштабных многопользовательских систем разработки.

OS-9 обеспечивает выполнение всех основных функций операционных систем реального времени: управление прерываниями, межзадачный обмен информацией и синхронизация задач.

Операционная система **QNX** разработки канадской фирмы QNX Software Systems Ltd. является одной из наиболее широко используемых систем реального времени. QNX гарантирует время реакции в пределах от нескольких десятков микросекунд до нескольких миллисекунд (в зависимости от быстродействия ПЭВМ и версии QNX). Кроме того, высокая эффективность QNX в задачах управления в реальном времени обеспечивается такими свойствами, как многозадачность (до 250 задач на одном узле), встроенные в ядро системы сетевые возможности, гибкое управление прерываниями и приоритетами, возможность выполнения задач в защищенном и фоновом режимах.

Операционная система QNX нашла применение как на нижнем уровне АСУТП (ОС для контроллеров), так и на верхнем уровне (ОС для программного обеспечения SCADA).

Операционная система реального времени **VxWorks** предназначена для разработки ПО встроенных компьютеров, работающих в системах «жесткого» реального времени. К операционной системе VxWorks прилагается и инструментальная среда Tornado фирмы Wind River Systems со средствами разработки прикладного программного обеспечения. Его разработка ведется на инструментальном компьютере в среде Tornado для последующего исполнения на целевом компьютере (контроллере) под управлением VxWorks.

ОС VxWorks поддерживает целый ряд компьютерных платформ, в том числе Intel 386/486/Pentium, PowerPC, DEC Alpha. К платформам, поддерживаемым инструментальной средой Tornado, относятся Sun (Solaris), HP 9000/400,700, DEC Alpha, PC (Windows 95 и NT) и другие.

Операционная система **Windows** знакома всем как настольная система. Но это, прежде всего, относится к платформам Windows 3.xx/95, в которых действительно отсутствует поддержка реального времени. Ситуация резко изменилась с появлением Windows NT. Сама по себе Windows NT не является операционной системой реального времени в силу ряда ее особенностей. Система поддерживает аппаратные (а не программные) прерывания, отсутствует приоритетная обработка отложенных процедур и др. Но в конце XX века ряд фирм предприняли серьезные попытки превратить Windows NT в ОС жесткого реального времени. И эти попытки увенчались успехом. Компания VenturCom разработала модуль Real Time

Extension (RTX) - подсистему реального времени (РВ) для Windows NT. Эта подсистема имеет собственный планировщик со 128 приоритетами прерываний, который не зависит от NT. Максимальное время реакции на прерывание составляет 20-80 мкс вне зависимости от загрузки процессора. Теперь при каждом прерывании от таймера приоритет передается критичным по времени задачам. А в оставшееся от их работы время могут выполняться «медленные» процессы: ввод/вывод, работа с диском, сетью, графическим интерфейсом и т. п.

32-разрядная **Windows CE** была создана компанией Microsoft для малых компьютеров (калькуляторов), но в силу ряда достоинств стала претендовать на роль стандартной ОС реального времени. К числу этих достоинств относятся:

- открытость и простота стыковки с другими ОС семейства Windows;
- время реакции порядка 500 мкс;
- значительно меньшие по сравнению с другими ОС Windows требования к ресурсам памяти и возможность построения бездисковых систем.

А в 1999 году компанией Direct by Koyo ОС Windows CE была впервые установлена на платформу микроPLC.

Выбор операционной системы программно-технических средств **верхнего уровня** АСУТП определяется прикладной задачей (ОС общего пользования или ОСРВ). Но наибольшую популярность и распространение получили различные варианты ОС Windows (Windows NT/2000). Ими оснащены программно-технические средства верхнего уровня АСУТП, представленные персональными компьютерами (ПК) разной мощности и конфигурации - рабочие станции операторов/диспетчеров и специалистов, серверы баз данных (БД) и т. д.

Такая ситуация возникла в результате целого ряда причин и тенденций развития современных информационных и микропроцессорных технологий.

Вот несколько основных аргументов в пользу Windows:

- Windows имеет очень широкое распространение в мире, в том числе и в России, в связи с чем легко найти специалиста, который мог бы сопровождать системы на базе этой ОС;
- эта ОС имеет множество приложений, обеспечивающих решение различных задач обработки и представления информации;

- ОС Windows и Windows-приложения просты в освоении и обладают типовым интуитивно понятным интерфейсом;
- приложения, работающие под управлением Windows, поддерживают общедоступные стандарты обмена данными;
- системы на базе ОС Windows просты в эксплуатации и развитии, что делает их экономичными как с точки зрения поддержки, так и при поэтапном росте;
- Microsoft развивает информационные технологии (ИТ) для Windows высокими темпами, что позволяет компаниям, использующим эту платформу «идти в ногу со временем».

Также следует учитывать и то, что неотъемлемой частью верхнего уровня АСУ ТП является человек, время реакции которого на события недетерминировано и зачастую достаточно велико. Да и сама проблема реального времени на верхнем уровне не столь актуальна.

В 90-х годах широкое распространение получила ОС реального времени QNX. Имеется множество примеров использования QNX на всех уровнях иерархической структуры АСУТП (от контроллеров до серверов и рабочих станций). Но в последние годы активность компании на рынке SCADA-систем значительно снизилась, что привело и к снижению числа продаж этого программного продукта. Объясняется это тем, что еще в 1995 году компания QNX Software Systems Ltd. объявила об «уходе» во встроенные системы.

С точки зрения разработки системы управления предпочтительна такая программная архитектура, в которой ПО всех уровней управления реализовано в единой операционной системе. В этом случае «автоматически» снимаются все вопросы, связанные с вертикальным взаимодействием различных программных компонент системы управления. Но на практике это далеко не так. Достаточно часто в разрабатываемых системах контроля и управления нижний и верхний уровни реализуются в разных ОС. И наиболее характерна ситуация, когда на уровне контроллера используется ОС реального времени, а на уровне оператора/диспетчера SCADA-система функционирует под Windows NT. Без специализированных решений по организации взаимодействия между подсистемами здесь не обойтись.

➤ Для функционирования системы управления необходим и еще один тип ПО - **прикладное программное обеспечение (ППО)**.

Известны два пути разработки прикладного программного обеспечения систем управления:

- создание собственного прикладного ПО с использованием средств традиционного программирования (стандартные языки программирования, средства отладки и т.д.);
- использование для разработки прикладного ПО существующих (готовых) инструментальных средств.

Первый вариант является наиболее трудоемким. Применение высокоуровневых языков требует соответствующей квалификации разработчиков в теории и технологии программирования, знания особенностей конкретной операционной системы, тонкостей аппаратного обеспечения (контроллеров). С точки зрения основных критериев - стоимости и времени разработки - этот вариант неприемлем в большинстве случаев.

Второй вариант является более предпочтительным. Почему? А потому, что на сегодняшний день в мире уже создано несколько десятков инструментальных систем, хорошо поддерживаемых, развиваемых и нашедших применение при создании десятков и сотен тысяч проектов автоматизации. Эти проверенные временем программные средства упрощают (разработчики интерфейсов - не высококлассные программисты, а специалисты по автоматизации), ускоряют и значительно удешевляют процесс разработки.

С точки зрения области применения готовые инструментальные средства можно разделить на два класса:

- средства, ориентированные на разработку программ управления внешними устройствами, контроллерами - **CASE-системы (Computer Aided Software Engineering)**;
- средства, ориентированные на обеспечение интерфейса оператора/диспетчера с системой управления – **SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition** - диспетчерское управление и сбор данных).
- Контроллеру требуется **программа**, в соответствии с которой он взаимодействует с объектом. В одних случаях речь идет только о сборе данных с объекта, в других - о логическом управлении (например, выполнении блокировок). Наконец, одно из основных применений контроллера - реализация функций непрерывного управления отдельными параметрами или технологическим аппаратом (процессом) в целом.

Фирмы, производящие оборудование для построения систем автоматизации, всегда стремились сопровождать свою продукцию набором программных инструментов, с помощью которых пользователь по определенным правилам и соглашениям мог бы описывать логику работы контроллера. На раннем этапе развития этих программных средств набор поддерживаемых ими функций обеспечивался нестандартными языками. Со временем правила и соглашения совершенствовались и на определенном этапе были оформлены в виде специальных языков программирования, образовав то, что сейчас называется **CASE**-инструментарием.

В 1992 году Международная Электротехническая Комиссия (МЭК, IEC - International Electrotechnical Commission,) взяла под контроль процессы, связанные с развитием этого типа прикладного ПО. Были выдвинуты требования открытости системы, выполнение которых позволило бы унифицировать программные средства и упростить разработку:

- возможность разработки драйверов для контроллеров самими пользователями, т.е. сопровождение программных продуктов по программированию контроллеров специальными инструментальными средствами;
- наличие коммуникационных средств (интерфейсов) для взаимодействия с другими компонентами системы управления;
- возможность портации ядра системы на ряд программно-аппаратных платформ.

На рынке появилось большое количество пакетов, удовлетворяющих вышеописанным требованиям. Практически во всех этих пакетах среда разработки реализована в **Windows**-интерфейсе, имеются средства загрузки разработанного приложения в исполнительную систему.

Названия некоторых из этих пакетов приведены ниже:

- RSLogix 500, RS Logix 5, RSLogix 5000 фирмы Rockwell Software для программирования контроллеров различных семейств Allen-Bradley;
- DirectSOFT для контроллеров семейства Direct Logic фирмы Koyo;
- пакеты PL7 и Concept - ПО для программирования контроллеров различных семейств компании Schneider Electric;
- пакеты STEP 5, STEP 7 Micro, STEP 7 для программирования контроллеров семейств S5 и S7 фирмы Siemens;
- пакет Toolbox для конфигурирования контроллеров семейства Moscad;

- пакет TelePACE для программирования контроллеров серий TeleSAFE Micro 16 и SCADAPack фирмы Control Microsystems.

Стандартом МЭК 1131-3 определены пять языков программирования контроллеров: три графических (LD, FBD, SFC) и два текстовых (ST, IL).

LD (Ladder Diagram) - графический язык диаграмм релейной логики. Язык LD применяется для описания логических выражений различного уровня сложности.

FBD (Function Block Diagram) - графический язык функциональных блочных диаграмм. Язык FBD применяется для построения комплексных процедур, состоящих из различных функциональных библиотечных блоков - арифметических, тригонометрических, регуляторов и т.д.).

SFC (Sequential Function Chart) - графический язык последовательных функциональных схем. Язык SFC предназначен для использования на этапе проектирования ПО и позволяет описать «скелет» программы - логику ее работы на уровне последовательных шагов и условных переходов.

ST (Structured Text) - язык структурированного текста. Это язык высокого уровня, по мнемонике похож на Pascal и применяется для разработки процедур обработки данных.

IL (Instruction List) - язык инструкций. Это язык низкого уровня класса ассемблера и применяется для программирования эффективных, оптимизированных процедур.

В конце 90-х годов появились открытые программные продукты ISaGRAF, InControl (Wonderware), Paradym (Intellution), предназначенные для разработки, отладки и исполнения программ управления как дискретными, так и непрерывными процессами.

Сейчас уже можно сказать, что подавляющее большинство контроллеров и систем управления обслуживается программными продуктами, реализующими стандарт МЭК 1131-3.

Широкое применение в России нашел пакет ISaGRAF французской компании CJ International.

Основные возможности пакета:

- Поддержка всех пяти языков стандарта МЭК 1131-3 плюс реализация языка Flow Chart как средства описания диаграмм состояний. При этом ISaGRAF позволяет смешивать программы и процедуры, написанные на разных языках, а также вставлять кодовые последовательности из одного языка в коды, написанные на другом языке.

- Наличие многофункционального отладчика, позволяющего во время работы прикладной задачи просматривать состояние программного кода, переменных, программ и многое другое.
 - Поддержка различных протоколов промышленных сетей.
 - Реализация опций, обеспечивающих открытость системы для доступа к внутренним структурам данных прикладной ISaGRAF-задачи, а также возможность разработки драйверов для модулей ввода/вывода, разработанных самим пользователем, и возможность переноса ISaGRAF-ядра на любую аппаратно-программную платформу.
 - Набор драйверов для работы с контроллерами различных фирм-производителей: PEP Modular Computers, Motorola Computer Group и др.
 - Наличие дополнительных интерактивных редакторов для описания переменных, констант и конфигураций ввода/вывода.
 - Встроенные средства контроля за внесением изменений в программный код ISaGRAF-приложения и печати отчетов по разработанному проекту с большой степенью детализации, включая печать таблиц перекрестных ссылок для программ и отдельных переменных.
 - Полное документирование этапов разработки.
- Программные средства верхнего уровня АСУТП (SCADA-пакеты) предназначены для создания прикладного программного обеспечения пультов контроля и управления, реализуемых на различных компьютерных платформах и специализированных рабочих станциях. SCADA - пакеты позволяют при минимальной доле программирования на простых языковых средствах разрабатывать многофункциональный интерфейс, обеспечивающий оператора/диспетчера не только полной информацией о технологическом процессе, но и возможностью им управлять.

В своем развитии SCADA - пакеты прошли тот же путь, что и программное обеспечение для программирования контроллеров. На начальном этапе (80-е годы) фирмы-разработчики аппаратных средств создавали собственные (закрытые) SCADA-системы, способные взаимодействовать только со «своей» аппаратурой. Начиная с 90-х годов, появились универсальные (открытые) SCADA - программы.

Понятие открытости является фундаментальным, когда речь идет о программно-аппаратных средствах для построения многоуровневых систем автоматизации. Более подробно об этом будет сказано ниже.

Сейчас на российском рынке присутствует несколько десятков открытых SCADA-пакетов, обладающих практически одинаковыми функциональными возможностями. Но это совсем не означает, что любой из них можно с одинаковыми усилиями (временными и финансовыми) успешно адаптировать к той или иной системе управления, особенно, если речь идет о ее модернизации. Каждый SCADA-пакет является по-своему уникальным, и его выбор для конкретной системы автоматизации, обсуждаемый на страницах специальной периодической прессы почти на протяжении последних десяти лет, по-прежнему остается актуальным.

Ниже приведен перечень наиболее популярных в России SCADA-пакетов.

- Trace Mode/Трейс Моуд (AdAstrA) - Россия;
- InTouch (Wonderware) - США;
- FIX (Intellution) - США;
- Genesis (Iconics Co) - США;
- Factory Link (United States Data Co) - США;
- RealFlex (BJ Software Systems) - США;
- Sitex (Jade Software) - Великобритания;
- Citect (CI Technology) - Австралия;
- WinCC (Siemens) - Германия;
- RTWin (SWD Real Time Systems) - Россия;
- САРГОН (НБТ - Автоматика) - Россия;
- MIK\$Sys (МИФИ) - Россия;
- Cimplicity (GE Fanuc) - США;
- RSView (Rockwell Automation) - США и многие другие.

Последовательность представления пакетов в приведенном выше перечне в достаточной степени случайна. Констатируется лишь сам факт существования той или иной системы. Предлагается исходить из предпосылки, что SCADA-пакет существует, если с помощью него уже реализовано хотя бы несколько десятков проектов. Вторая предпосылка - нет абсолютно лучшей SCADA-системы для всех случаев применения. SCADA - это всего лишь удобный инструмент в руках разработчика, и ее адаптация к конкретной системе автоматизации - вопрос квалификации и опыта.

- До недавнего времени задача регистрации информации в реальном времени могла быть решена либо на уровне программного обеспечения концентратора (контроллера верхнего уровня), либо на уровне SCADA-

системы. При этом речь идет о больших потоках данных о процессе, поступающих от большого количества датчиков (нескольких сот или тысяч) в реальном масштабе времени и с высокой частотой (периоды опроса – порядка секунд и даже долей секунд). На уровне АСУТП эта информация нужна для оперативного управления технологическим процессом.

Данные технологических процессов специфичны. Они, как правило, могут быть представлены в виде временных рядов «значение – время». Для их сбора и хранения практически любой SCADA-пакет имеет в своем составе подсистему регистрации исторических данных (архив) с возможностью последующей выборки требуемых для анализа данных и их представления в виде трендов.

Но такие архивы не предназначены для длительного хранения больших объемов информации. К тому же, речь здесь идет о так называемых локальных архивах. Архив SCADA-пакета хранит информацию о переменных лишь одного конкретного технологического процесса. Но предприятие имеет в своем составе целый ряд технологических процессов, системы управления которыми выполнены, как правило, на различной программно-аппаратной платформе.

В получении оперативных и объективных технологических данных сегодня заинтересованы практически все службы предприятия. Однако характер необходимой информации различен для различных уровней управления. На верхнем уровне (АСУП) нужна только интегрированная (предварительно подготовленная) информация о технологических процессах (данные типа «нарастающим итогом», средних значений за определенные промежутки времени, общее количество произведенных продуктов и т.д.).

Для хранения такой информации хорошо адаптированы базы данных реляционного типа (РБД). Данные в этих базах статичны, связаны многими отношениями, должны быть легко выбираемы по различным сложным критериям. Однако РБД не приспособлены для хранения огромного количества значений параметров, получаемых от SCADA-систем и накапливаемых за достаточно длительное время (до трех и более лет).

В результате, информация, имеющаяся и успешно используемая в АСУТП, недоступна для верхнего уровня.

Таким образом, назрела необходимость создания и внедрения в процесс управления так называемых *исторических архивов* производственных данных или *баз данных реального времени* (БДРВ) масштаба предприятия.

Во - первых, такие системы должны обеспечить сбор данных с различных источников производственной информации на предприятии (SCADA-систем, DCS-систем, лабораторных систем - LIMS, различных СУБД и т. п.) и их долговременное хранение в едином формате. Во-вторых - обеспечить доступ к информации специалистам и руководителям всех уровней и служб по стандартным протоколам с помощью специализированных клиентских приложений.

Такие системы от различных производителей (в том числе и от производителей SCADA-систем) уже появились в России и с каждым днем находят все более широкое применение. Среди них IndustrialSQL Server – компонент интегрированного пакета FactorySuite (Wonderware), iHistorian – компонент семейства Intellution Dynamics и другие.

- Существует целый ряд задач управления, не перекрываемых ни классом АСУП, ни классом АСУТП. Частично эти задачи не перекрываются из-за отсутствия возможностей программного обеспечения этих уровней системы управления. Среди них находятся и задачи, решение которых может оказать решающее влияние на эффективность предприятия в целом: диспетчеризация производства, оперативное планирование, управление качеством продукции и многие другие.

Наличие базы данных реального времени масштаба предприятия – это только лишь предпосылка для их решения (необходимое, но недостаточное условие). Ряд разработчиков инструментальных систем предлагают использовать с этой целью специальный тип программных продуктов. Это могут быть небольшие системы, предназначенные для решения отдельных типовых задач, например, системы расчета и согласования материальных балансов. Появился ряд интегрированных систем, поддерживающих, наряду с функциями хранения и представления информации, решение задач расчета тепловых и материальных балансов, планирования, оптимизации и т.п. К наиболее известным программным продуктам этого класса ПО относятся InfoPlus компании Aspen Tech, «Калькулятор качества» фирмы ПЕТРОКОМ, PI System (Plant Information System) компании OSIsoft.

Современное развитие информационных технологий (ИТ) создало предпосылки для успешной интеграции всех уровней управления многоуровневой системы и создания интегрированной информационной системы предприятия.

2. Общая характеристика программного обеспечения SCADA

2.1. Основные функции SCADA-систем

Программное обеспечение типа **SCADA** предназначено для разработки и эксплуатации автоматизированных систем управления технологическими процессами. Резонно задать вопрос: а что же все-таки первично – разработка или эксплуатация? И ответ в данном случае однозначен – первичным является эффективный человеко-машинный интерфейс (HMI), ориентированный на пользователя, т. е. на оперативный персонал, роль которого в управлении является определяющей. SCADA – это новый подход к проблемам человеческого фактора в системах управления (сверху вниз), ориентация в первую очередь на человека (оператора/диспетчера), его задачи и реализуемые им функции.

Такой подход позволил минимизировать участие операторов/диспетчеров в управлении процессом, но оставил за ними право принятия решения в особых ситуациях.

А что дала SCADA-система разработчикам? С появлением SCADA они получили в руки эффективный инструмент для проектирования систем управления, к преимуществам которого можно отнести:

- высокую степень автоматизации процесса разработки системы управления;
- участие в разработке специалистов в области автоматизируемых процессов (программирование без программирования);
- реальное сокращение временных, а, следовательно, и финансовых затрат на разработку систем управления.

Прежде, чем говорить о функциональных возможностях ПО SCADA, предлагается взглянуть на функциональные обязанности самих операторов/диспетчеров. Каковы же эти обязанности? Следует сразу отметить, что функциональные обязанности операторов/диспетчеров конкретных технологических процессов и производств могут быть существенно разными, да и сами понятия «оператор» и «диспетчер» далеко не равнозначны. Тем не менее, среди многообразия этих обязанностей оказалось возможным найти общие, присущие данной категории работников:

- регистрация значений основных технологических и хозяйственных параметров;
- анализ полученных данных и их сопоставление со сменно-суточными заданиями и календарными планами;
- учет и регистрация причин нарушений хода технологического

процесса;

- ведение журналов, составление оперативных рапортов, отчетов и других документов;
- предоставление данных о ходе технологического процесса и состоянии оборудования в вышестоящие службы и т. д.

Раньше в операторной (диспетчерской) находился щит управления (отсюда - щитовая). Для установок и технологических процессов с несколькими сотнями параметров контроля и регулирования длина щита могла достигать нескольких десятков метров, а количество приборов на них измерялось многими десятками, а иногда и сотнями. Среди этих приборов были и показывающие (шкала и указатель), и самопишущие (кроме шкалы и указателя еще и диаграммная бумага с пером), и сигнализирующие. В определенное время оператор, обходя щит, записывал показания приборов в журнал. Так решалась задача **сбора и регистрации** информации.

В приборах, обслуживающих регулируемые параметры, имелись устройства для настройки задания регулятору и для перехода с автоматического режима управления на ручное (дистанционное). Здесь же, рядом с приборами, находились многочисленные кнопки, тумблеры и рубильники для включения и отключения различного технологического оборудования. Таким образом решались задачи **дистанционного управления** технологическими параметрами и оборудованием.

Над щитом управления (как правило, на стене) находилась мнемосхема технологического процесса с изображенными на ней технологическими аппаратами, материальными потоками и многочисленными лампами сигнализации зеленого, желтого и красного (аварийного) цвета. Эти лампы начинали мигать при возникновении нештатной ситуации. В особо опасных ситуациях предусматривалась возможность подачи звукового сигнала (сирена) для быстрого предупреждения всего оперативного персонала. Так решались задачи, связанные с **сигнализацией** нарушений технологического регламента (отклонений текущих значений технологических параметров от заданных, отказа оборудования).

С появлением в операторной/диспетчерской компьютеров было естественным часть функций, связанных со сбором, регистрацией, обработкой и отображением информации, определением нештатных (аварийных) ситуаций, ведением документации, отчетов, переложить на компьютеры. Еще во времена первых управляющих вычислительных машин

с монохромными алфавитно-цифровыми дисплеями на этих дисплеях усилиями энтузиастов-разработчиков уже создавались «псевдографические» изображения - прообраз современной графики. Уже тогда системы обеспечивали сбор, обработку, отображение информации, ввод команд и данных оператором, архивирование и протоколирование хода процесса.

Хотелось бы отметить, что с появлением современных программно-технических средств автоматизации, рабочих станций операторов/диспетчеров, функционирующих на базе программного обеспечения SCADA, щиты управления и настенные мнемосхемы не канули безвозвратно в лету. Там, где это продиктовано целесообразностью, щиты и пульта управления остаются, но становятся более компактными.

Появление УВМ, а затем и персональных компьютеров вовлекло в процесс создания операторского интерфейса программистов. Они хорошо владеют компьютером, языками программирования и способны писать сложные программы. Для этого программисту нужен лишь алгоритм (формализованная схема решения задачи). Но беда в том, что программист, как правило, не владеет технологией, не «понимает» технологического процесса. Поэтому для разработки алгоритмов надо было привлекать специалистов-технологов, например, инженеров по автоматизации.

Выход из этой ситуации был найден в создании методов «программирования без реального программирования», доступных для понимания не только программисту, но и инженеру-технологу. В результате появились программные пакеты для создания интерфейса «человек-машина» (Man/Humain Machine Interface, MMI/HMI). За рубежом это программное обеспечение получило название SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – супервизорное/диспетчерское управление и сбор данных), так как предназначалось для разработки и функциональной поддержки АРМов операторов/диспетчеров в АСУТП. А в середине 90-х аббревиатура SCADA (СКАДА) уверенно появилась и в лексиконе российских специалистов по автоматизации.

Оказалось, что большинство задач, стоящих перед создателями программного обеспечения верхнего уровня АСУ ТП различных отраслей промышленности, достаточно легко поддается унификации, потому что функции оператора/диспетчера практически любого производства достаточно унифицированы и легко поддаются формализации.

Таким образом, базовый набор функций SCADA-систем предопределен ролью этого программного обеспечения в системах управления (HMI) и реализован практически во всех пакетах. Это:

- сбор информации с устройств нижнего уровня (датчиков, контроллеров);
- прием и передача команд оператора/диспетчера на контроллеры и исполнительные устройства (дистанционное управление объектами);
- сетевое взаимодействие с информационной системой предприятия (с вышестоящими службами);
- отображение параметров технологического процесса и состояния оборудования с помощью мнемосхем, таблиц, графиков и т.п. в удобной для восприятия форме;
- оповещение эксплуатационного персонала об аварийных ситуациях и событиях, связанных с контролируемым технологическим процессом и функционированием программно-аппаратных средств АСУ ТП с регистрацией действий персонала в аварийных ситуациях.
- хранение полученной информации в архивах;
- представление текущих и накопленных (архивных) данных в виде графиков (тренды);
- вторичная обработка информации;
- формирование сводок и других отчетных документов по созданным на этапе проектирования шаблонам.

К интерфейсу, созданному на базе программного обеспечения SCADA, предъявляется несколько фундаментальных требований:

- он должен быть интуитивно понятен и удобен для оператора/диспетчера;
- единичная ошибка оператора не должна вызывать выдачу ложной команды управления на объект.

2.2. Архитектурное построение SCADA-систем

На начальном этапе развития (80-е годы) каждый производитель микропроцессорных систем управления разрабатывал свою собственную SCADA-программу. Такие программы могли взаимодействовать только с узким кругом контроллеров, и по всем параметрам были **закрытыми** (отсутствие набора драйверов для работы с устройствами различных производителей и средств их создания, отсутствие стандартных механизмов взаимодействия с другими программными продуктами и т. д.).

С появлением концепции открытых систем (начало 90-х) программные средства для операторских станций становятся самостоятельным продуктом.

- Одной из первых задач, поставленных перед разработчиками SCADA, стала задача организации многопользовательских систем управления, то есть систем, способных поддерживать достаточно большое количество АРМ пользователей (клиентов). В результате появилась **клиент - серверная** технология или архитектура.

Клиент - серверная архитектура характеризуется наличием двух взаимодействующих самостоятельных процессов - клиента и сервера, которые, в общем случае, могут выполняться на разных компьютерах, обмениваясь данными по сети. По такой схеме могут быть построены системы управления технологическими процессами, системы обработки данных на основе СУБД и т. п.

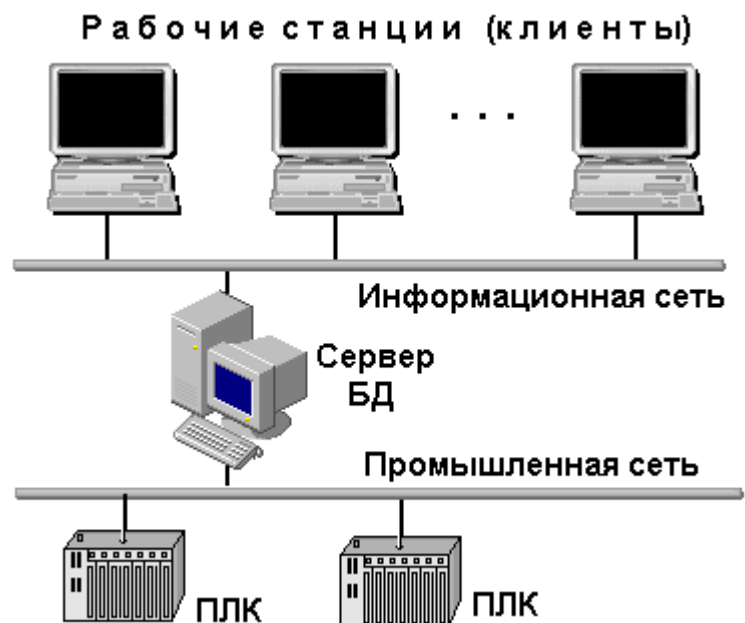


Рис. 2.1. Клиент-серверная архитектура.

Клиент-серверная архитектура предполагает, что вся информация о технологическом процессе от контроллеров собирается и обрабатывается на сервере ввода/вывода (сервер базы данных), к которому по сети подключаются АРМ клиентов.

Под станцией-сервером в этой архитектуре следует понимать компьютер со специальным программным обеспечением для сбора и хранения данных и последующей их передачи по каналам связи оперативному персоналу для контроля и управления технологическим процессом, а также всем заинтересованным специалистам и руководителям. По определению **сервер** является **поставщиком** информации, а **клиент** – ее **потребителем**. Таким образом, рабочие станции операторов/диспетчеров, специалистов, руководителей являются станциями-клиентами. Обычно клиентом служит

настольный ПК, выполняющий программное обеспечение конечного пользователя. ПО клиента - это любая прикладная программа или пакет, способные направлять запросы по сети серверу и обрабатывать получаемую в ответ информацию. Естественно, функции клиентских станций, а, следовательно, и *программное обеспечение*, различны и определяются функциями рабочего места, которое они обеспечивают.

Количество операторских станций, серверов ввода/вывода (серверов БД) определяется на стадии проектирования и зависит, прежде всего, от объема перерабатываемой в системе информации. Для небольших систем управления функции сервера ввода/вывода и станции оператора (HMI) могут быть совмещены на одном компьютере.

В сетевых распределенных системах средствами SCADA/HMI стало возможным создавать станции (узлы) различного функционального назначения: станции операторов/диспетчеров, серверы с функциями HMI, “слепые” серверы (без функций HMI), станции мониторинга (только просмотр без прав на управление) для специалистов и руководителей и другие.

SCADA-программы имеют в своем составе два взаимозависимых модуля: **Development** (среда разработки проекта) и **Runtime** (среда исполнения). В целях снижения стоимости проекта эти модули могут устанавливаться на разные компьютеры. Например, станции оператора, как правило, являются узлами Runtime (или View) с полным набором функций человеко-машинного интерфейса. При этом хотя бы один компьютер в сети должен быть типа Development. На таких узлах проект разрабатывается, корректируется, а также может и исполняться. Некоторые SCADA-системы допускают внесение изменений в проект без остановки работы всей системы. Программное обеспечение SCADA-серверов позволяет создавать полный проект системы управления, включая базу данных и HMI.

- Важным аспектом в структурном построении сетевых систем управления является *структура базы данных реального времени* (централизованная или распределенная). Каждая из структур в SCADA/HMI-системах реализуется разными разработчиками по-разному. От реализации существенно зависят эффективность обеспечения единства и целостности базы данных, ее надежность, возможности модификации и т.д.

В одних случаях для доступа к данным на компьютере-клиенте создается «своя» база данных, копируемая с удаленных серверов.

Дублирование данных может привести к определенным проблемам с точки зрения целостности базы данных и производительности системы управления. При модификации базы данных с такой организацией, например, при введении дополнительной переменной потребуются изменения в каждой сетевой копии, использующей эту переменную.

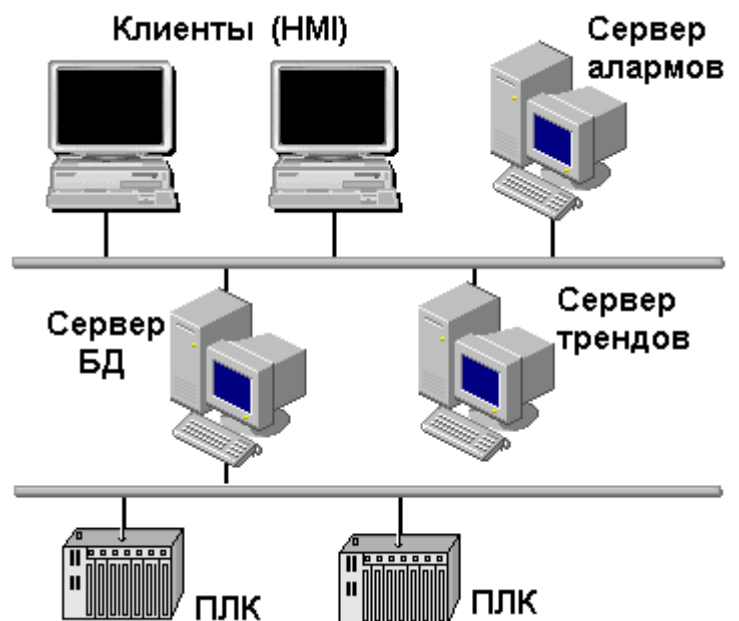
В других случаях компьютерам-клиентам не требуются копии баз данных. Они получают необходимую им информацию по сети от сервера, в задачу которого входит поддержание базы данных. Серверов может быть несколько, и любая часть данных хранится только в одном месте, на одном сервере. Поэтому и модификация базы данных производится только на одном компьютере – сервере базы данных, что обеспечивает ее единство и целостность. Такой подход к структурному построению системы снижает нагрузку на сеть и дает еще целый ряд преимуществ.

- С точки зрения структурного построения SCADA-пакетов различают:
 - системы, обеспечивающие полный набор базовых функций НМІ;
 - системы, состоящие из модулей, реализующих отдельные функции НМІ.

Системы, обеспечивающие полный набор базовых функций, могут комплектоваться дополнительными опциями, реализующими необязательные в применении функции контроля и управления.

Во втором случае система создается полностью модульной (сервер ввода/вывода, сервер алармов, сервер трендов, и т.д.). Для небольших проектов все модули могут исполняться на одном компьютере. В проектах с большим количеством переменных модули можно распределить на несколько компьютеров в разных сочетаниях. Вариант клиент-серверной архитектуры такой системы представлен на рис. 2.2.

В клиент-серверной архитектуре системы управления, представленной на рис. 2.2, функции сбора и хранения данных, управления алармами и трендами распределены между тремя



серверами. Функция HMI реализуется на станциях-клиентах.

Рис. 2.2. Архитектура модульной SCADA.

Например, SCADA **Citect** имеет в своем составе пять функциональных модулей (серверов или клиентов):

- **I/O** - сервер ввода/вывода. Обеспечивает передачу данных между физическими устройствами ввода/вывода и другими модулями **Citect**.
- **Display** - клиент визуализации. Обеспечивает операторский интерфейс: отображение данных, поступающих от других модулей **Citect**, и управление 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 истечении определенного времени, при возникновении определенного события или по запросу оператора.

В одной сети можно использовать только один сервер алармов, сервер трендов и сервер отчетов. В то же время допускается использование нескольких серверов ввода/вывода (**I/O Server**). Количество компьютеров с установленным модулем **Display** (обеспечивающим операторский интерфейс) в сети практически не ограничено.

2.3. SCADA как открытая система

Распространение архитектуры «клиент-сервер» стало возможным благодаря развитию и широкому внедрению в практику концепции открытых систем. Главной причиной появления и развития концепции открытых систем явились ***проблемы взаимодействия программно-аппаратных средств*** в локальных компьютерных сетях. Решить эти проблемы можно было только путем международной стандартизации программных и аппаратных интерфейсов.

- **Концепция открытых систем** предполагает свободное взаимодействие программных средств SCADA с программно-техническими средствами разных производителей. Это актуально, так как для современных систем автоматизации характерна высокая степень интеграции большого количества компонент. В системе автоматизации кроме объекта управления задействован целый комплекс программно-аппаратных средств: датчики и исполнительные устройства, контроллеры, серверы баз данных, рабочие места операторов, АРМы специалистов и руководителей и т. д. (рис. 2.3). При этом в одной системе могут быть применены технические средства разных производителей.

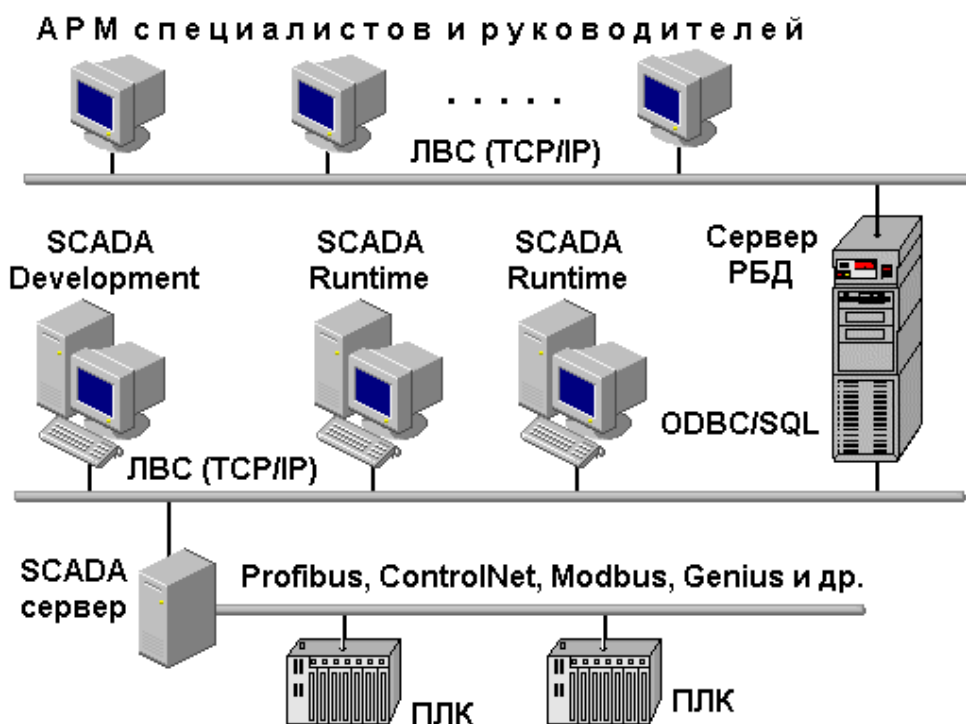


Рис. 2.3. Интеграция SCADA в систему управления.

Очевидно, что для эффективного функционирования в этой разнородной среде SCADA-система должна обеспечивать высокий уровень сетевого взаимодействия.

Реализация этой задачи требует от SCADA-системы **наличия типовых протоколов обмена с наиболее популярными промышленными сетями**, такими, как Profibus, ControlNet, Modbus и другими.

С другой стороны, SCADA-системы должны поддерживать **интерфейс и со стандартными информационными сетями** (Ethernet и др.) с использованием стандартных протоколов (TCP/IP и др.) для обмена данными с компонентами распределенной системы управления.

Практически любая SCADA-система имеет в своем составе базу данных реального времени и подсистему архивирования данных. Но подсистема архивирования не предназначена для длительного хранения больших массивов информации (месяцы и годы). Информация в ней периодически обновляется, иначе для нее просто не хватит места. Рассматриваемый здесь класс программного обеспечения (SCADA - системы) предназначен для обеспечения текущей и архивной информацией оперативного персонала, ответственного за непосредственное управление технологическим процессом.

Информация, отражающая хозяйственную деятельность предприятия (данные для составления материальных балансов установок, производств, предприятия в целом и т. п.), хранится в реляционных базах данных (РБД) типа Oracle, Sybase и т. д. В эти базы данных информация поставляется либо с помощью ручного ввода, либо автоматизированным способом (посредством SCADA-систем). Таким образом, выдвигается еще одно требование к программному обеспечению SCADA - ***наличие в их составе протоколов обмена с типовыми базами данных.***

Наиболее широко применимы два механизма обмена:

- ODBC (Open Data Base Connectivity - взаимодействие с открытыми базами данных) – международный стандарт, предполагающий обмен информацией с РБД посредством ODBC-драйверов. Как стандартный протокол компании Microsoft, ODBC поддерживается и наиболее распространенными приложениями Windows;
- SQL (Structured Query Language) – язык структурированных запросов.
- Программное обеспечение SCADA должно взаимодействовать с контроллерами для обеспечения человеко-машинного интерфейса с системой управления (рис. 2.3). К контроллерам через модули ввода/вывода подключены датчики технологических параметров и исполнительные устройства (на рис. 2.3 не показаны).

Информация с датчика записывается в регистр контроллера. Для ее передачи в базу данных SCADA-сервера необходима специальная программа, называемая драйвером. Драйвер, установленный на сервере, обеспечивает обмен данными с контроллером по некоторому физическому каналу. Но для реализации обмена необходим и логический протокол.

После приема SCADA-сервером сигнал попадает в базу данных, где производится его обработка и хранение. Для отображения значения сигнала

на мониторе рабочей станции оператора информация с сервера должна быть передана по сети клиентскому компьютеру. И только после этого оператор получит информацию, отображенную изменением значения, цвета, размера, положения и т. п. соответствующего объекта операторского интерфейса.

Большое количество контроллеров с разными программно- аппаратными платформами и постоянное увеличение их числа заставляло разработчиков включать в состав SCADA-системы большое количество готовых драйверов (до нескольких сотен) и инструментарий для разработки собственных драйверов к новым или нестандартным устройствам нижнего уровня.

Для взаимодействия драйверов ввода/вывода и SCADA до недавнего времени использовались два механизма (рис. 2.4):

- DDE (Dynamic Data Exchange - динамический обмен данными);
- обмен по собственным (известным только фирме-разработчику) протоколам.

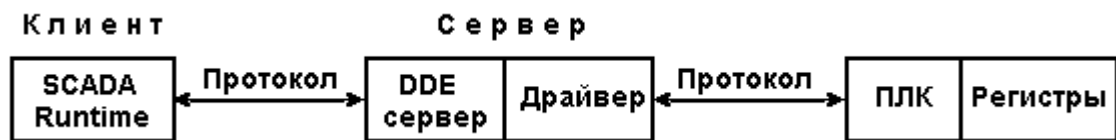


Рис. 2.4. Обмен информацией с помощью DDE-протокола.

Взамен DDE компания Microsoft предложила более эффективное и надежное средство передачи данных между процессами – OLE (см. ниже). А вскоре на базе OLE появился новый стандарт OPC, ориентированный на рынок промышленной автоматизации.

• OPC-интерфейс

OPC – это аббревиатура от **OLE** for **P**rocess **C**ontrol (OLE для управления процессами). Технология OPC основана на разработанной компанией Microsoft технологии OLE (Object Linking and Embedding – встраивание и связывание объектов). Под объектами здесь подразумеваются так называемые **компоненты**, которые представляют собой готовые к использованию мини-приложения. Встраивая и связывая эти компоненты, можно разрабатывать **приложения компонентной архитектуры**. Этот новый подход к разработке приложений, предложенный компанией Microsoft, получил название технологии **COM** (Component Object Model – модель компонентных объектов). Теперь приложение-клиент может удаленно вызывать те или иные функции этих объектов так, как будто

объекты находятся «рядом». Объект может находиться и в самом деле рядом (в адресном пространстве приложения) - тогда это просто **COM**.

Если же объект находится в другой программе на том же компьютере или на другом узле сети, то это **DCOM-Distributed** (распределенная) **COM**.

Так что же такое **OPC** ? **OPC** представляет собой коммуникационный стандарт, поддерживающий взаимодействие между полевыми устройствами, контроллерами и приложениями разных производителей. Стандарт **OPC** описывает компонентные объекты, методы и свойства (базирующиеся на технологии OLE/COM) для серверов данных реального времени, таких как PLC, DCS, систем архивирования данных и других, и обеспечивает передачу информации, содержащейся на этих серверах, стандартным OLE-клиентам.

OPC-взаимодействие основано на клиент-серверной архитектуре. **OPC**-клиент (например, **SCADA**), вызывая определенные функции объекта **OPC**-сервера, подписывается на получение определенных данных с определенной частотой. В свою очередь, **OPC**-сервер, опросив физическое устройство, вызывает известные функции клиента, уведомляя его о получении данных и передавая сами данные. Таким образом, при **OPC**-взаимодействии используются как прямые **COM**-вызовы (от клиента к серверу), так и обратные (от сервера к клиенту).

Более популярно изложить идею технологии **OPC** можно на примере стандартов на шины для персонального компьютера (ПК). К шине ПК можно подключать широкий класс устройств, производимых целым рядом компаний, и все они будут иметь возможность взаимодействовать друг с другом, поскольку используют одну и ту же **стандартную** шину. Также и унифицированный интерфейс **OPC** позволяет различным программным модулям, производимым самими различными компаниями, взаимодействовать друг с другом.

OPC-сервер отвечает за получение данных от соответствующего устройства управления процессом. На каждом сервере имеется некоторое количество **OPC**-групп, которые представляют собой логические коллекции данных, запрос на получение которых поступает от клиента. Группы на сервере могут быть доступны нескольким клиентам одновременно или лишь одному клиенту.

Каждая **OPC**-группа содержит набор **OPC**-элементов, в которых хранятся данные, поступившие от соответствующего устройства управления процессами. Запрос клиента серверу на получение данных реализуется

посредством указания идентификатора элемента. Идентификаторы элементов – свои у каждого сервера. По уникальному идентификатору сервер умеет находить нужное значение в соответствующем устройстве (например, контроллере). Для ПЛК идентификатор элемента обычно соответствует номеру регистра. Дополнительно сервер может снабжать полученные данные меткой времени.

Использование технологии OPC в настоящее время возможно лишь в операционных системах, построенных на технологии OLE/COM, т.е. в ОС Microsoft Windows 95/98 и Windows NT. Идут разработки поддержки этой технологии для операционной системы UNIX.

Таким образом, любое устройство, для которого есть **OPC**-сервер, может использоваться вместе с любой современной **SCADA**-системой, реализованной на платформе MS Windows.

Развивающая стандарт OPC некоммерческая организация OPC Foundation (<http://www.opcfoundation.org>), насчитывает свыше 200 членов. В нее входят почти все ведущие мировые производители программно-аппаратных средств автоматизации.

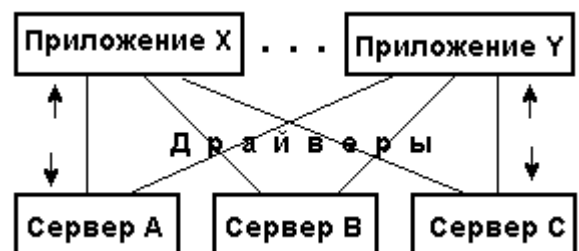
Хотя стандарт **OPC** и основан на универсальном фундаменте - **COM/DCOM**, он разрабатывался специально для использования в промышленной автоматизации и поэтому имеет вполне содержательную концептуальную сторону.

Стандарт состоит из трех основных спецификаций:

- доступ к данным реального времени (Data Access);
- обработка тревог и событий (Alarms & Events);
- доступ к историческим данным (Historical Data Access).

Соответственно, OPC-серверов тоже может быть три вида, хотя допускается совмещать все эти функции в одном сервере. OPC-серверы физических устройств обычно являются только серверами данных.

Раньше разработчикам клиентских приложений приходилось писать множество драйверов (см. рис. справа) для взаимодействия с каждым из используемых управляющих устройств (контроллеров).



Стандарт OPC позволяет написать лишь один-единственный драйвер (рис. справа) для доступа к данным, поступающим в едином формате от самых различных источников.



OPC-интерфейс допускает различные варианты обмена: с физическими устройствами, с распределенными сетевыми системами управления и с любыми приложениями (рис.2.5). На рынке имеются и инструментальные пакеты для написания OPC-компонентов.

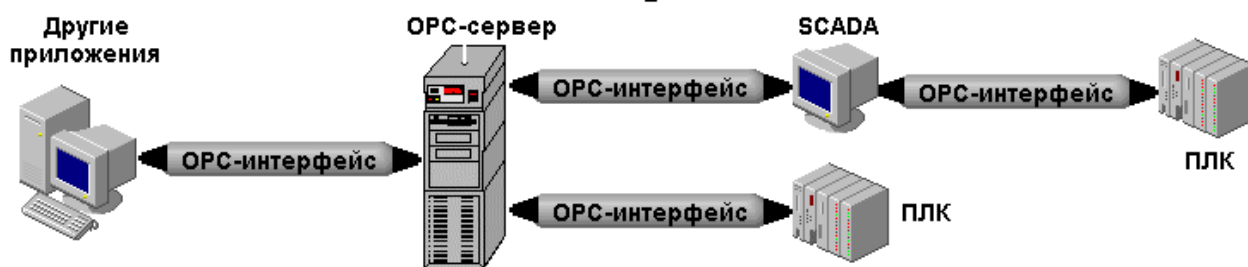


Рис. 2.5. Обмен данными по OPC-интерфейсу.

Использование технологии OPC позволяет конечным пользователям выбирать программно-аппаратные средства, наиболее отвечающие их потребностям, независимо от того, кто их производит.

Другим преимуществом описываемой технологии является то, что при ее использовании снижаются риски и стоимость интеграционных работ. Все используемые в системе компоненты работают на одной и той же технологии.

- При разработке систем автоматизации может потребоваться создание собственных программных модулей (не предусмотренных в SCADA-системе) и их включение в систему автоматизации. Поэтому свойство открытости SCADA-систем является очень важной характеристикой программных продуктов этого класса. Открытость SCADA-системы означает возможность доступа к спецификациям системных вызовов, реализующих тот или иной системный сервис. Это может быть и доступ к графическим функциям, функциям работы с базами данных и т.д.

С другой стороны, сегодня в мире существует множество компаний, занимающихся разработкой различных программных компонентов для

SCADA-систем, например, ActiveX-объектов. Их использование при разработке систем автоматизации упрощает и ускоряет процесс проектирования. Этот процесс все больше начинает напоминать процесс «сборки» прикладного программного обеспечения из готовых компонентов. Снижаются требования к квалификации программистов – количество задач, решаемых системой с помощью программ собственной разработки на высокоуровневых языке типа C или Visual Basic уменьшается. Все это способствует расширению области применения SCADA-систем.

- **ActiveX-объекты**

ActiveX – это технология Microsoft, основанная на COM/DCOM (см. выше) и предназначенная для написания сетевых приложений. Она предоставляет программистам наборы стандартных библиотек, значительно облегчающих процесс кодирования.

Стандарт ActiveX позволяет программным компонентам взаимодействовать друг с другом по сети независимо от языка программирования, на котором они написаны (Visual Basic, Visual C++, Borland Delphi, Borland C++, любые средства разработки на Java).

ActiveX обеспечивает некий «скрепляющий раствор», с помощью которого отдельные программные компоненты на разных компьютерах «склеиваются» в единую распределенную систему.

Технология ActiveX включает в себя клиентскую и серверную части.

Серверная часть технологии ActiveX реализована с помощью Microsoft **Internet Information Server (IIS)**.

Клиентская технология ActiveX реализуется на машине-клиенте с помощью библиотек, поставляемых вместе с Microsoft **Internet Explorer**, являющимся полнофункциональным Web-браузером (WWW - World Wide Web) и **контейнером** для ActiveX-элементов. Сегодня технология ActiveX успешно внедряется в системы, функционирующие на Windows-платформе. Нет сомнения, что в ближайшее время эти технологии будут использоваться и на других платформах, так как информационные технологии развиваются очень высокими темпами.

Какое же отношение технология ActiveX имеет к SCADA-системам? Разработчики SCADA-программ на платформе WindowsNT/2000/XP воспользовались этой технологией Microsoft. Сейчас уже многие SCADA являются контейнерами для ActiveX-объектов. А это значит, что огромное количество готовых к многократному использованию ActiveX-объектов,

создаваемых многочисленными производителями подобного программного продукта, могут встраиваться с минимальным программированием в SCADA-приложения. И тогда процесс разработки человеко-машинного интерфейса будет напоминать работу с конструктором, заключающуюся в подборе и встраивании готовых компонентов.

В режиме исполнения ActiveX-компоненты поддерживают динамический обмен данными с другими сетевыми программно-аппаратными компонентами по OPC-интерфейсу.

Пример ActiveX-объекта приведен на рис. 2.6.

Рис. 2.6. ActiveX-объект «Сводка сигнализации».

Итак, открытость программного обеспечения SCADA обеспечивается целым рядом факторов, а именно:

- возможностью создания собственных программных модулей и использования программных модулей разработки других компаний;
- наличием специальных драйверов для связи SCADA с наиболее популярными контроллерами разных фирм;
- наличием специальных инструментальных средств для создания новых драйверов;
- возможностью их работы в типовых операционных системах;
- наличием типовых программных интерфейсов (DDE, OLE, OPC, ActiveX, ODBC, SQL и др.), связывающих ПО SCADA с другими программно-аппаратными средствами системы управления, включая и СУБД.

Сейчас уже можно сказать, что современные системы SCADA/HMI хорошо структурированы и представляют собой готовые к применению и согласованные по функциям и по всем интерфейсам наборы программных продуктов и вспомогательных компонентов.

2.4. Организация доступа к SCADA-приложениям

SCADA-приложения, по определению, являются потребителями технологических данных, но, с другой стороны, они должны быть и их источником. Информация со SCADA-приложений потребляется многочисленными клиентами (прежде всего, специалистами и руководителями среднего звена).

Для автоматизированного доступа к информации реального времени с любого рабочего места необходимо установить компьютер, подключенный к локальной сети. Организованное таким образом автоматизированное рабочее место (АРМ) предназначено для реализации вполне определенных функций. Поэтому программное обеспечение компьютера (системное и прикладное) должно обеспечить соответствующий данному АРМ набор пользовательских услуг. К их числу можно отнести:

- объем предоставляемой информации;
- форма представления информации;
- реализуемые функции (только информационные или с возможностью выдачи управляющих воздействий);
- протяженность и надежность канала связи «источник-потребитель»;
- простота освоения пользователем и т.д.

В периодической прессе последних лет за системным и прикладным программным обеспечением, которое необходимо компьютеру АРМ для получения удаленного доступа к производственной информации, закрепился термин «клиентское приложение». Клиентские приложения различного типа могут предоставлять информацию в любом объеме и приемлемом для пользователя виде.

Клиент-серверная организация SCADA-систем предполагает применение клиентских приложений двух типов: с возможностью передачи управляющих воздействий с клиентского приложения и чисто мониторинговые приложения. Пользователю необходимо лишь определить достаточный набор услуг.

Но за услуги, как известно, надо платить. Поэтому весьма существенным критерием при организации клиентского узла (АРМ) является его стоимость (аппаратное и программное обеспечение).

В настоящее время существует несколько решений поставленной задачи, базирующихся на применении различных технологий. Но и стоимость

предлагаемых решений тоже различна. Отсюда и появились такие понятия, как «бедные/богатые и тонкие/толстые клиенты».

Самыми простыми и распространенными клиентскими приложениями в настоящее время являются клиенты в локальной сети (рис. 2.7). Такие клиентские приложения в SCADA-системах традиционно объединяются с серверными приложениями протоколами локальных сетей. Часто таким протоколом является TCP/IP.

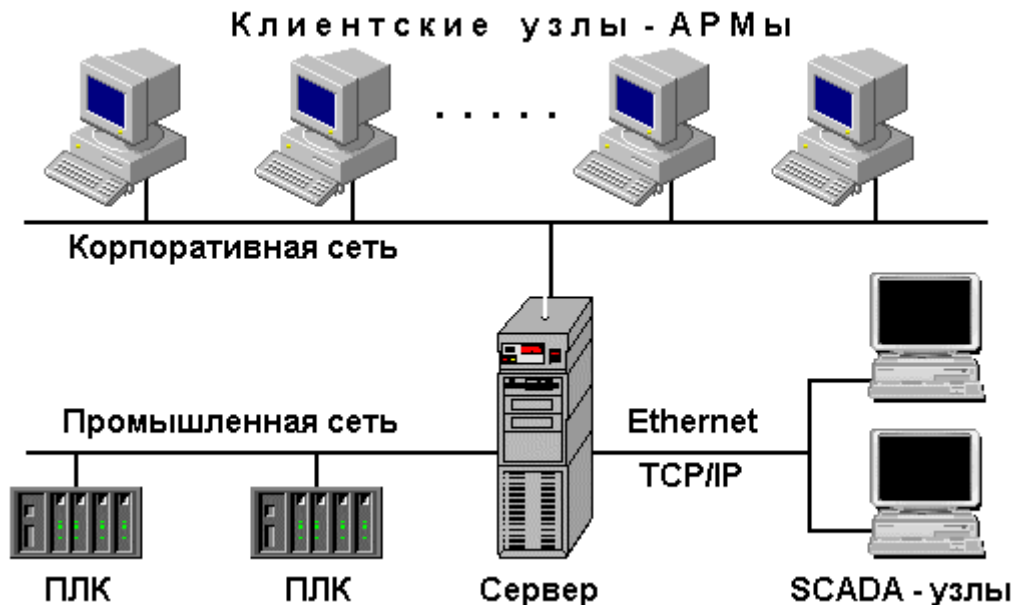


Рис. 2.7. Организация доступа к информации через локальную сеть.

Большинство современных SCADA-пакетов работает на платформах Windows 2000/NT/XP. Отсюда следует, что для организации АРМ потребуется компьютер достаточно хорошей конфигурации и лицензионное программное обеспечение SCADA. Когда речь идет об организации большого количества автоматизированных рабочих мест на базе программного обеспечения SCADA, то такое решение может оказаться дорогостоящим («богатые» клиенты). К тому же, большинство пользователей SCADA-приложений, в отличие от операторов/диспетчеров, относится к категории нерегулярных, т. е. подключается к системе периодически по мере необходимости.

Технология сервер/терминал

Постоянное появление новых версий программного обеспечения, предъявляющих все более высокие требования к производительности клиентских ПК, привело к тому, что некоторые компании-разработчики программного обеспечения решили разработать технологию, которая бы

обеспечила выполнение всех высокопроизводительных вычислений на сервере, оставляя клиентским компьютерам роль терминалов. Наиболее удачные решения предложили корпорация Microsoft (Windows 2000 Terminal Services) и компания Citrix (Metaframe). ПО Metaframe - это дополнение к Windows 2000 Terminal Services, которое дает возможность использовать на клиентских компьютерах операционные системы, отличные от Windows, например, Linux или Macintosh.

Технология сервер/терминал поддерживает режим клиентских сессий, когда один сервер обслуживает несколько клиентов, функционирующих независимо друг от друга. При этом каждый терминал получает свой ресурс: память, время центрального процессора, доступ к дискам сервера и приложениям. Когда клиент запускается, терминальный сервер регистрирует его, предоставляя доступ к ресурсам сервера. Windows Terminal Server создает виртуальный дисплей, изображение которого отображается на локальном мониторе. Операции ввода, активизируемые клиентом с клавиатуры и мыши, обслуживаются сервером. Добавление нового клиента заключается лишь в подключении нового терминала к сети.

Терминальные пользователи имеют доступ к данным, мнемосхемам, трендам, алармам с возможностью обмена информацией в реальном времени без необходимости установки SCADA-системы на локальном компьютере (терминале). Таким образом, речь идет о технологиях терминального доступа с использованием так называемых «тонких» клиентов.

Терминал может играть роль как станции оператора/диспетчера, так и АРМ нерегулярных пользователей (технологов, специалистов службы КИП и т. п.), которые могут иметь доступ к необходимой оперативной информации о технологическом процессе и оборудовании (рис. 2.8).

Для организации взаимодействия между сервером и терминалом/клиентом используются стандартные протоколы:

- для ОС Windows - Microsoft RDP (Remote Desktop Protocol);
- для ОС Linux/CE - Citrix ICA (Independent Computing Architecture).

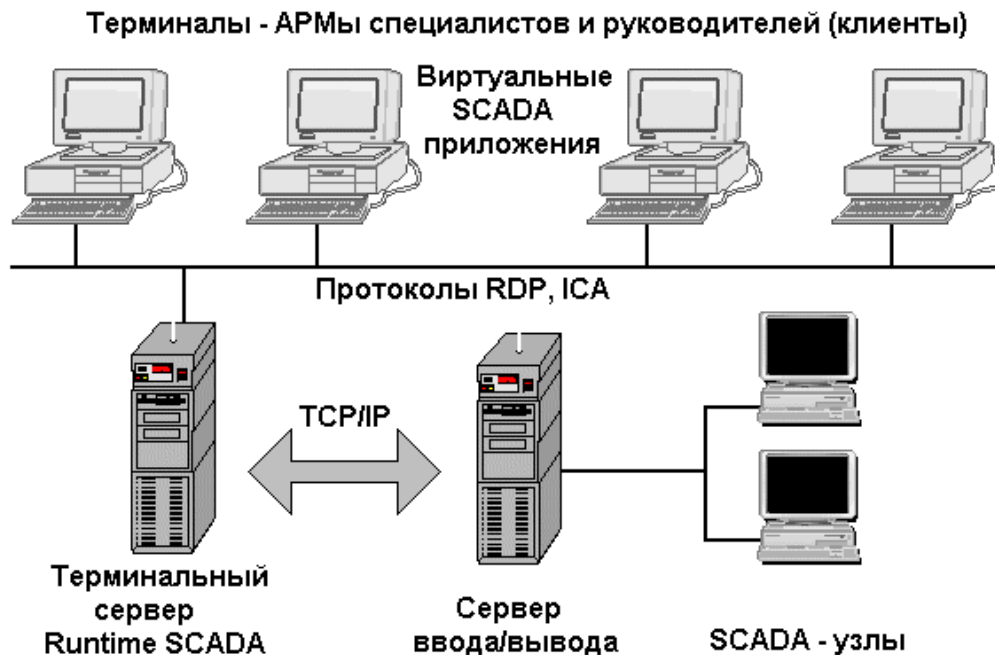


Рис. 2.8. Архитектура терминал-сервер.

Благодаря терминальным протоколам в качестве клиентов можно использовать рабочие станции, начиная с «супер-тонких» бездисковых, работающих на платформах Linux/CE, Windows 3.11/95/98, до станций, функционирующих под управлением Windows NT/2000.

Применение терминал/серверной технологии позволяет создавать более экономичные решения за счет того, что:

- приложения устанавливаются и поддерживаются администратором только на сервере;
- обновление программного обеспечения выполняется только один раз и только на сервере;
- терминальные клиенты могут быть реализованы на различных и, что особенно важно, недорогих платформах.

При работе в терминальном режиме вся обработка информации производится на сервере. Его конфигурация зависит от установленных на сервере приложений и от количества обслуживаемых им терминалов. При обработке высокоскоростных приложений для большого количества терминалов (десятки) может потребоваться достаточно дорогостоящий сервер (большая оперативная память).

Используя новые архитектурные возможности, компании-разработчики SCADA-систем стали предлагать терминальные сервисы, поддерживающие выполнение SCADA-приложений в режиме сессии. Компания Wonderware

внедрила терминал-серверную технологию для SCADA-системы InTouch версии 7.1. Появление версий iFIX (Intellution/GE Fanuc), поддерживающих ОС Windows 2000, открыло возможность применения ПО iClient Terminal Server для поддержки много сеансовой работы «тонких» клиентов. Не отстали и другие ведущие производители SCADA-продуктов.

Internet/Intranet- технологии

Очевидным плюсом сети **Internet** является ее уникальная протяженность и распределенность, что позволяет передавать информацию через тысячи километров между любыми двумя точками земного шара. Кроме этого, сеть отличается уникальной стандартизацией передаваемых данных, что обеспечивает одинаковую читаемость, информативность и однозначность передаваемых данных вне зависимости от операционной системы, в которой работает компьютер – Windows 9x/NT/2000, Unix или OS/2. Эту возможность дает применение стандартного протокола передачи TCP/IP.

Однако наряду с достоинствами **Internet** следует отметить и основной недостаток - очень низкая скорость передачи данных. Сочетание различных физических сред передачи информации и таких свойств протокола TCP/IP как неопределенность времени получения ответа ведут к тому, что передаваемая информация будет передана правильно и без потерь, но заранее сказать, какое время это займет, нельзя. Очевидно, что Internet -технологии мало подойдут для применения в системах с быстротекущими процессами, однако там, где время не является критичным, Internet является приемлемым решением по обеспечению своевременной и точной информацией оператора системы, инженера-технолога или руководителя.

Удобство и популярность Internet стали основной причиной того, что Web-технологии начали активно применяться во внутренних информационных системах предприятий. Каждое предприятие рано или поздно сталкивается с необходимостью автоматизации своей деятельности. Одной из первых ставится задача централизованного хранения информации и доступа к ней. Если раньше такие технологии использовались лишь на самом верхнем уровне управления - АСУП, то в последнее время все большее распространение они получают и в системах уровня АСУ ТП (в системах класса SCADA/HMI).

Внутренние информационные системы предприятия, построенные с использованием Web-технологий, получили собственное название – «Intranet» (интранет - внутренняя сеть). Интранет совсем не обязательно должна ограничиваться локальной сетью предприятия - она может объединять несколько предприятий, находящихся на значительных расстояниях. Отличие Intranet от Internet заключается в том, что ее информационные ресурсы и пользователи объединены общими задачами и принадлежностью одному коллективу.

Так какие же конкретно технологии и системы можно применить для совместной работы систем АСУ ТП на уровне HMI/SCADA и Интернет? Ниже предлагается краткий обзор уже существующих и на практике широко используемых технологий на базе Internet.

- Самым простым, но очень действенным методом интеграции HMI/SCADA в Интернет является **использование электронной почты** в качестве средства оповещения при появлении новых записей в журнале тревог. Этими возможностями обладают большинство SCADA-систем, имеющихся сейчас на рынке. Электронная почта, кроме прямой отправки письма адресату через Интернет, может использовать и различные «перевалочные пункты», например, шлюзы пейджинговых компаний для отправки сообщения непосредственно на пейджер адресата.

- Гораздо более информативной является возможность **генерирования отчетов** о текущем положении дел на объекте в стандарте HTML. Для использования этого метода SCADA-система формирует отчет с диаграммами, графиками, таблицами в виде HTML-файла, который сохраняется на диске (локального или удаленного компьютера). Периодичность обновления отчета зависит только от настроек SCADA-системы и не очень влияет на производительность остальных компонентов системы управления. Сохраненный файл, в свою очередь, может использоваться Web-сервером для предоставления доступа к этим данным через сеть Интернет из любой точки земного шара, используя обыкновенный Web-браузер. Метод не предполагает возможности воздействовать на объект через систему автоматизации, доступны лишь функции мониторинга.

- Большие возможности предоставляет **супервизорное управление** через Интернет. Для осуществления этого метода управления системой АСУ ТП необходима SCADA-система, поддерживающая функции управления по сети TCP/IP. При этом функционирующая на удаленном компьютере

SCADA- система должна иметь в своем распоряжении копию проекта, включая описание используемых переменных, графические объекты, скрипты и т. п. («толстые» клиенты). В этом случае пересылаемые по сети Internet данные будут содержать только текущие значения параметров, считанных из контроллеров (сбор данных), и команды удаленного компьютера (управление). Примерами реализации таких систем могут служить программы WebCast (фирма Intellution, пакет iFix), NetLink (AdAstra, Trace Mode) и Scout (Wonderware, InTouch).

- Другую концепцию предлагает метод связи через **браузер (Web-browser)**. В этом случае используется технология так называемого «тонкого» клиента. При установке связи между Web-браузером и SCADA-сервером в локальный компьютер осуществляется загрузка данных о работающем в системе проекте (включая графические объекты). В этом случае вся математическая обработка данных происходит на удаленном сервере, на локальном же компьютере идет только представление данных, используя ActiveX или другую Web-технологию. Примером реализации могут служить наборы подключаемых модулей WebClient (US Data, FactoryLink/MonitorPro), WebActivator (AdAstra, Trace Mode).

- Особое место в Web-технологиях занимает **сбор данных через Интернет от удаленных контроллеров**. Этот метод фактически соответствует традиционно принятой структуре построения АСУ ТП с использованием SCADA-систем, но в данном случае между самой системой и ПЛК может лежать не одна тысяча километров. В такой конфигурации может работать любая SCADA-система, умеющая посылать сообщения по протоколу TCP/IP (что могут делать практически все системы). Аналогично и ПЛК могут работать в такой системе, если они имеют Ethernet или последовательный порт с поддержкой TCP/IP. Практически все крупнейшие производители контроллеров имеют такие модели.

- Совершенно новой технологией для управления через Интернет являются **встраиваемые в ПЛК Web-серверы**. Сейчас можно говорить лишь о наметившихся перспективах. Одна из главных особенностей этой «революционной» технологии (кроме универсальности связи с ПЛК) - отказ от использования SCADA-систем. Web-сервер находится в контроллере, который подключен непосредственно к сети Internet. Имеющийся в контроллере сопроцессор осуществляет формирование необходимых HTML-страниц и связывает их с данными, поступающими с объекта. Однако в

данном случае основная тяжесть работы по обработке данных будет ложиться на плечи самого контроллера, который вынужден будет кроме первичной обработки данных осуществлять и вторичную обработку, что может потребовать применения гораздо более мощного процессора ПЛК, чем в случае работы без Web-сервера.

Во всех Internet/Intranet-решениях по обмену данными кроме технологического сервера как *поставщика* данных и клиента как *получателя* информации задействован **Web-сервер** (рис. 2.9). Информация на сервере хранится в виде страниц, на которых, кроме текста, могут находиться разные объекты: графические изображения, аудио - и видеоролики, формы для ввода данных, интерактивные приложения и т.д.

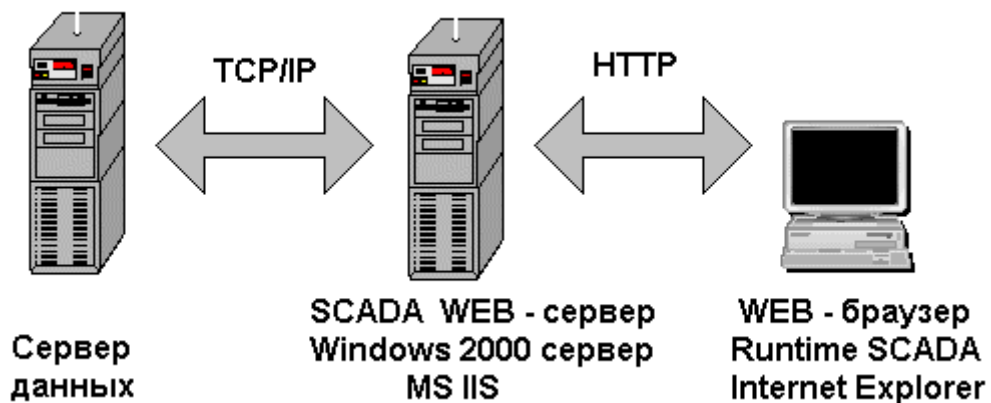


Рис. 2.9. Интеграция SCADA и Internet.

Взаимодействие между Web-сервером и клиентами осуществляется на основе протокола HTTP (HyperText Transfer Protocol - протокол передачи гипертекста).

Для просмотра приложений Web-клиентом могут использоваться навигатор Microsoft Internet Explorer соответствующей версии или SCADA-система в режиме Runtime.

Web-сервер работает на базе Microsoft Internet Information Server (IIS) и связывает установленные на нем приложения с Internet.

Практически все ведущие фирмы-разработчики SCADA-систем занимаются созданием программных продуктов с использованием Internet-технологий, в том числе и технологий с использованием «тонких» клиентов.

2.5. Интегрированные SCADA-системы

Одним из наиболее значимых факторов развития SCADA-систем становится то, что некоторые ведущие производители *расширяют функции SCADA «по вертикали» иерархии* многоуровневой системы управления.

С одной стороны, идет расширение функций в сторону непосредственного управления технологическими процессами (автоматическое регулирование и программно-логическое управление). Функции непосредственного управления реализуются в пакетах прикладных программ как для контроллеров, построенных на основе PC-совместимых контроллеров (SoftPLC), так и для компьютерной реализации функций непосредственного управления (SoftControl).

Широкое использование IBM PC платформы в контроллерах (softlogic) началось в 90-х годах XX века и было обусловлено многими факторами, один из которых – лучшее соотношение «производительность - цена». А для России того времени это было определяющим. И вот отечественная фирма AdAstrA интегрирует свою SCADA-систему с системой программирования PC-контроллеров. Так появилась новая технология сквозного программирования компонентов нижнего и верхнего уровней АСУТП.

Говоря о компьютерной реализации функций непосредственного автоматического управления технологическим процессом, следует отметить, что практически все известные инструментальные SCADA-системы обеспечивают эту возможность. Хотя такое совмещение и позволяет экономить на аппаратных средствах, оно может иметь ряд негативных последствий. Во-первых, операционная система операторской станции может не обеспечить необходимую для конкретного технологического процесса скорость реакции SCADA-системы. Во-вторых, никто не гарантирован от «зависания» системы, хотя для некоторых объектов (инерционных) это может быть и не критично.

С другой стороны, первичная информация, собранная SCADA-системами от технологических установок и производств для принятия оперативных (тактических) решений на уровне операторов/диспетчеров, должна быть доступна в **реальном времени всем уровням управления** с целью ее анализа и принятия управленческих (стратегических) решений. Но до недавнего времени в силу различных причин (подробнее см. главу 4) эта задача не была решена, что являлось существенным тормозом повышения эффективности предприятий.

Для ее решения на рынке программных продуктов стал появляться новый класс программного обеспечения – интегрированные пакеты

промышленной автоматизации. В этих пакетах SCADA/HMI является лишь одним из компонентов. Другой важнейший компонент таких систем – базы данных реального времени или архивы исторических данных, предназначенные для хранения огромных массивов информации с возможностью доступа к ней с различных АРМ. Сюда же можно отнести специализированные пакеты для управления периодическими процессами, для выявления и минимизации простоев оборудования, для просмотра производственной информации с помощью Интернет-технологий и т. п.

К классу интегрированных систем можно отнести такие программные продукты ведущих производителей SCADA, как FIX Dynamics (Intellution/GE Fanuc), FactorySuite 2000 (Wonderware) и другие. Эти системы представляют собой мощные программные комплексы, обеспечивающие интеграцию системы управления производством в целом. Использование в системах разных уровней единого стиля оформления, единой терминологии, инструментария, служебных средств и т. д. значительно облегчают разработчикам проектирование систем, а предприятиям - их освоение и эксплуатацию.

2.6. Надежность SCADA-систем

Понятие *надежности* SCADA-пакетов включает в себя два аспекта: надежность самого программного продукта SCADA и возможность программного резервирования компонентов системы в различных вариантах.

Надежность SCADA-пакета определяется несколькими характеристиками: надежностью операционной системы, наличием средств сохранения данных и конфигурации при сбоях, наличием средств автоматического перезапуска системы.

По надежности современные SCADA-продукты, также как и по функциональности, незначительно отличаются друг от друга. Тем не менее, при выборе пакета можно обратить внимание на список его внедрений. Наличие в таком списке проектов для опасных и ответственных производств, проектов с большим числом параметров, территориально и функционально распределенных АРМов говорит о достаточно высокой надежности SCADA-пакета.

Но система управления может полностью выйти из строя не только по причине отказа программного обеспечения, но и оборудования.

Получившая наиболее широкое распространение распределенная система управления, представленная на рис. 2.10, выйдет из строя, если всего лишь в одном компоненте (сервере) возникнет неисправность.

Реализация SCADA-пакетами функций резервирования позволяет устранять отказы в системе без потери ее функциональных возможностей и производительности. Программное обеспечение SCADA поддерживает реализацию резервирования различных компонентов системы управления как вследствие особенности архитектуры, так и наличия встроенных механизмов.

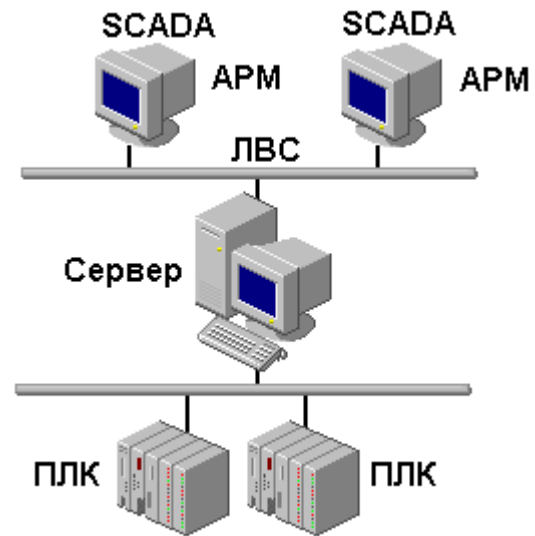


Рис. 2.10. Сетевая архитектура SCADA.

- **Дублирование сервера ввода/вывода**

Для повышения надежности системы управления достаточно явно просматривается вариант с резервированием сервера (рис.2.11). Здесь возможны два варианта. В одном случае оба сервера (основной и резервный) взаимодействуют с устройствами ввода/вывода, удваивая нагрузку на промышленную сеть и снижая производительность системы. В штатном режиме клиенты взаимодействуют с основным сервером. При выходе его из строя они направляют свои запросы к резервному серверу.

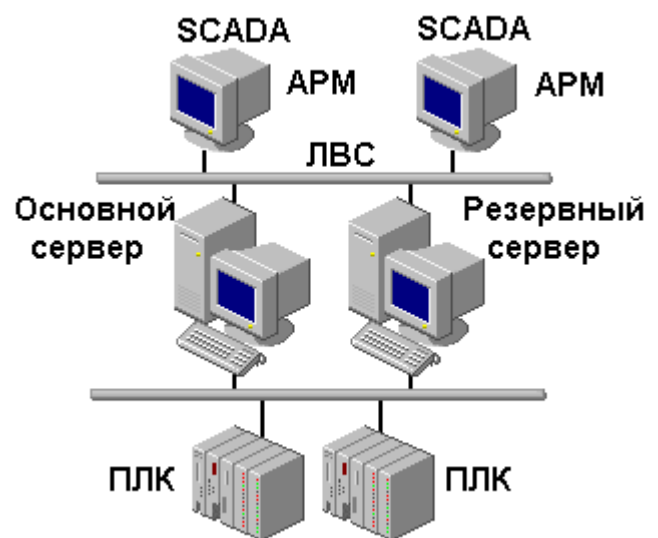


Рис. 2.11. Резервирование сервера.

В распределенной клиент-серверной архитектуре SCADA-систем лишь один (основной) сервер взаимодействует с контроллерами. При этом основной сервер постоянно обновляет базу данных резервного сервера, обеспечивая его постоянную готовность.

• Резервирование сети и контроллеров

Структура, приведенная на рис. 2.11, увеличивает надежность системы, устраняя одно из основных «слабых» мест – отказ сервера. Другим «слабым» местом распределенной системы управления может быть сама сеть. Выход ее из строя нарушает управление, так как станции операторов/диспетчеров в этом случае оказываются отрезанными от системы. Повышение надежности системы управления обеспечивается дополнительной сетью (рис. 2.12).

Большинство контроллеров может поддерживать дополнительную (резервную) связь с сервером ввода/вывода. При отказе основного канала гарантируется обмен данными между контроллером и сервером. Достичь полного резервирования можно путем дублирования контроллеров (рис. 2.12).

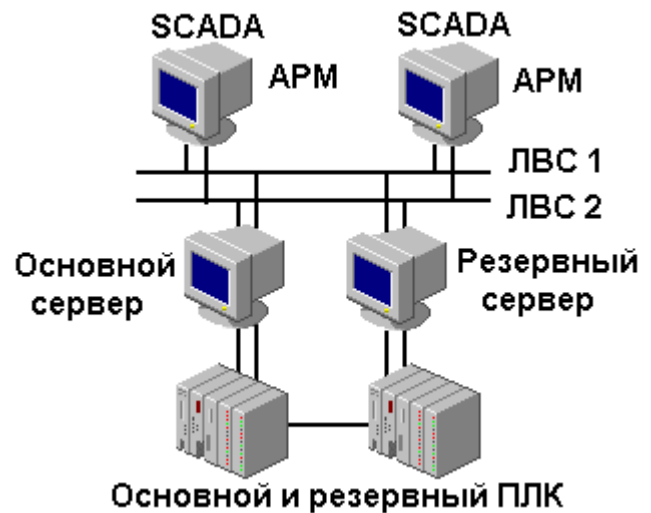


Рис. 2.12. Варианты резервирования.

Рассмотренные выше способы повышения надежности системы управления хорошо известны. Важным здесь является то, что именно встроенные в SCADA-систему механизмы позволяют конфигурировать распределенную клиент-серверную архитектуру, определяя на стадии проектирования основные и резервные устройства системы управления. А в режиме исполнения именно SCADA-система определяет неисправность того или иного компонента системы и автоматически производит переключение на резервное оборудование, предупреждая об этом оперативный персонал.

2.7. Программно-аппаратная платформа

К этой группе можно отнести следующие характеристики: компьютерная платформа, операционная система, конфигурация компьютера (частота процессора, требуемые ресурсы оперативной и дисковой памяти), возможность переноса приложений в другую операционную систему.

Анализ платформ и операционных систем необходим, поскольку они определяют возможность распространения SCADA-системы на имеющиеся

вычислительные средства и стоимость системы.

Программное обеспечение SCADA, как и любое другое ПО, выполняется под управлением той или иной операционной системы. Какая же операционная система наиболее приемлема для программного обеспечения верхнего уровня? Обязательно применение ОСПВ или достаточно операционной системы общего назначения? Этот вопрос обсуждался на протяжении нескольких лет в различных периодических изданиях, посвященных автоматизации технологических процессов. В итоге, компромисс найден: требования к параметрам операционной системы должны определяться автоматизируемым объектом и прикладной задачей.

С одной стороны, в нефтегазовой отрасли существует довольно широкий класс инерционных объектов. Нельзя также и забывать, что неотъемлемой частью верхнего уровня АСУ ТП является человек, время реакции которого на события недетерминировано и зачастую достаточно велико. И, наконец, нельзя не учитывать тенденции развития мирового рынка программного обеспечения.

В результате, подавляющее большинство SCADA-систем реализовано (и об этом уже говорилось в главе 1) на MS Windows-платформах (Windows NT/2000). Это и InTouch, и FIX, и Genesis, и российский Трейс Моуд. Из четырнадцати систем, приведенных выше, двенадцать предназначены для работы в различных вариантах ОС MS Windows. Здесь, безусловно, сказались позиции компании Microsoft на рынке операционных систем. Известно, что именно компания Microsoft была и остается «законодателем моды» в этом классе программного обеспечения.

А вот такие популярные SCADA-системы, как RealFlex, Sitex, RTWin функционируют под управлением операционной системы реального времени QNX. Эта ОСПВ для IBM PC является одной из наиболее широко используемых при построении систем управления и сбора данных прежде всего за счет того, что гарантирует время реакции системы в пределах от нескольких десятков микросекунд до нескольких миллисекунд (в зависимости от быстродействия ПЭВМ и версии QNX).

Широко известная SCADA FactoryLink имеет целый список поддерживаемых ей программно-аппаратных платформ: OS/2 (IBM PC), UNIX (IBM PC), VMS (VAX), HP-UX (HP 9000) и MS Windows (IBM PC).

Компьютерные ресурсы, требуемые для установки и нормального функционирования различных компонентов SCADA-систем, определяются

многими факторами, в том числе, назначением сетевого компьютера (рабочая станция оператора, сервер БД, АРМ специалиста и т. п.), количеством обрабатываемых переменных, используемой операционной системой (Windows 95/98/NT/2000, QNX) и т. п.

В качестве клиентских компьютеров наибольшее распространение в настоящее время находят IBM-совместимые ПК (от 486 до Pentium II 500/800 МГц).

Оперативная память, требуемая для SCADA-пакетов различных производителей, колеблется от 32 до 128/256 Мб.

Требования к свободному объему памяти на жестком диске также достаточно минимальны (100 – 200 Мб).

Могут накладываться также ограничения на качество и объем памяти видеокарты, разрешение экрана монитора, размеры монитора.

Требования к аппаратным средствам, призванным поддерживать серверные функции, могут быть существенно более высокими. Это относится и к объему оперативной памяти, и к объему жесткого диска, который может измеряться уже десятками и сотнями Гб.

С другой стороны, многие клиентские компьютеры при использовании современных сетевых технологий, таких, как архитектура Server/Terminal, Internet-технологий (WEB-сервер), могут быть достаточно слабых конфигураций (IBM 286/386) с минимальными требованиями как к оперативной, так и к дисковой памяти, а то и вовсе бездисковыми.

Масштабируемость - это способность ПО SCADA наращивать размеры системы управления, обеспечивая при этом преемственность по отношению ко всем ранее установленным программно-аппаратным средствам.

С ростом мощности компьютеров и соответствующим ростом информационной мощности операторских станций SCADA-системы становятся масштабируемыми. Они выпускаются в различных вариантах, которые при сохранении в целом функционального профиля поддерживают от нескольких десятков или сотен до десятков тысяч входов/выходов (лицензируемых точек).

Естественно, стоимость таких пакетов различна: чем больше переменных поддерживает SCADA-пакет, тем он дороже. Но это удобно потребителю - можно приобрести пакет под проект практически любого масштаба.

Градация количества лицензируемых точек в различных SCADA-пакетах различна. В ряде пакетов она более равномерна, чем в других. Например, на рынке программных продуктов можно найти SCADA-пакеты на 75, 150, 500, 1 500, 5 000, 15 000, 50 000, 150 000 и 450 000 переменных. При этом учитываются только внешние переменные, считываемые с устройств ввода/вывода. Внутренние переменные, которые будут определены разработчиком при проектировании, не являются лицензируемыми (бесплатны), хотя и будут храниться в памяти компьютера или на жестком диске. Другие фирмы-производители SCADA в общее количество лицензируемых точек включают и внутренние переменные. Например, приобретение такого пакета на 500 лицензируемых точек означает следующее. Если в соответствии с проектом разработчику потребуется создать 100 внутренних переменных, то система способна будет обрабатывать лишь 400 переменных ввода/вывода. Но и о возможном расширении системы не надо забывать.

При расширении системы управления, например, увеличении количества обрабатываемых переменных, создании новых станций для перераспределения вычислительной нагрузки между компьютерами в системе SCADA-пакеты снабжаются встроенными механизмами, которые позволяют разработчикам реализовать такие возможности. С точки зрения удобства использования этих механизмов все SCADA-пакеты различны. Многие фирмы предлагают системы, в которых основная работа по конфигурированию компьютеров клиент-серверной архитектуры хорошо автоматизирована.

2.8. Эксплуатационные характеристики

К этой группе можно отнести:

- удобство интерфейса среды разработки (это качество обеспечивается применением Windows –подобных интерфейсов), полнота и наглядность представления функций системы на экране, удобство и информативность контекстных и оперативных подсказок, справочной системы;
- качество документации - полнота, ясность и наглядность описания системы, применение установившейся терминологии, русификация, уровень русификации (экраны, подсказки, справочная система, системные сообщения, документация);

- полнота/недостаточность средств диагностики состояния системы при сбоях и отказах, нарушениях внешних связей; трудоемкость и уровень автоматизации работ при инсталляции и конфигурировании системы; возможности внесения изменений в систему без ее остановки и т.д.
- положение программного продукта на рынке: дилерская сеть, консультационная поддержка, наличие «горячей линии», обучение, условия обновления версий (upgrade), количество инсталляций и т. д.

Опыт работы авторов на факультете повышения квалификации специалистов в области автоматизации показывает, что на местах специалисты часто испытывают трудности в освоении SCADA из-за отсутствия качественной документации на приобретенные программные продукты. Учитывая далеко не поголовное знание английского языка программистами и, тем более, технологами, подробная и качественная документация на русском языке просто необходима.

Эксплуатационные характеристики в значительной мере носят субъективный характер и не могут быть оценены количественно. О них можно судить только по результатам практического использования программного продукта: тестирования, апробирования, анализа, опыта промышленного внедрения. Косвенной характеристикой качества и отработанности крупнотиражного программного продукта служит его положение на рынке, поскольку большое число реализаций продукта свидетельствует о солидном опыте применений, учтенном при обновлениях продукта. Количество инсталляций SCADA-пакетов крупнейших производителей, таких как Wonderware и Intellution (GE Fanuc), перешагнуло уже за 200 тысяч.

2.9. Основные подсистемы SCADA-пакетов

Создание современной системы управления потребует от разработчика некоторого набора знаний применяемого в проекте SCADA-пакета. Что же надо знать о SCADA разработчику, приступая к созданию проекта?

Для реализации рассмотренных в разделе 2.1 базовых функций SCADA-системы разработчику потребуется, как минимум:

- организовать взаимодействие SCADA-пакета с аппаратными средствами автоматизации (контроллерами);
- создать графический интерфейс для диспетчера/оператора, т.е.

отображение технологического процесса и значений параметров на динамизированных мнемосхемах;

- обеспечить оперативный персонал информацией о ситуациях, связанных с отклонением технологических параметров от заданных значений, о предаварийном состоянии оборудования и т.п.;
- настроить систему регистрации и архивирования данных и их представление на мониторе в виде трендов, что позволит оператору и специалистам проводить анализ состояния процесса и оборудования.

Можно перечислить еще ряд типовых задач, решаемых в процессе разработки системы управления (шаблоны отчетов, статистическая обработка данных, взаимодействие с РБД и др.). Более того, практически каждый производитель SCADA предлагает свои специализированные механизмы, направленные на повышение информативности операторского интерфейса, удобства работы с ним. Безусловно, все они не могут быть рассмотрены в рамках данного учебного пособия.

Для разработки качественного операторского интерфейса разработчику также необходимо владеть встроенным в SCADA-пакет языком программирования. С его помощью создаются так называемые сценарии (скрипты) – фрагменты программ, обеспечивающие оперативный персонал своевременной информацией и облегчающие управление процессом.

Таким образом, SCADA – это набор инструментов (подсистем) для решения перечисленных выше задач.

• **Взаимодействие SCADA-пакетов с контроллерами**

Сбор данных и управление предполагают перемещение информации между объектом и станцией оператора. Обязательным промежуточным звеном в этой цепочке является контроллер. Взаимодействие контроллера, как поставщика и приемника информации, со SCADA-системой обеспечивается драйверами (раздел 2.3). Какие драйверы поставляются с тем или иным SCADA-пакетом, как установить драйвер, какие диалоги при этом должны быть заполнены, какая информация потребуется разработчику, имеется ли инструментарий для разработки собственных драйверов? На эти и многие другие вопросы еще предстоит ответить.

Кроме этого, система управления включает, как правило, еще ряд компонентов: серверы данных, рабочие станции специалистов и т.п. Все компоненты системы управления объединены между собой промышленной (управляющей) сетью. Системы управления отдельными технологическими

процессами (АСУТП) и другие подразделения предприятия объединены между собой в локальную вычислительную сеть (ЛВС). И здесь возникает еще целый ряд вопросов: какие популярные промышленные сети поддерживает SCADA-пакет, какие протоколы обмена с типовыми реляционными базами данных могут быть использованы?

• Графический интерфейс

Качество отображения информации на мнемосхемах определяется характеристиками графических возможностей пакетов. К ним можно отнести графический редактор, возможность создания объемных изображений, наличие библиотек и разнообразие графических заготовок и готовых объектов, богатство инструментария, многообразие динамических свойств элементов мнемосхем, форматы импортируемых изображений, наличие инструментария для создания растровых рисунков, наличие и возможности многооконных режимов и т. п.

При создании компонентов операторских интерфейсов (например, мнемосхем) разработчику приходится использовать графические объекты, представляющие собой технологические аппараты (колонны, емкости, теплообменники и т. д.), участки трубопровода и такие устройства, как клапаны, насосы, электродвигатели, контроллеры, компьютеры и т. д. Как правило, это сложные объекты, полученные объединением множества простых объектов или рисунки типа **Bitmap**.

Создание каждого из этих объектов требует большого времени и может значительно затянуть разработку проекта. Для ускорения работы над проектом практически все SCADA-пакеты предлагают разработчику библиотеки готовых объектов, включающие сотни и тысячи графических компонентов (рис. 2.13).

Теперь нет необходимости рисовать объект и терять драгоценное время, если подобный объект есть в библиотеке. Достаточно открыть библиотеку объектов щелчком по соответствующей иконке инструментария, выбрать раздел, затем - объект и вставлять его в любые окна разрабатываемого интерфейса. Операция вставки готового объекта занимает всего несколько секунд.

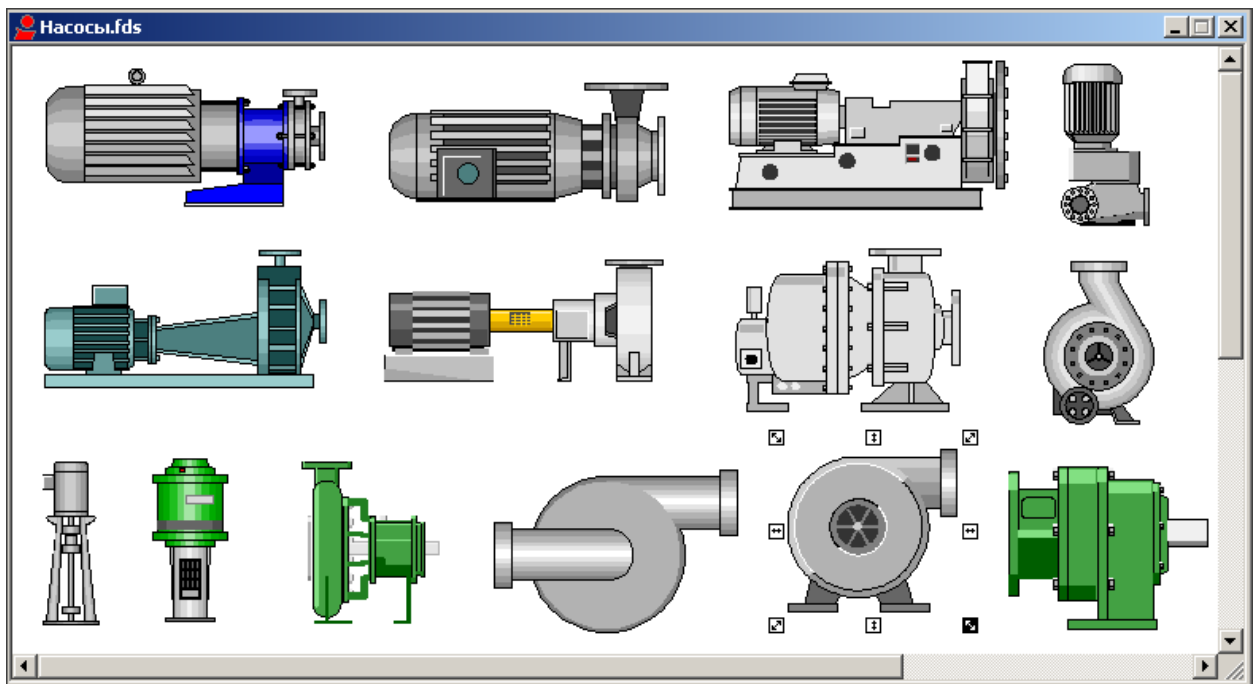


Рис. 2.13. Библиотека «Насосы» SCADA-пакета iFIX.

Часто при разработке графического интерфейса приходится создавать типовые группы объектов, предназначенные для решения конкретной задачи. Например, группа из трех объектов (кнопка «ПУСК», кнопка «СТОП» и индикатор состояния - лампочка зеленого/красного цвета) предназначена для пуска/останова насоса, электродвигателя, конвейера и т. д. с индикацией их состояния. Тогда каждый раз для решения этой задачи разработчику придется создавать эти три объекта и конфигурировать их (задавать динамические свойства). Но таких объектов в одном окне может оказаться несколько. Время специалиста в этом случае будет расходоваться неэффективно.



Для решения подобных задач SCADA-пакеты предлагают различные решения:

- готовые сложные объекты с заданным набором динамических свойств, хранящиеся в специальных библиотеках;
- инструментарий для их создания с возможностью сохранения в библиотеке для многократного использования.

Разработчику надо лишь выбрать требуемый объект из библиотеки, вставить его в графическую страницу и в появившийся на экране диалог ввести имя/имена переменной/переменных.

В SCADA-системах различных производителей набор динамических свойств объектов достаточно типизирован. В режиме исполнения при определенных условиях объекты интерфейса могут:

- перемещаться (горизонтально, вертикально);
- изменять размеры (по горизонтали, по вертикали);
- заполняться цветом (по горизонтали, по вертикали);
- быть ползунковыми регуляторами (горизонтального или вертикального типа);
- появляться на экране и исчезать с него (видимость);
- мерцать;
- вращаться;
- изменять цвет.

Один и тот же объект может иметь набор различных динамических свойств. Комбинации этих свойств предоставляют возможность создавать на экране в режиме исполнения (**Runtime**) практически любые динамические эффекты, облегчая оператору/диспетчеру восприятие информации.

В целях унификации окон интерфейса оператора/диспетчера и сокращения сроков разработки проектов некоторые компании-производители SCADA снабжают свои пакеты программ шаблонами окон с возможностью их модификации и создания собственных шаблонов. Другие SCADA-системы предусматривают возможность импорта/экспорта окон из одних приложений в другие, что также существенно упрощает процесс разработки.

• Подсистема сигнализации

Возможности по предоставлению информации эксплуатационному персоналу об аварийных ситуациях и событиях обеспечиваются подсистемами сигнализации. Такие подсистемы - обязательный компонент любого SCADA-пакета, но механизмы их реализации различны.

В русском языке понятие «сигнализация» стоит рядом с понятием «тревога». Английским аналогом этих понятий является Alarm (аларм). В дальнейшем изложении материала по подсистемам сигнализации различных SCADA-пакетов авторами будет использоваться та терминология, которая одобрена их производителями при переводе документации на русский язык (iFIX – тревоги, InTouch – алармы).

Поддерживаемые типы алармов (тревог), приоритеты, возможности по фильтрации алармов (группировка), механизмы вывода информации об

алармах, удобство конфигурирования системы алармов и т. п. - вот далеко не полный перечень характеристик подсистемы сигнализации.

Аларм (состояние тревоги) - это сообщение, формируемое системой управления и имеющее целью привлечь внимание оперативного персонала о возникновении ситуации, которая может привести к нарушению технологического процесса или более серьезным последствиям. Степень важности того или иного аварийного сообщения зависит от последствий, к которым может привести нарушение, вызвавшее данное аварийное сообщение. Наиболее важные аварийные сообщения могут потребовать вмешательства оперативного персонала. Поэтому для большинства аварийных сообщений, сформированных системой, требуется подтверждение (квитирование) их получения оператором/диспетчером.

Наряду с алармами в SCADA - системах существует понятие событий. Под **событием** следует понимать обычные статусные сообщения системы, не требующие подтверждения их получения и ответной реакции оператора. Обычно события генерируются при возникновении в системе определенных условий (регистрация оператора в системе, ввод информации оператором).

Причины, вызывающие состояние аларма, могут быть самыми разными:

- отказ аппаратных средств (датчиков, контроллеров, каналов связи);
- отказ технологического оборудования (насоса, электродвигателя и т. п.);
- выход параметров технологического процесса за заданные границы.

- Все SCADA - системы поддерживают алармы двух типов: **дискретные** и **аналоговые**.

Дискретные алармы срабатывают при изменении состояния дискретной переменной (кран открыт/закрыт, насос включен/выключен). По умолчанию дискретный аларм может срабатывать при переходе на **1 (ON)** или на **0 (OFF)**, в зависимости от конкретного SCADA - пакета.

Аналоговые алармы базируются на анализе выхода значений переменной за указанные верхние и нижние пределы. Аналоговые алармы могут быть заданы в нескольких комбинациях (рис. 2.14):

- верхние пределы (предаварийный и аварийный);
- нижний пределы (предаварийный и аварийный);
- отклонение от заданного значения;
- скорость изменения параметра.

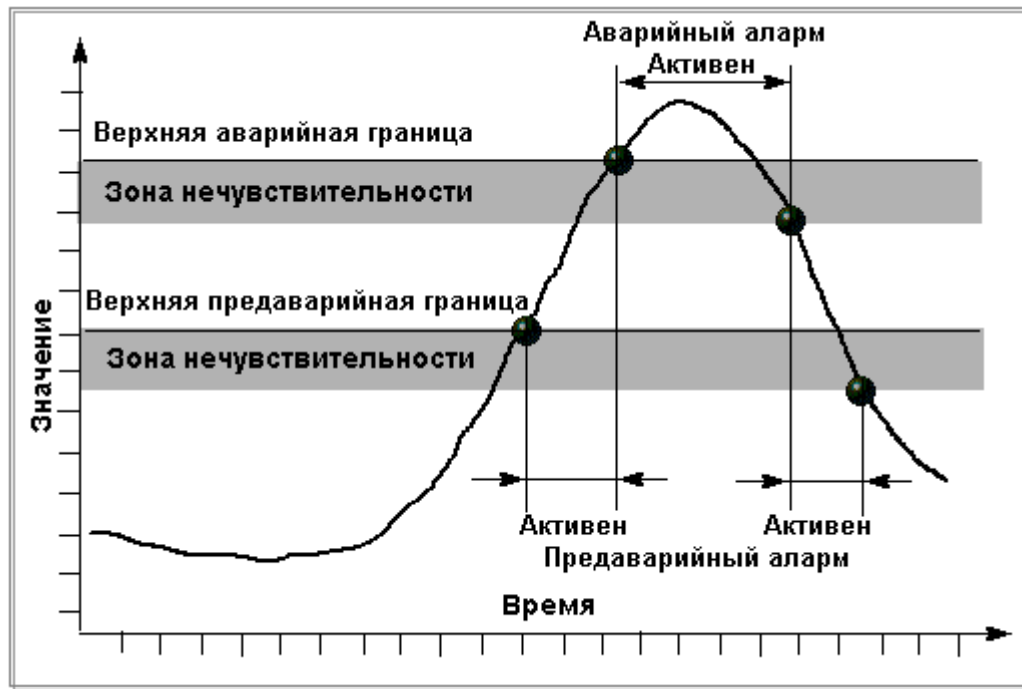


Рис. 2.14. Графическая интерпретация верхних предаварийного и аварийного алармов.

Для выхода переменной из состояния аларма необходимо, чтобы ее значение стало меньше порогового на величину, называемую зоной нечувствительности. Аналогично можно интерпретировать нижние предаварийные и аварийные алармы.

Все вышеизложенное справедливо и для аларма типа «отклонение». Заданное значение в ходе технологического процесса может изменяться либо оператором, либо программно (автоматически). Аларм «сработает» при выходе значения переменной за границу допустимого отклонения.

Алармы, определяемые скоростью изменения параметра, возникают в случае, если она становится больше (меньше) предельно допустимой. Понятие «зона нечувствительности» к алармам этого типа не применяется.

□ Важную роль в подсистеме алармов любого SCADA-пакета играют приоритеты. Приоритеты алармов могут быть использованы в различных целях: для определения способа вывода алармов (на принтер, в файл, в текущую сводку), для определения порядка их появления в окнах текущих алармов, для запуска скриптов, для определения действия, вызываемого срабатыванием аларма определенного приоритета (например, включение звукового сигнала) и т. п.

Как правило, важность приоритета уменьшается с увеличением его значения. Таким образом, приоритет с номером 1 - самый высокий.

Например, если алармы с приоритетами от 1 до 10 должны выводиться на экран, то первыми будут выводиться алармы с приоритетом 1 в порядке их поступления, затем - алармы с приоритетом 2 и т. д. Количество значений (уровней) приоритетов в разных SCADA-пакетах различно (десятки и сотни).

□ Подсистема алармов предусматривает возможность классификации алармов по самым различным признакам: по аппаратам технологического процесса, по типу алармов, имени, приоритету и т. д. В зависимости от этого каждый аларм может быть отнесен к определенной группе (зоне, категории). Подобная **группировка** – удобный способ фильтрации алармов и их обработки (подтверждение, способ вывода, формат, цвет и т. п.).

□ Вывод информации об аварийных ситуациях реализуется различными способами. Ее можно выводить в специализированные окна операторского интерфейса в виде текущих и архивных сводок, записывать в файлы, распечатывать на принтерах, предназначенных для вывода аварийных сообщений.

Кроме того, эту аварийную информацию можно отображать непосредственно на мнемосхемах интерфейса оперативного персонала:

- вывод в специальные текстовые поля;
- динамизация объектов (изменение цвета, мерцание и т. п.).

Формат вывода (информация, включаемая в аварийное сообщение) определяется на стадии проектирования. В строку аварийного сообщения можно включить текущую время и дату, тип аларма, его приоритет, имя переменной, ее текущее значение, зону нечувствительности, размерность, а также группу алармов и его состояние (подтвержден/неподтвержден). Для дискретных алармов можно создать поле **on** (вкл.)/**off** (выкл.). Для алармов с метками времени в поле текущего времени можно выводить информацию с точностью до миллисекунд.

Пример объекта вывода аварийной информации приведен на рис. 2.15.

MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Operator	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Operator	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Operator	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Operator	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Operator	Pri	Name	GroupName	Value/Limit

Рис. 2.15. Пример формата вывода информации об алармах.

- **Подсистема регистрации, архивирования и отображения данных в виде трендов**

Представление данных в виде графиков (трендов) реализуется в современных SCADA-пакетах специальными подсистемами. К характеристикам таких подсистем можно отнести способы регистрации архивных данных, способы отображения трендов, удобство по конфигурированию трендов, возможности по переконфигурированию трендов в режиме Runtime, предоставляемый сервис при работе с архивными трендами, возможность построения графиков $y(x)$ и т. п.

Тренды реального времени (Real Time) отображают динамические изменения параметра в текущем времени (в темпе с протеканием технологического процесса). При появлении нового значения параметра в окне тренда происходит прокрутка графика. Текущее значение параметра выводится, как правило, в правой части окна.

Исторические (Historical) или архивные тренды не являются динамическими и строятся на основе выборки архивных данных. Отображаемые значения переменных на архивных трендах неподвижны и могут быть отображены только на определенном выборкой отрезке времени. При работе SCADA-системы в режиме Runtime (среда исполнения) производится запись значений переменных в регистрационные файлы. Для записи значений переменных в регистрационный файл могут использоваться различные способы:

- регистрация при изменении переменной на величину, превышающую некоторый порог;
- периодически с заданной частотой.

Предпочтительна регистрация данных в несколько небольших по размеру файлов, чем в один большой файл, т. к. при этом проще осуществлять выборку данных для последующего анализа. Объем выборки для хранения в файлах задается в процессе конфигурирования системы временным периодом (от нескольких часов до недель).

Некоторые SCADA-пакеты используют круговую систему записи в файлы. При этом определяется количество файлов, продолжительность регистрации в каждый из них, время смены регистрационного файла. После того, как истечет время регистрации в последний файл, регистрация будет продолжена снова в первый файл, уничтожая при этом старую информацию (рис. 2.16).

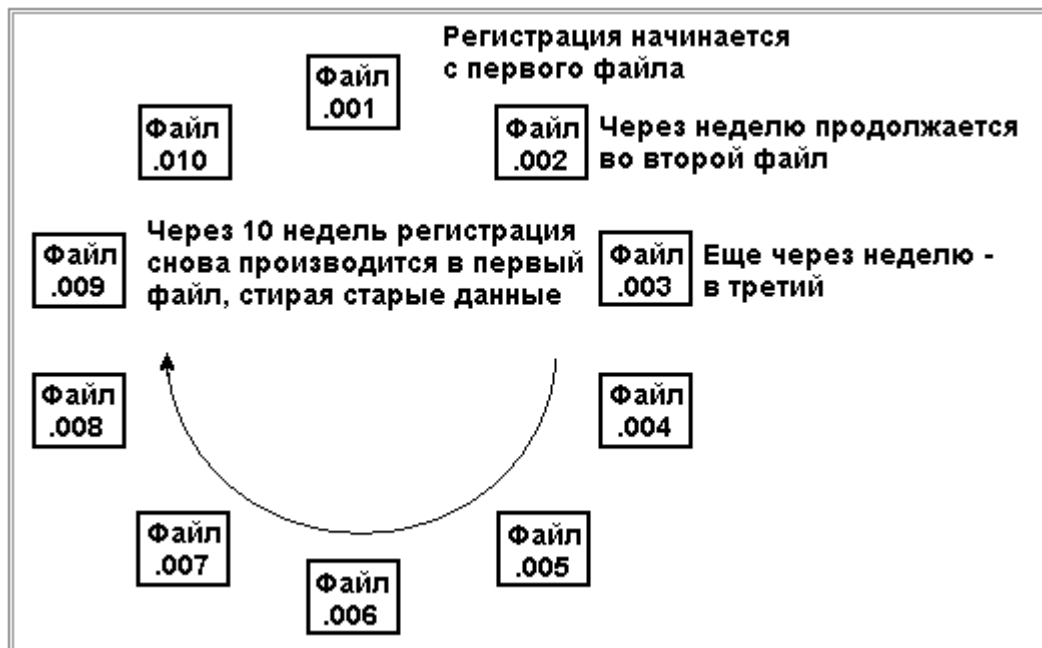


Рис. 2.16. Круговая система регистрации данных.

Разновидностью кругового является метод, когда на стадии проектирования определяется количество файлов, продолжительность регистрации в каждый из них, а также длительность хранения архивных данных для каждого файла. По мере истечения срока хранения информации файлы автоматически уничтожаются, обеспечивая свободное дисковое пространство для вновь создаваемых регистрационных файлов.

Для графического отображения информации SCADA-системы различных производителей предлагают два решения:

- использование двух различных инструментов для создания диаграмм под тренды реального времени и архивные тренды;
- единый инструмент для трендов реального времени и архивных трендов.

По числу перьев на одной диаграмме также возможны варианты. В одних SCADA-системах количество перьев на диаграмме задано жестко (4, 8, 16 перьев). Другие предлагают диаграммы на неограниченное количество перьев. Настройка диаграмм производится в специальных диалогах. Параметрами настройки могут быть диапазон времени, охватываемый трендом, частота вывода значений переменной (период обновления), разрешение сетки по горизонтальной и вертикальной осям. Могут настраиваться и параметры перьев: маркеры, стиль и толщина линии, цвет.

Возможность переконфигурирования перьев тренда в режиме Runtime – важная характеристика SCADA-пакета. Она закладывается на стадии

проектирования с использованием различных методов: с помощью встроенных функций, уникальных встроенных механизмов.

Удобным механизмом работы с диаграммой в режиме выполнения является отображение курсора времени (визира). В местах пересечения курсора с кривыми высвечиваются значение переменной и время, соответствующее этому значению. Полезной может оказаться и возможность вывода на одной диаграмме перьев с различными пределами отображаемых переменных и различными шкалами.

Для работы с архивными трендами производители SCADA-систем предлагают дополнительный сервис: возможность выделять различные участки диаграммы, увеличивать выделенные участки для детального анализа кривых, перемещаться вдоль архивного тренда и т. п.

• Встроенные языки программирования

Встроенные языки программирования - мощное средство SCADA - систем, предоставляющее разработчику гибкий инструмент для разработки сложных приложений. В ранних версиях SCADA - систем языки реализовывали небогатый набор функций. Современные SCADA - системы с точки зрения функциональных возможностей существенно богаче.

Многие функции присутствуют практически во всех языках: математические функции, функции управления экранами, алармами, трендами, ActiveX - объектами, DDE - обменом и т. д.

Полный набор требуемых функций конкретной системы управления обычно не может быть обеспечен только базовым ПО. Существует большое количество задач, в том числе и расчетных, для решения которых потребуется встроенный в SCADA-систему язык программирования. Для повышения функциональности интерфейса в разрабатываемом приложении могут создаваться программные фрагменты (скрипты), выполнение которых связывается с разнообразными событиями в приложении, такими как нажатие кнопки, открытие окна и т.п.

«Хорошо», если это Basic-подобный язык с небогатым набором операторов типа IF - THEN - ELSE или FOR - NEXT. Но в последнее время наметилась тенденция применения в SCADA-программах таких высокоуровневых языков программирования, как C или VBA.

Взаимодействие SCADA-системы с базами данных требует применения стандартных интерфейсов ODBC и SQL. «Технологу» может не хватить знаний для установки драйверов, конфигурирования интерфейса и т.п.

Таким образом, использование SCADA-пакетов при разработке прикладного ПО АРМов операторов/диспетчеров в большинстве случаев не означает, что для этой работы не придется привлекать квалифицированных специалистов в области программирования («системщиков» и «прикладников»).

С другой стороны, основная часть разработки проекта вполне по силам и специалисту по автоматизации, владеющему компьютером.

Следует отметить, что SCADA, безусловно, упрощает процесс создания ПО верхнего уровня АСУТП. Но этот процесс остается достаточно трудоемким, требующим соответствующей квалификации и времени.

Контрольные вопросы

1. Классификация программных средств АСУТП.
2. Операционные системы реального времени.
3. Характеристика прикладного программного обеспечения.
4. Функции программного обеспечения SCADA. Функции оператора.
5. Архитектурное построение SCADA-систем. Клиент-сервер.
6. SCADA как открытая система. Особенности открытых систем.
7. OPC-интерфейс.
8. Методы организации доступа к SCADA-приложениям.
Архитектура “терминал - сервер”.
9. Методы организации доступа к SCADA-приложениям.
SCADA и Интернет.
10. Надежность SCADA-систем. Резервирование.
11. Графические возможности.
12. Подсистема алармов. Типы, группы и приоритеты.
13. Подсистема архивирования и тренды. Назначение. Типы трендов.

Лекция №4

Распределенные системы управления (DCS - Distributed Control Systems)

1. Определение, назначение, функциональные отличия от SCADA

Распределенной Системой Управления принято называть большую систему управления, поставляемую в полном комплекте одним производителем. При этом в комплект системы всегда входят контроллеры (управляющие процессоры), платы и модули ввода/вывода, сетевое оборудование, рабочие станции, программное обеспечение - все от одного производителя.

Часто производитель PCY создавал свои сети управления и свои рабочие станции, поскольку на момент их рождения и сеть Ethernet, и компьютеры (PC) были достаточно слабы.

PCY обычно разрабатывались (и сейчас разрабатываются) для автоматизации непрерывных технологических процессов - это то, что называют АСУТП.

PCY никогда не применялись для управления процессами упаковки, сварки автомобилей, разлива пива в бутылки и другими дискретными процессами.

Функционально PCY отличались (и до сих пор отличаются) от систем ПЛК+СКАДА (PLC + SCADA) следующими свойствами:

- База данных распределена между контроллерами, но выглядит единой с точки зрения инженера. Именно это свойство и заложено в название "PCY".
- Операторский интерфейс тесно интегрирован в систему. Это не ПО SCADA, которое нужно "привязывать" к аппаратным средствам (железу). Здесь все работает сразу после включения питания и без какой-либо настройки.
- Интенсивная и обширная обработка тревог (алармов) и событий реализуется также без каких-либо усилий со стороны разработчика.
- Возможность вести разработку конфигурации и вносить изменения онлайн, (то есть, не останавливая процесса управления).
- Возможность менять отказавшее оборудование и расширять систему (добавлять новые узлы и платы) без отключения питания.
- Глубокая диагностика от уровня операторского интерфейса до отдельного канала ввода/вывода без какой-либо настройки.
- Возможность резервирования любого компонента системы (контроллер, модуль ввода/вывода, операторские станции) на аппаратном уровне и без какой-либо настройки программного обеспечения.

Все это, разумеется, делает начальную цену PCY более высокой по сравнению с ПЛК+СКАДА, но на порядок снижает время разработки и внедрения.

Понятие "распределенная система" не относится к территориальным признакам. Территориально распределенные системы принято называть "системами телемеханики", "системами телеметрии" или просто "СКАДА-системами".

Отметим, что вышеперечисленные свойства относятся к классическим PCY (DCS) - TDC3000, PlantScape фирмы Honeywell; I/A Series фирмы Foxboro; CENTUM CS3000 фирмы Yokogawa и другим.

Компании - производители DCS

- ◆ **Foxboro (I/A Series);**
- ◆ **Honeywell (PlantScape);**
- ◆ **Fisher-Rosemount (Delta-V);**
- ◆ **ABB (Symphony);**
- ◆ **Yokogawa (Centum XL);**
- ◆ **Valmet (Dimatic).**

2. Краткая характеристика DCS-систем

➤ Система **CENTUM CS3000** предназначена для управления достаточно большими технологическими процессами и производствами. Она гибко масштабируема и организована по доменному принципу (состоит из сегментов). Система может включать до 16 доменов, каждый из которых включает максимум 64 станции управления (из них не более 16 станций оператора). Максимальное количество станций на всю систему - 256.

Домены (сегменты) сети объединяются в единую систему управления с помощью конвертеров шины BCV (Bus Converter). Возможно построение иерархической системы (3-х уровневая шина с двумя конвертерами шины).

Станция оператора поддерживает до 100 000 параметров (станция LHS4000 - до 1 000 000 параметров).

Минимальная конфигурация системы - одна станция управления и одна станция оператора.

Конфигурация системы CENTUM CS3000 с несколькими сегментами сети V-net представлена на рис. 1.

В системе имеется два типа станций управления:

- **стандартная станция** с дублированными CPU, представляющими собой работающую пару (два CPU на одной плате) и резерв, с дублированной шиной V-net и платами питания, модулями ввода/вывода;
- **компактная станция** (один шкаф).

Существует два типа стандартных станций управления:

- станция KFCS, в которой управляющие блоки FCU и узлы блоков ввода/вывода соединяются шиной ESB (расширенная объединительная плата) или дистанционной шиной ER;

- станция LFCS, в которой управляющие блоки FCU и узлы блоков ввода/вывода соединяются шиной RIO.

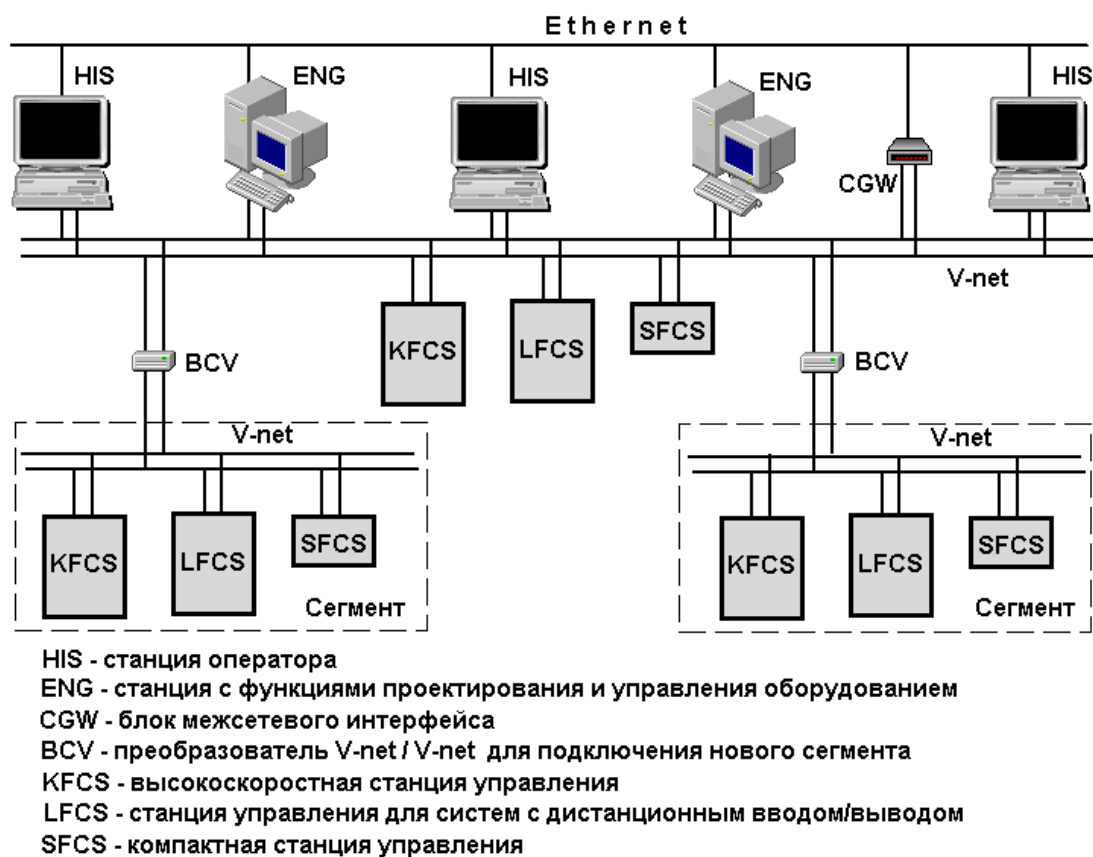


Рис.1. Конфигурация системы CENTUM CS3000.

- Станции KFCS предназначены для высокоскоростного управления. Они включают в свой состав следующие компоненты:

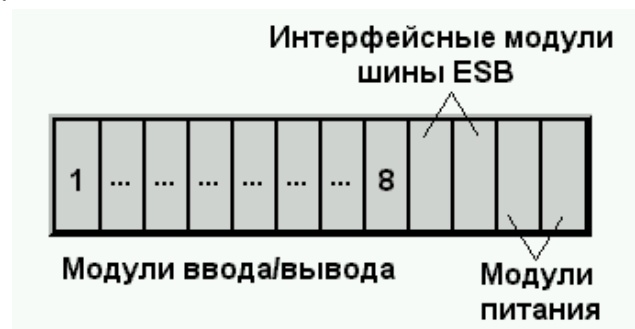
- блок управления (FCU), включающий внешний интерфейс с сетью V-net, а также дублированные процессорные платы, блоки питания, аккумуляторные батареи и интерфейсные платы шины ESB;
- узел блока модулей ввода/вывода, включающий аналоговые, дискретные и многоточечные модули ввода/вывода, интерфейсные модули связи с блоком управления (ESB) и удаленными узлами (ER);
- модули связи с полевой шиной (FF H1).

Имеется два типа узлов блока модулей ввода/вывода:

- **локальный** узел блока ввода/вывода, подключаемый непосредственно к блоку управления (FCU) и находящийся в шкафу станции (рис. ниже);
- **дистанционный** (удаленный) узел блока ввода/вывода с интерфейсом Ethernet, монтируемый в удаленном шкафу рядом с датчиками и

исполнительными устройствами.

Для подключения к блоку управления **локальных** узлов, устанавливаемых в шкафу станции управления, используется шина ESB. Шина ESB может иметь резервирование, а ее максимальная протяженность составляет 110 м, а скорость - 128 Мбит/с.



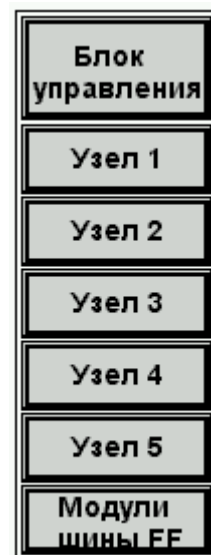
Для подключения к блоку управления **удаленных** узлов с помощью интерфейсного модуля, устанавливаемого в шкафу станции управления, используется шина ER. Эта шина также может быть зарезервирована.

Узлы блоков ввода/вывода, расположенные на шине ER, устанавливаются в удаленных шкафах или на стойках. Максимальное расстояние при передаче составляет 185 м при использовании Ethernet-совместимого коаксиального кабеля 10Base2, 500 м - при использовании коаксиального кабеля 10Base5 и до 2 км - при использовании повторителей оптической шины.

Компоненты станции управления KFCS монтируются в специальном шкафу или в стойках. Станция управления поддерживает до 10 блоков ввода/вывода (до 8 модулей ввода/вывода в каждом блоке).

Компоновка специального шкафа станции управления KFCS: передняя часть - блок управления FCU и 5 блоков ввода/вывода; задняя часть - 5 блоков ввода/вывода.

Пример монтажа блоков на передней части специального шкафа показан на рисунке справа.



- Станции LFCS адаптированы для систем управления с большим количеством ввода/вывода.

В станции управления LFCS с подключенными устройствами через шину RIO реализовано резервирование центрального процессора. Возможно также резервирование шины RIO и различные варианты монтажа в шкафу или на стойке. В варианте с резервированием блока управления резервирование имеют процессорная плата, блок питания, аккумуляторный блок и интерфейсный модуль шины RIO.

Узлы блоков ввода/вывода, подключаемые к блоку управления с помощью шины RIO, не обязательно должны находиться в шкафу станции управления. При удалении блоков ввода/вывода от станции на расстояние до 750 м используется экранированная витая пара. Применение повторителей шины и оптоволоконной связи увеличивает расстояние до 20 км, причем повторители и оптоволоконные линии можно чередовать до четырех раз.

➤ Основными компонентами системы **PlantScape (Honeywell)** являются:

- гибридный контроллер для дискретного управления и управления интегрированным процессом;
- функциональный сервер;
- операторский интерфейс (HMI);
- программное обеспечение сервера и контроллеров;
- сети управления ControlNet.

Компоненты системы **PlantScape** были разработаны так, чтобы функционировать как *единая высоко оптимизированная система*, обеспечивая выполнение таких функций и такую эффективность, которые обычно недоступны для систем со слабой взаимосвязью человеко-машинного интерфейса (HMI) и программируемых логических контроллеров (PLC).

Процессоры системы поддерживают до 64 модулей ввода/вывода независимо от плотности модулей. Максимальное количество аналоговых модулей - 32. Модули ввода/вывода могут быть размещены как локально, так и удаленно.

Архитектура системы **PlantScape** представлена на рис.2.

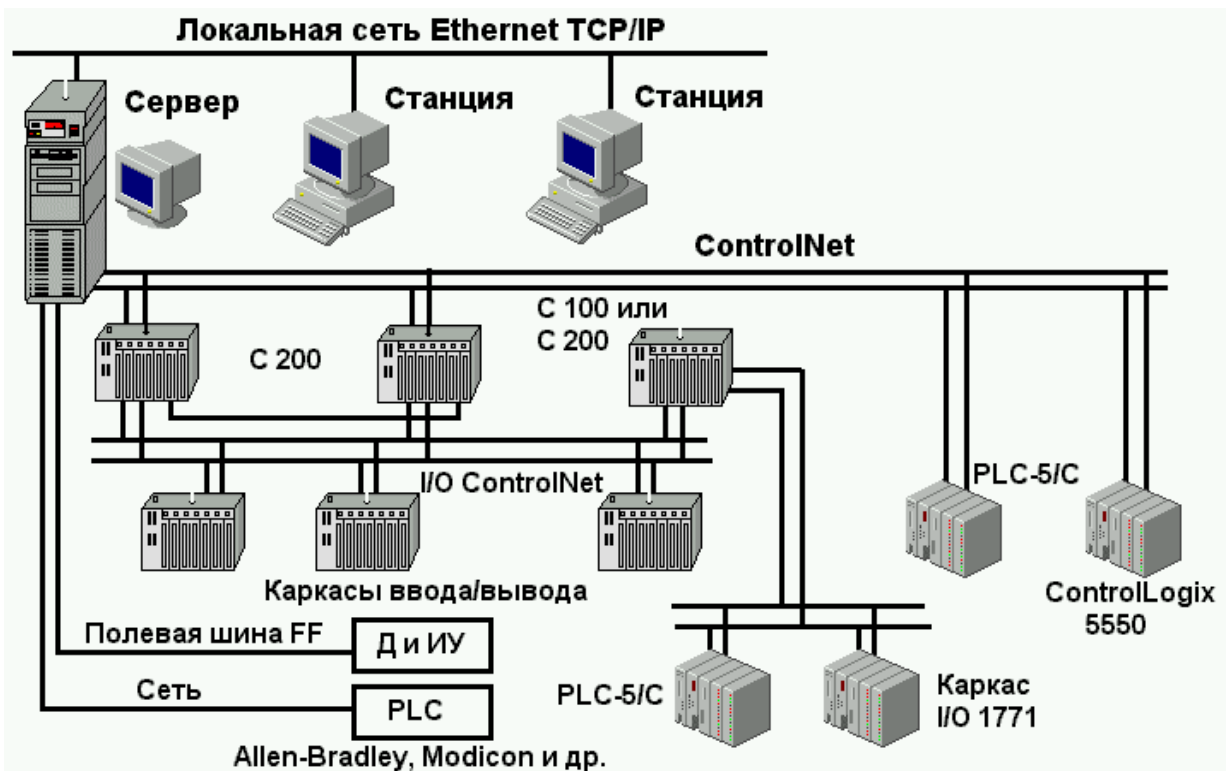


Рис. 2. Архитектура системы **PlantScape**.

Взаимодействие компонентов системы на уровне управления осуществляется с помощью открытой сети ControlNet, которая обеспечивает связь контроллеров с сервером, контроллеров между собой и контроллеров с вводом/выводом. По этой сети сервер получает данные из контроллеров для обновления дисплеев, осуществляет сбор исторических данных и информации об алармах. ПО Control Builder пользуется этой сетью для загрузки и мониторинга алгоритмов управления.

Пропускная способность сети ControlNet с учетом резервирования

составляет 5 Мбит/с и характеризуется возможностью детерминированной передачи данных. С физической точки зрения средства передачи данных представляют собой коаксиальный кабель с поддержанием шинной топологии типа «магистральной с ответвлениями». Максимальная длина кабеля с медным покрытием сегмента сети составляет 1 км (максимальная длина зависит от количества разветвителей). Установка промежуточных повторителей, количество которых может достигать 5, позволяет использовать кабель с медным покрытием длиной до 6 км. Использование дополнительных волоконно-оптических удлинителей ControlNet позволяет увеличить длину сети до 22 км. Каждый сегмент супервизорной/равноправной сети поддерживает до 6 контроллеров без резервирования или до 5 контроллеров с резервированием. Каждый управляющий процессор может объединять до 8 шасси ввода/вывода через сеть ввода/вывода.

Система PlantScape может быть интегрирована с контроллерами различных фирм-производителей. Это взаимодействие может быть реализовано двумя путями: через сеть ControlNet и непосредственно через сервер.

Для того, чтобы устройства могли связываться друг с другом через сеть ControlNet, требуется использовать протокол, понятный обоим устройствам. На сегодняшний день такими протоколами являются ControlNet и DH+, поддерживаемые некоторыми устройствами фирмы Allen-Bradley. К ним относятся PLC-5/C, и ControlLogix5550, поддерживающие сеть ControlNet, а также PLC-5 на DH+.

Кроме того, система PlantScape имеет встроенную коммуникацию Foundation Fieldbus (FF H1), поддерживаемую сервером.

➤ Архитектура **I/A Series (Foxboro)** долгие годы была основана на концепции **узла (Node)**, который являлся базовым элементом построения систем управления технологическими процессами. В соответствии с такой архитектурой каждый узел системы работает независимо и выполняет все функции, связанные с автоматизацией процесса. Он может быть связан с другими узлами Foxboro или устройствами других фирм через совместимые сети.

Узел состоит из набора модулей двух типов – процессорных модулей и модулей ввода/вывода, которые объединены между собой посредством шины узла **Nodebus**. Узел представляет собой промышленный шкаф с набором модулей, соединенных с рабочими станциями (операторскими и инженерными) и полевыми устройствами.

Типичная система управления I/A Series, включающая один узел, приведена на рис. 3.

В системе имелось четыре типа процессорных модулей:

- **прикладные процессоры (AP)** – компьютеры, обычно подключаемые к запоминающим устройствам большой емкости для передачи данных в обоих направлениях;
- **процессоры рабочих станций (WP, AW)** – компьютеры, к которым подключаются видеомониторы, клавиатура и другие устройства рабочих станций;
- **процессоры связи** - интерфейсы и шлюзы для обеспечения взаимодействия компонентов системы управления через локальные сети, распределенные сети, устройства RS-232/RS-485;
- **управляющие процессоры (CP)**, к которым подключаются модули ввода/вывода полевой шины.

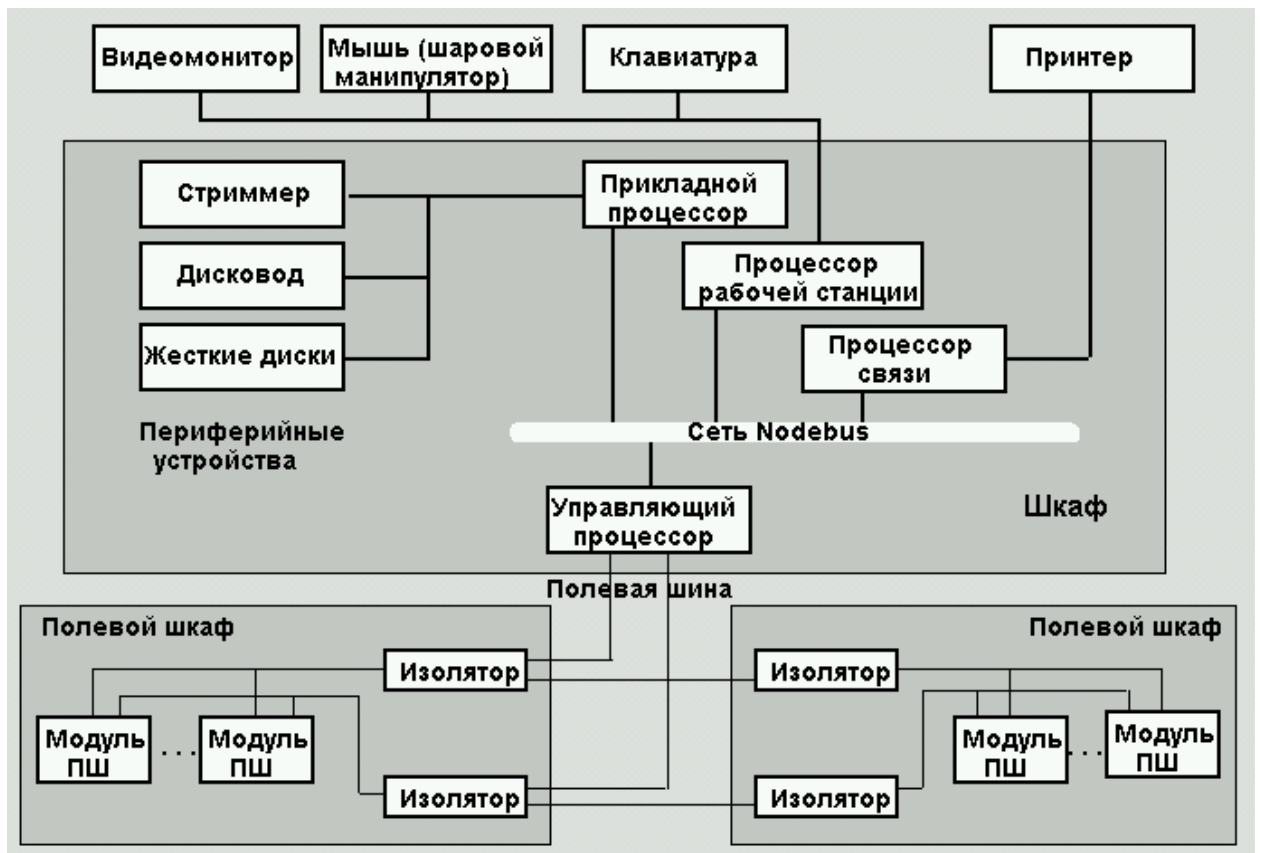


Рис. 3. Система управления на базе одного узла.

Примечание. Разделение по функциям рабочих станций объясняется низкой производительностью процессоров персональных компьютеров того времени. Функции операторского интерфейса выполняли рабочие станции **WP**, функции конфигурирования управляющих процессоров – рабочие станции **AW**, функции работы с файлами, устройствами памяти, функции управления оборудованием, хранения конфигурации системы - рабочие станции **AP**. Набор компонентов узла, представленный на рис. 3, не является обязательным и определяется конфигурацией системы.

На ранних этапах развития системы I/A Series в качестве модулей ввода/вывода использовались модули **FBM** (FBM1, FBM2...) монтируемые в

каркасах и шкафах. К ним подсоединялись датчики технологических параметров и исполнительные устройства.

При использовании удаленного ввода/вывода связь с управляющими процессорами обеспечивалась изоляторами полевой шины **FBI**. Изолятор полевой шины применялся для обеспечения гальванической развязки и уменьшения цифрового взаимовлияния удаленной полевой шины и системы ввода/вывода. Изоляторы устанавливались в каркасы для монтажа модулей ввода/вывода.

Управляющие процессоры (**CP - Control Processors**) – ядро системы I/A Series - обеспечивают обработку полевых сигналов с модулей FBM. Управляющий процессор содержит в памяти базу данных и алгоритмы управления процессом, и в соответствии с ними происходит обработка сигналов. Управляющие процессоры обладают большой производительностью, что позволяет осуществлять операции с плавающей точкой и реализовывать сложные алгоритмы управления. Первым управляющим процессором был CP10. Затем широкое распространение получили более производительные CP30 и CP40 и их модификации CP30B и CP40B.

Локальная сеть I/A Series **Carrierband** обеспечивает удаленный обмен данными между узлами системы управления.

С развитием цифровой техники совершенствовалась и I/A Series. Деление рабочих станций на WP (операторские) и AW (инжиниринговые) стало условным. Отпала необходимость выделять прикладные станции AP в связи с возросшей производительностью персональных компьютеров. На смену изоляторам FBI пришли коммуникационные модули FCM, на смену связным процессорам – специальные модули системных интеграторов. Постепенно возрастала производительность и управляющих процессоров. В конце 90-х годов появились управляющие процессоры CP60. Была разработана новая серия модулей - FBM200, которые взаимодействовали с управляющим процессором через коммуникационные модули FCM.

Первоначально система I/A Series работала на компьютерах под управлением Unix-подобной операционной системы (Solaris) и, соответственно, всё программное обеспечение было написано под Unix.

Появление популярной операционной системы Microsoft Windows NT стимулировало выпуск очередной версии I/A Series – шестой.

Архитектура I/A Series шестой версии приведена на рис. 4.

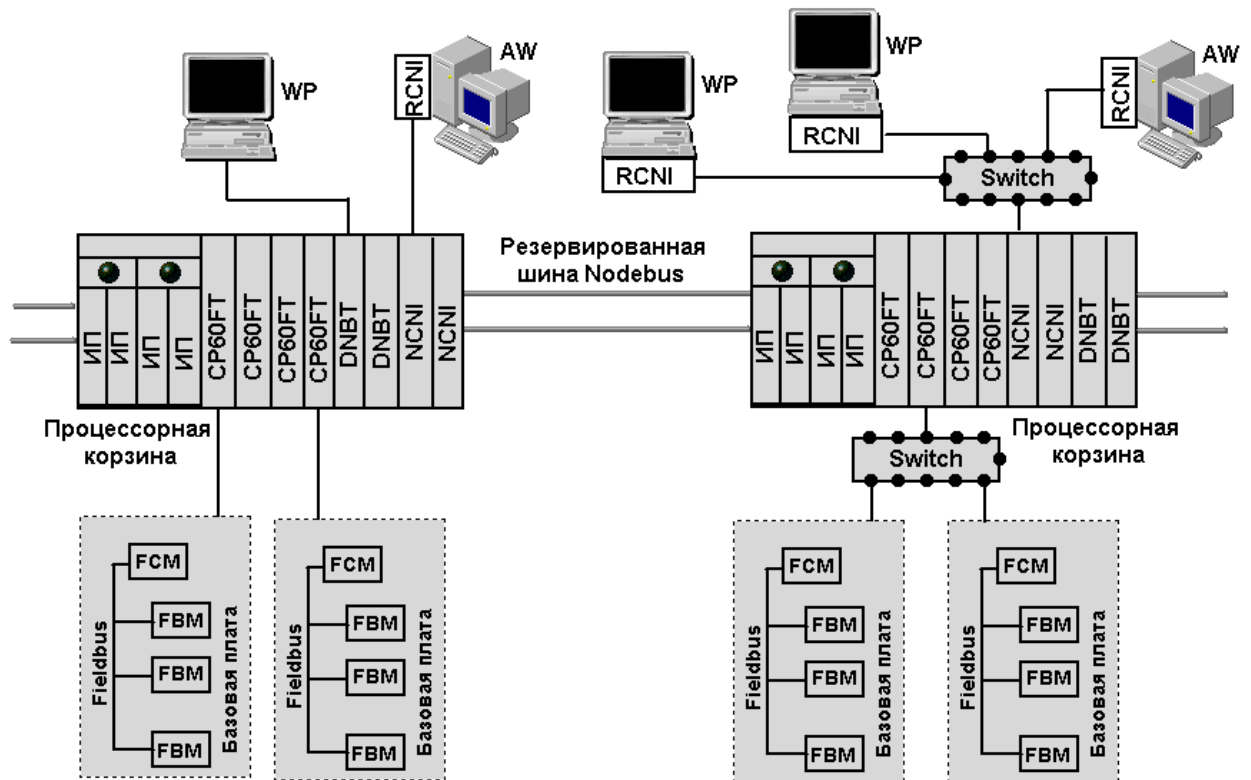


Рис.4. Архитектура I/A Series шестой версии.

Резервированная шина Nodebus объединяет все станции системы, обеспечивая обмен информацией между ними. Шина располагается в процессорных корзинах для управляющих процессоров и интерфейсных модулей. Можно последовательно соединить 4 корзины. Для более крупных

конфигураций используются расширители шины Nodebus – усилители-повторители сигнала.

Интерфейсные модули применяются для подключения рабочих станций к шине Nodebus. Применяются два типа интерфейсных модулей:

- модуль DNBТ (ранняя версия);
- модули RCNI/NCNI (новая версия).

Модуль DNBТ устанавливается в процессорную корзину и обеспечивает интерфейс между рабочей станцией и шиной Nodebus. На каждую станцию требуется свой коммуникационный модуль. Максимальная длина кабеля между рабочей станцией и DNBТ (CP) составляет 150м, скорость передачи данных 10Мбит/сек.

Модули NCNI/RCNI обеспечивают более гибкое построение системы. Модуль NCNI располагается в процессорной корзине. Он соединён с шиной Nodebus и модулем RCNI (рис. 4). Модуль RCNI соединён непосредственно с рабочей станцией. Применение модулей RCNI/NCNI более предпочтительно по следующим причинам:

- расстояние между рабочей станции и CP может достигать 2 км, так как между RCNI и NCNI может быть установлено оптоволоконное расширение;
- скорость обмена данными с рабочей станцией может выбираться 10 - 100 Мб/сек;
- можно подключать несколько RCNI к одному NCNI при помощи коммутаторов, т.е. использование одного установочного места в процессорной корзине дает возможность подключить несколько рабочих станций (их количество определяется возможностями коммутатора и свободными IP-адресами).

В одной системе управления можно использовать одновременно оба типа модулей.

Подсистема ввода/вывода состоит из модулей FBM200 и коммуникационных модулей FCM. Данные модули устанавливаются на базовых платах, внутри которых находится шина Fieldbus. Связь между FBM и FCM реализуется по протоколу HDLC со скоростью 2Мб/сек. Модули FCM преобразуют пакеты HDLC в пакеты Ethernet 10Мб/сек для взаимодействия с управляющими процессорами. К одному управляющему процессору можно подключить через коммутатор до 6 коммуникационных модулей FCM.

В 2004 году появилась восьмая версия системы I/A Series, принципиально отличающаяся от прежних версий. В восьмой версии реализован совершенно другой принцип построения сети управления, маршрутизации, передачи данных, а также представлено новое поколение управляющих процессоров.

Упрощенная архитектура I/A Series восьмой версии представлена на

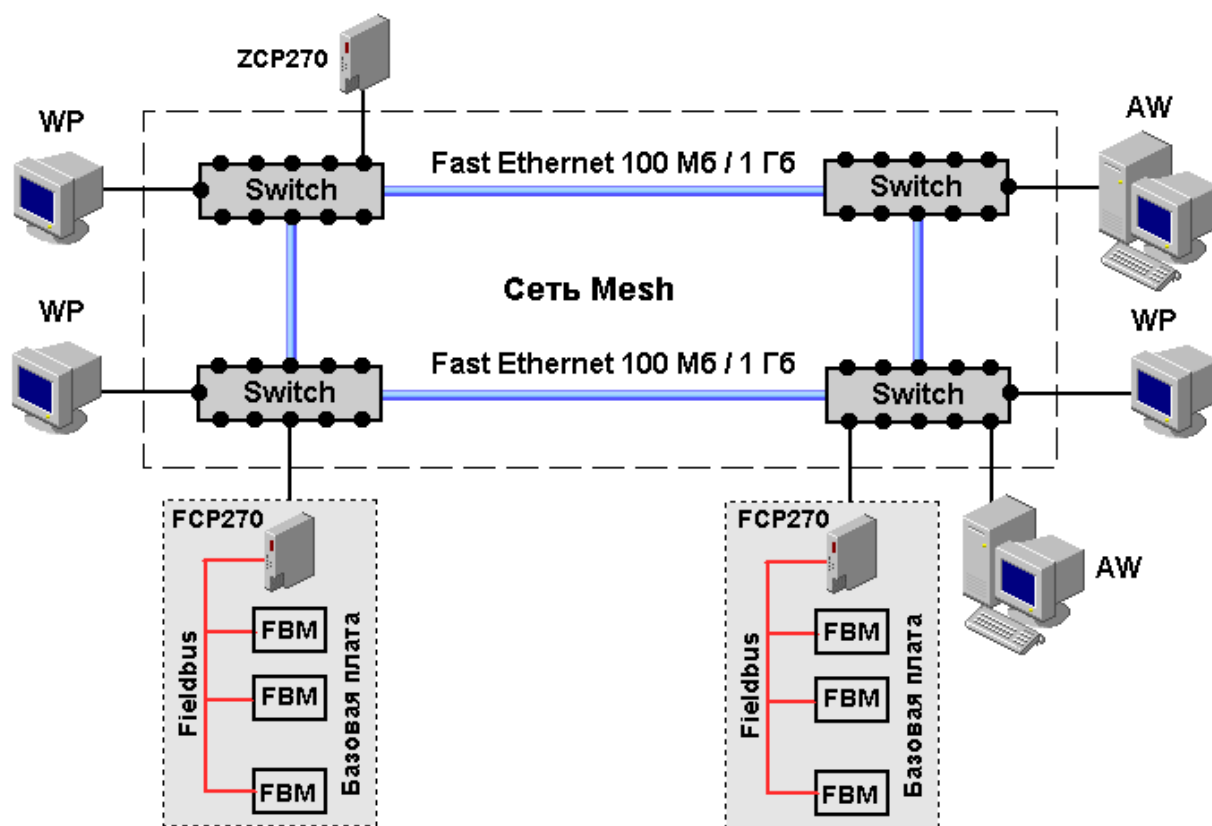


рис.5.

Рис. 5. Архитектура I/A Series восьмой версии.

В этой версии центральным компонентом системы является сеть управления Mesh, которая соединяет управляющие процессоры, рабочие станции и подсистемы ввода/вывода в сеть 100Мб/1Гб. Сеть управления Mesh представляет собой коммутируемую сеть Fast Ethernet, основанную на стандартах IEEE 802.3u (Fast Ethernet) и IEEE 802.3z (Gigabit Ethernet). Сеть состоит из коммутаторов Ethernet, образующих определенную топологию.

Резервированная сеть управления Mesh предоставляет многочисленные каналы связи между любыми двумя устройствами сети, что обеспечивает высокую надёжность.

Устройствами системы, подключаемыми к коммутаторам, являются:

- рабочие станции, подключаемые к коммутаторам без использования интерфейсных модулей;
- управляющие процессоры FCP270, напрямую взаимодействующие с подсистемами ввода/вывода;
- управляющие процессоры ZCP270, взаимодействующие с подсистемами ввода/вывода через коммуникационный модуль FCM100Et.

В настоящее время системы I/A Series 6-7 и 8 версий несовместимы. Но разрабатывается модуль, который позволит включать в 8 версию системы сегменты, выполненные на шине Nodebus.

Рабочие станции обеспечивают интерфейс между системой и человеком для управления технологическим процессом, а также для конфигурирования и поддержки самой системы управления.

В настоящее время один компьютер способен выполнять все необходимые операции по конфигурированию системы, отображению информации и хранению данных. Тем не менее, в системе I/A Series различают операторские рабочие станции (WP) и инженерные рабочие станции (AW). Компьютер станции AW, как правило, имеет больший объем оперативной памяти по сравнению с компьютером операторской станции WP (1024 Мб и 512 Мб, соответственно).

3. Процессоры и сети в DCS-системах

Задача управляющих процессоров и контроллеров DCS-систем – поддержка большого количества контуров регулирования и логического управления. Большинство контуров критично ко времени выдачи управляющих воздействий. Это предопределяет жесткие требования к процессорным платам, типам процессоров и рабочим частотам, объему оперативной памяти.

- Характеристика процессоров системы I/A Series приведена в таблице.

Процессор	CP60	ZCP270	FCP270
Тип процессора	AMD DX5	AMD Elan SC520	AMD Elan 520
Частота, МГц	133	100	100
Память RAM, Мб	8	16 SDRAM	16 SDRAM
Память Flash, Мб	-	32	32
Скорость связи с FBM	2 Мб/с	2 Мб/с	2 Мб/с
Число подключенных модулей	Max 120, по 30 на FCM, по 24 на FBI	Max 120	Max 30

- **Управляющий процессор C200** (система **PlantScape**) представляет собой двухплатный модуль удвоенной ширины на базе процессора 100 MHz PowerPC 603E с ОЗУ (8 Мбайт) и функцией выявления и исправления ошибок. В качестве постоянной памяти используется ПЗУ (4 Мбайт) 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 шириной в два слота обеспечивает функцию подзарядки вместо замены литиевой батарейки.

Этими же причинами обусловлены и параметры сетей и шин, применяемых в DCS-системах.

- **V-net (CENTUM CS3000)** - сеть управления реального времени со скоростью обмена данными 10 Мбит/с. Эта сеть объединяет такие компоненты системы управления как станция управления, станция оператора, BCV, CGW.

Сеть может быть зарезервирована. Протяженность сети при соединении со станцией оператора - 185 м, при подключении других устройств - до 500 м. Расширение сети достигается применением повторителей и оптических повторителей (максимум 4), что позволяет удлинить сеть до 20 км.

Система с одной станцией оператора с установленными на ней функциями проектирования не требует сети Ethernet.

С помощью Ethernet можно объединить между собой станцию оператора и инженеринговую станцию, а также супервизорные системы.

Станции управления типа KFCS, предназначенные для высокоскоростного управления, используют внутреннюю шину ESB для подключения *локальных* узлов ввода/вывода, имеющую скорость обмена 128 Мбит/с.

- В последней версии I/A Series центральным компонентом системы является сеть управления Mesh, которая соединяет управляющие процессоры, рабочие станции и подсистемы ввода/вывода в сеть 100Мб/1Гб.

Управляющий процессор FCP270 непосредственно соединен волоконно-оптическим кабелем 100Мб/с Ethernet с сетью управления Mesh.

“Снизу” управляющий процессор FCP270 соединен с полевой шиной без использования интерфейсного модуля FCM. Скорость обмена данными с полевыми устройствами (датчиками, исполнительными механизмами) осуществляется по шине Fieldbus - 2 Мб/с (протокол HDLC).

- **ControlNet (PlantScape)** - это гибкая высокопроизводительная сеть, поддерживающая как супервизорный/равноправный обмен информацией (контроллеры с HMI), так и сетевой ввод/вывод. Это открытая сеть, спецификация которой принадлежит и контролируется ControlNet International, для которой Honeywell является членом-учредителем. Пропускная способность с учетом резервирования составляет 5 Мбит/с и характеризуется возможностью **детерминированной** передачи данных. С физической точки зрения средства передачи данных представляют собой коаксиальный кабель с поддержанием шинной топологии типа «магистральной с ответвлениями».

4. Надежность DCS-систем

CENTUM CS3000. В станции управления могут быть зарезервированы платы CPU, внешние интерфейсы сети V-net, интерфейсные платы шины RIO и внутренняя шина узла. Имеются модели с резервным источником питания.

На каждой процессорной плате находится два процессора (рис. 6). Каждый процессор выполняет одни и те же управляющие вычисления, а результаты вычислений сравниваются между собой. Если результаты согласуются, то они передаются в память и на интерфейсную плату шины.

Если результаты работы процессоров не совпадают, то сравнивающее устройство (компаратор) воспринимает это как нештатную ситуацию и переключается на резервную плату.

Резервная процессорная плата выполняет те же самые вычисления, что и основная плата. При переключении ее в активное состояние вычисленные на ней результаты передаются на интерфейсную шину без прерывания процесса управления.

При обнаружении ошибки состояния CPU производится самодиагностика платы, и если аппаратные средства в норме, плата возвращается из нештатного состояния в резервное.

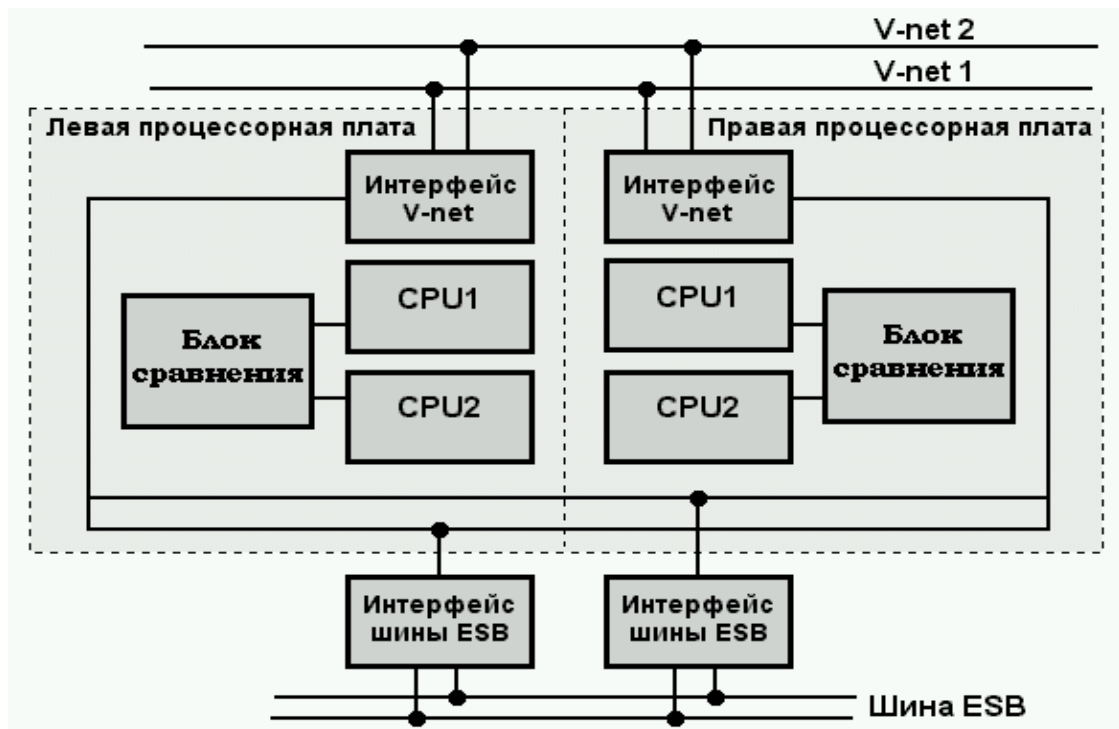


Рис. 6. Резервирование станции управления системы CENTUM CS3000.

I/A Series. Отказоустойчивая версия FCP270 состоит из двух параллельно работающих модулей с двумя отдельными соединениями с сетью управления Mesh. Два модуля управляющего процессора, связанные друг с другом как отказоустойчивая пара, обеспечивают непрерывную работу объекта управления в случае практически любой аппаратной неисправности одного из модулей этой пары.

Оба модуля принимают и обрабатывают информацию одновременно, и неисправности обнаруживаются самими модулями. Одним из важных методов обнаружения неисправности является сравнение коммуникационных сообщений на внешнем интерфейсе модуля. При обнаружении неисправности, коммуникационное сообщение прерывается, и выполняется самодиагностика обоих модулей, чтобы определить, какой из модулей является неисправным. Затем исправный модуль принимает на себя управление, не оказывая влияния на нормальную работу системы. После этого сообщение о прерванном коммуникационном сообщении передается

исправным модулем через механизмы повторной передачи коммуникационного протокола.

PlantScape. Резервирование контроллера системы **PlantScape** состоит в использовании двух каркасов с одинаковыми процессорами (рис. 7). В соответствии с технологией резервирования определяются ошибки в работе основного процессора, гарантируется синхронизация базы данных, осуществляется безударное переключение.

При конфигурировании резервированного контроллера содержимое каркасов должно быть идентичным и без модулей ввода/вывода. Связь между каркасами осуществляется с помощью модулей резервирования (RM), соединенных между собой оптоволоконным кабелем (скорость обмена - 20 Мбит/с). Коммуникационные сети между сервером и контроллером, между контроллером и удаленным вводом/выводом могут быть также зарезервированы (опция). Возможно резервирование и локальной сети.

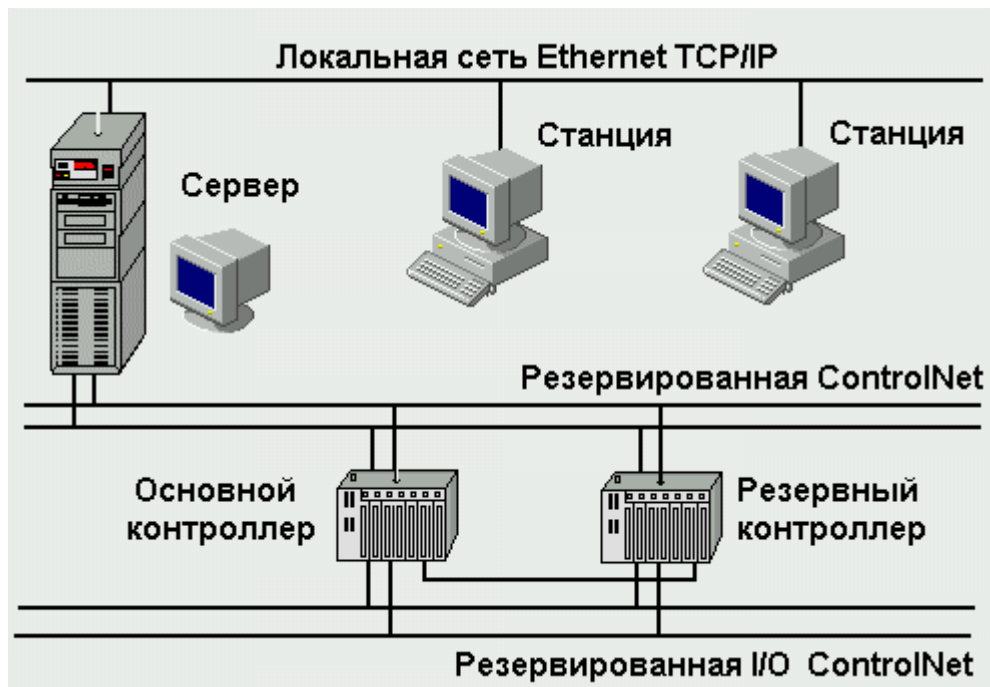


Рис. 7. Резервирование в системе PlantScape.

5. Интегрированное программное обеспечение (на примере I/A Series)

ПО I/A Series представляет собой набор программ, каждая из которых предназначена для выполнения конкретной функции. Другой отличительной особенностью ПО системы является высокая степень интеграции с аппаратными средствами. SCADA-пакеты могут работать с контроллерами различных производителей (при условии наличия соответствующих драйверов), ПО I/A Series предназначено только для работы в системе. До установки основной части ПО I/A Series проводится процедура System Definition, выполняемая в одноимённом программном пакете, которая предназначена для конфигурации аппаратной части системы. Поскольку

система под конкретный проект поставляется “под ключ”, данная процедура выполняется поставщиком. При изменении конфигурации системы (добавление станций, модулей FBM, управляющих процессоров) данная процедура должна проводиться вновь и всё ПО I/A Series устанавливаться заново.

Основой программного обеспечения I/A Series является программа **FoxView**. Она представляет собой “окно” пользователя в среду I/A Series. Одна из основных функций FoxView – отображение хода технологического процесса во времени и предоставление оператору средств контроля. В программе осуществляется сигнализация неполадок в работе аппаратной части и алармов технологического процесса. Из главного меню FoxView может быть осуществлён доступ к различным **конфигураторам**, используемым для создания прикладного ПО системы управления конкретным процессом.

Наиболее важным конфигуратором является конфигуратор интегрированного управления **ICC** (Integrated Control Configurator), предназначенный для создания и редактирования базы данных управляющего процессора.

Для создания мнемосхем технологического процесса, называемых по терминологии I/A Series технологическими дисплеями или просто дисплеями, а также для построения трендов и фейсплейтов (окно, содержащее информацию о переменных, хранящихся в базе данных) используется пакет **FoxDraw**.

Для мониторинга аппаратной части системы и её настройки применяется программа **SMDH** (System Monitor Display Handler).

Для отображения алармов технологического процесса применяется **Alarm Manager**, доступ к которому осуществляется из окна FoxView. Конфигуратор данной программы используется для настройки параметров отображения алармов.

В целях работы с информацией базы данных (ведение истории, архивирование и т.д.) используется пакет **AIM*AT**. Он включает в себя ряд программ предназначенных для различных целей:

- AIM*Historian для ведения истории процесса и архивирования данных
- AIM*DataLink для экспорта информации из базы данных в ПО сторонних поставщиков (например, в Excel)
- AIM*Explorer используется для построения усовершенствованных трендов параметров процесса
- OPC Server применяется для передачи информации в сеть предприятия

Помимо данных программных средств, работающих только в среде I/A Series, широко распространено инженерное ПО – **FoxCAE** и **IACC**, обладающие возможностью функционировать вне системы.

Окно программы FoxView (рис.8) при загрузке автоматически появляется на экране монитора.

Окно программы разбито на несколько областей:

- Строка главного меню.
- Системная панель, содержащая две кнопки – System и Process, строку времени/даты и строку событий.
- Строка состояния, на которой указываются путь к открытому технологическому дисплею, текущая рабочая среда, число открытых оверлеев, используемый экземпляр истории.
- Дисплейная панель, обеспечивающая быстрый доступ к технологическим дисплеям.
- Область отображения технологических дисплеев.

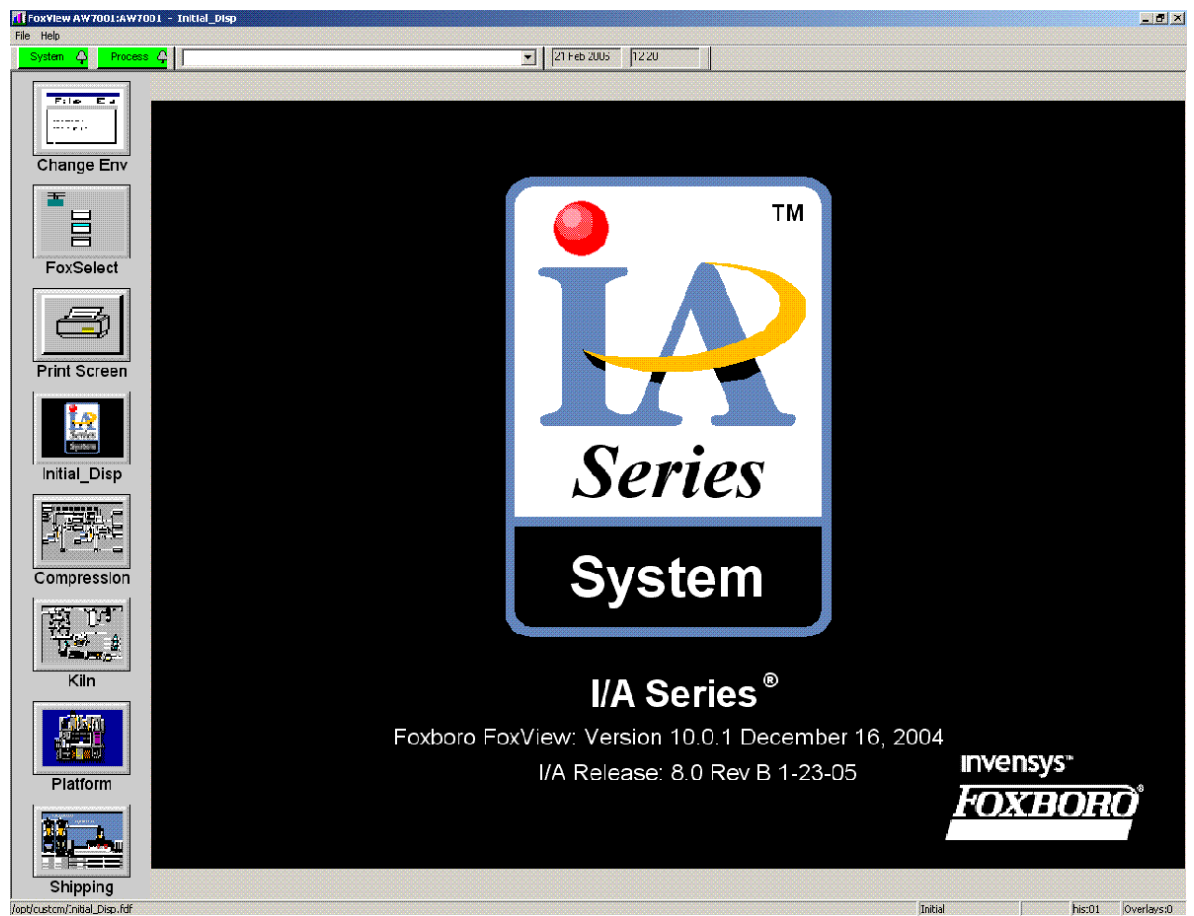


Рис.8. Окно FoxView.

Важным понятием при работе в FoxView является понятие рабочей среды, или просто среды. Среда определяет внешний вид окна и предоставляет различный уровень доступа к его объектам. Изначально определено четыре среды:

- Initial
- Operator
- Process_Eng
- Softw_Eng

Каждой среде соответствует три одноименных (имя среды) файла разных типов (.env, .mbr и .), находящихся в каталоге D:/opt/env. В них прописаны все элементы окна FoxView и уровни доступа. Создание новых троек файлов с другими именами позволяет создать новые среды.

Среда Softw_Eng предоставляет максимальный доступ к конфигураторам системы.

Важным элементом окна является системная панель, в частности кнопки System и Process (см. рис. 8, слева вверху), отображающие соответственно неисправности аппаратных средств системы и алармов процесса. Они могут быть красного или зелёного цвета.

	Мигает	Не мигает
Красный	Аларм не квитирован	Аларм квитирован
Зелёный	Нет алармов, но что-то осталось несквитированным	Нет алармов

При нажатии на кнопки запускаются соответственно SMDH (программа мониторинга аппаратной части) и Alarm Manager. SMDH позволяет просмотреть конфигурацию оборудования, выявить неисправности, произвести настройку. Alarm Manager служит для отображения алармов технологического процесса.

Из Alarm Manager доступно семь дисплеев алармов, переключение между которыми осуществляется из пункта главного меню Displays:

- Most Recent Alarms (самые последние аварийные сигналы) – самые последние несквитированные аварийные сигналы, обновляемые каждую секунду.
- New Alarm Summary (Сводка новых аварийных сигналов) – все активные несквитированные аварийные сигналы.
- Unacknowledged Alarm Summary (Сводка несквитированных аварийных сигналов) – все несквитированные аварийные сигналы, которые вернулись в нормальное состояние.
- Acknowledged Alarm Summary (сводка квитированных аварийных сигналов) – все активные квитированные аварийные сигналы.
- Alarm History (предыстория аварийных сигналов) – все сообщения об аварийных сигналах и возвратах в нормальное состояние из выбранного архиватора Historian.
- Operations (Операции) – управление сиреной и возможность изменения среды.

База данных управляющего процессора. Конфигуратор ИСС.

В основе функционирования системы I/A Series лежит база данных управляющего процессора. База данных представляет собой набор компаундов, в состав которых входят блоки.

Блок – это типовый алгоритм, предназначенный для выполнения определённой функции. Существует более ста стандартных алгоритмов. Каждый блок обладает большим набором параметров, позволяющих приспособить стандартный алгоритм под выполнение конкретной задачи. Параметры блоков устанавливаются в процессе создания базы данных.

Блоки объединяются в компаунды. Компаунд – логическая совокупность блоков, выполняющихся вместе (с одними и теми же периодом и фазой). Упрощенно, компаунд – это алгоритм управления технологическим параметром (параметрами), построенный на базе типовых алгоритмов (блоков). Например, если речь идет о регулировании технологического параметра по одноконтурной схеме (объект, датчик, регулятор, исполнительное устройство), компаунд должен состоять (как минимум) из трех последовательно соединенных блоков – блока аналогового ввода - AIN, блока, реализующего закон регулирования (например, PID), и блока аналогового вывода - AOUT.

Реально цепочка блоков компаунда включает еще и другие блоки, но в рамках данной лекции это не рассматривается.

Для создания и редактирования базы данных в среде I/A Series применяется интегрированный конфигуратор управления (ICC), а для просмотра детальных дисплеев блоков и компаундов (окна, содержащие значения всех параметров, а также тренды, средства управления и ручного ввода) – программа FoxSelect.

Доступ к ICC осуществляется из главного меню FoxView - Config/Control_cfg/CIO_config. Эта команда вызывает на экран стартовое окно программы (рис. 9), называемое окном выбора компаундов - COMPOUND SELECTION.



Рис. 9. Окно выбора компаундов.

После создания компаунда потребуется создание блоков, реализующих алгоритм управления, ввод параметров блоков. Затем компаунд должен быть загружен в управляющий процессор (если его разработка проводилась в библиотеке). Проверка его работы осуществляется в программе FoxSelect включением на исполнение.

Подробно методика работы в программах FoxView, ICC, FoxSelect, FoxDraw будет описана в пособии, специально предназначенном для изучения компонентов программно-аппаратного комплекса I/A Series.

Итак, комплексная автоматизация технологического процесса может быть решена двумя путями:

- на базе распределенной системы управления (PCU/DCS);
- на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК/PLC) и человеко-машинного интерфейса (ЧМИ/SCADA).

Каждый из этих путей имеет свои положительные и отрицательные стороны.

Подход	Характеристика	+/-
PCU	Очень высокая надежность и степень готовности	+
	Полностью интегрированные инструменты ЧМИ, базы данных и приложения	+
	Оптимальная для непрерывного управления	+
	Дорогая архитектура для многих приложений	-
	Улучшение функциональности сильно усложняет структуру	-
ПЛК с ЧМИ	Привлекательная цена, модульное аппаратное обеспечение	+
	Оптимальная для высокоскоростных логических приложений	+
	Контроллер, ЧМИ и приложение не интегрированы	-
	Не детерминистская, менее современная концепция управления	-
	Нет композитных точек, для каждого параметра используется имя	-

Контрольные вопросы.

1. Два направления на пути создания многоуровневых систем управления и их сравнительная характеристика.
2. DCS-системы – общая характеристика, компоненты, область применения. Примеры.
3. Архитектура I/A Series 6-ой версии.

4. Архитектура I/A Series 8-ой версии.
5. Управляющие процессоры в DCS-системах.
Сравнительная характеристика управляющих процессоров в DCS системах и процессорных модулей контроллеров в системах SCADA.
6. Сети и шины в DCS-системах. Характеристика сетей DCS и SCADA-систем.
7. Надежность DCS-систем. Примеры.
8. Интегрированное программное обеспечение I/A Series Foxboro.

Лекция №6

Интеграция АСУТП и АСУП

1. Актуальность интеграции

Говоря о программном обеспечении систем автоматизации, нельзя оставить без внимания и процессы, связанные с внедрением бурно развивающихся информационных технологий и на вышестоящих уровнях управления промышленным предприятием. Конечно, эффективность функционирования предприятия определяется эффективностью работы его отдельных производственных подразделений, технологических установок (АСУТП). Но невозможно говорить об эффективности отдельной АСУТП в отрыве от системы управления предприятием в целом.



Автоматизация предприятий (в том числе и нефтегазовых) в России на протяжении последних десятилетий строилась по трехуровневому принципу (рис. слева). В любой системе управления, построенной по иерархическому принципу, предполагается движение информации в двух направлениях: «снизу вверх» (восходящий поток) и «сверху вниз» (нисходящий поток).

С нижнего уровня информация от различных датчиков поступает на автоматические регуляторы (контроллеры) и в виде управляющих воздействий возвращается на исполнительные устройства (ИУ). На этом уровне замыкаются контуры автоматического управления (САУ), а информация о параметрах технологического процесса поступает выше - на уровень АСУТП. Здесь (в операторной/диспетчерской) информация отображается на экранах, табло и регистрируется. Оперативный персонал имеет также возможность формировать управляющие воздействия: на регулятор - изменением задания, на объект - в режиме ручного дистанционного управления исполнительными устройствами.

Вверху, на уровне АСУП (в мировой практике этот уровень управления получил название ERP - Enterprise Resources Planning - планирование ресурсов предприятия), имеются структуры, обеспечивающие финансово-хозяйственную деятельность предприятия в целом, планирование и учет производства, в том числе:

- управление финансами;
- бухгалтерский учет;
- энергетическое обеспечение;
- материально-техническое обеспечение;
- сбыт готовой продукции;
- ремонтно-техническое обеспечение;
- управление персоналом и т. д.

Результатом их деятельности являются планы, задания, регламенты, которые в качестве управляющих воздействий «спускаются» на уровень АСУТП. Вот здесь и возникает главный вопрос - а на базе какой информации все эти задания и планы вырабатывались? Дело в том, что **автоматически** «поднять» **оперативную** информацию до уровня принятия стратегических решений долгое время не удавалось. В результате информация для принятия управленческих решений часто была не только **не оперативной** (устаревшей), но и **недостоверной** (человеческий фактор).

В России исторически сложилось так, что автоматизация управления промышленными предприятиями долгое время осуществлялась по двум достаточно обособленным и независимым друг от друга направлениям (АСУТП и АСУП).

Развитие этих направлений обычно осуществлялось различными коллективами специалистов, подчиненных руководителям различных служб, было плохо скоординировано. Оба направления не были связаны между собой ни организационно, ни физически, ни информационно. Кроме того, автоматизация обоих этих направлений строилась на разнородных технических и программных средствах, не предусматривала возможности стандартизации каналов обмена информацией между уровнями.

- В 90-х годах прошлого века в России (особенно в нефтегазовой отрасли) начался бурный процесс модернизации технических средств автоматизации. На смену морально и физически устаревшим средствам пришли современные программно - технические комплексы. Это и **контроллеры (PLC)** различных производителей, и **DCS** различных масштабов, на базе которых можно строить интегрированные системы управления не только технологическими установками, а даже цехами и небольшими заводами. **SCADA**-системы уже стали неотъемлемой частью многих модернизированных и вновь введенных АСУТП.

Особенностью этих систем является то, что они работают с потоками данных, поступающими в реальном масштабе времени, с высокой частотой (периоды опроса – порядка секунд и даже долей секунд) и из большого числа источников (от сотен до десятков тысяч параметров). Эта информация хранится в базах данных не реляционного типа и используется для оперативного управления технологическим процессом. Но информация, успешно используемая в АСУ ТП, неудобна для системы верхнего уровня управления.

Положительные результаты автоматизации технологических процессов очевидны – успешно идет процесс замены морально и физически устаревших средств автоматизации на современные и надежные микропроцессорные системы (DCS или SCADA). На предприятиях появились специалисты, владеющие компьютерными системами и современными методами управления, специалисты по информационным технологиям (ИТ).

- Для решения задач автоматизации управления административно-хозяйственной деятельностью предприятий (АСУП) в последнее время создается и широко внедряется большое количество типовых систем управления. По функциональным возможностям все эти системы неравнозначны. Среди них имеются и так называемые коробочные продукты, реализующие очень небольшое количество функций (бухгалтерские, складские и т. п.), и мощные системы, способные моделировать происходящие на предприятии процессы управления (SAP/R3, Baan, Oracle Applications). Представлены и системы среднего класса (JD Edward's, MFG – Pro, SyteLine, Renaissance, Concorde XAL, SunSystems, БОСС-Корпорация, Галактика, Парус, Ресурс и др.), способные реализовать достаточно большое количество функций по различным направлениям – финансы, персонал, сбыт.

Особенностью всех этих систем является применение современных **реляционных** баз данных, таких как, например, Oracle, Informix, Microsoft SQL Server и других, наиболее хорошо приспособленных для решения задач анализа. На этом уровне нужна только предварительно подготовленная, интегрированная информация о технологических процессах, состоянии оборудования, расходных показателях (данные типа средних за определенные промежутки времени, нарастающим итогом, объемы выработанной продукции и т. д.). Такие данные должны поступать в систему гораздо реже, чем данные реального времени, но они должны быть оперативными и достоверными.

Внедрение в процесс управления этих мощных программных комплексов не принесло ожидаемого эффекта. Основной недостаток таких систем заключается в том, что они изначально не могли **оперативно** и **адекватно** реагировать на реальные проблемы производства, которые на предприятии обычно непредсказуемы. Системы автоматизированного планирования и управления производством развивались из бухгалтерских систем, которые хорошо выполняют учетную роль, но не показывают пути совершенствования производства. А именно эта задача стоит сейчас перед большинством отечественных предприятий.

Вновь сложилась ситуация, когда и на новом витке автоматизации на предприятиях часто отсутствует обмен оперативной информацией не только между уровнями управления (вертикальные связи), но и между системами одного и того же уровня (горизонтальные связи).

С технической точки зрения **горизонтальная** интеграция предполагает объединение между собой всех автономных систем автоматизации технологических и производственных процессов, а также административных отделений цехового уровня в единую информационную сеть. Это обеспечит необходимый обмен данными в реальном масштабе времени между всеми подразделениями основного и вспомогательного производства. С производственной точки зрения, это означает учет каждого шага производственного процесса от прибытия сырья до выдачи готовой продукции.

Вертикальная интеграция базируется на организации потоков информации от нижнего уровня (датчиков и контроллеров) во внутренние и внешние компьютерные сети предприятия и через них в административные системы управления. Данная задача решается путем объединения промышленных и административных сетей. Основная цель вертикальной интеграции - устранение препятствий на пути информационных потоков между уровнями АСУП и АСУТП с целью оперативного обмена данными.

На предприятиях автоматизированный обмен информацией часто бывает невозможным по следующим причинам:

- далеко не все технологические процессы автоматизированы на базе современных программно-аппаратных средств;
- имеются устаревшие системы автоматизации, подключение которых к сети организовать очень трудно;
- некоторые системы сделаны под DOS и отсутствует коммуникационное обеспечение;
- отсутствуют физические линии связи (ЛВС);
- организационные проблемы.

Современная автоматизация технологических процессов одного цеха часто бывает реализована на разнородных программно-аппаратных средствах. Здесь можно встретить системы управления различных фирм-производителей DCS и SCADA (ABB, Fisher Rosemount, Foxboro, Honeywell, Intellution, Wonderware и др.). Для анализа такой «разношерстной» информации ее потребуется привести к единому формату. В специальной периодической прессе даже появились такие термины, как «острова» или «лоскуты» автоматизации.

Можно констатировать, что на предприятиях часто отсутствует единая информационная среда, которая смогла бы стать основой системы оперативного учета и управления ресурсами производства. Нехватка прежде всего технологической информации становится все более и более актуальной. Сегодня практически все службы предприятий заинтересованы в получении оперативных и объективных технологических данных.

Из всего вышеизложенного следует объективная необходимость **интеграции** уровней АСУТП и АСУП – сегодня для этого созданы все необходимые предпосылки:

- руководство предприятий становится все более заинтересованным в получении оперативной и объективной информации о текущих и архивных значениях параметров технологических процессов;
- на многих предприятиях уже создана достаточная сетевая инфраструктура (сети Ethernet на уровне предприятия, стандартные промышленные шины на уровне АСУТП);
- на рынке средств автоматизации уже появились специализированные программные продукты различных типов, в том числе и от разработчиков SCADA-систем.

Основная цель интеграции различных подсистем предприятия - объединение информационных потоков, создание единого информационного пространства для объективной и оперативной оценки текущей ситуации, оперативного принятия оптимальных управленческих решений, ликвидации информационных и организационных барьеров между управленческим и технологическим уровнями.

2. Интегрированная система управления предприятием

За последние три-четыре года в специальных периодических изданиях появилось большое количество статей, посвященных вопросам интеграции уровней АСУП и АСУТП. Все специалисты сходятся во мнении, что в иерархии управления необходим промежуточный **интегрирующий** уровень, который мог бы служить мостом между разнородными потоками информации этих уровней (рис. 1). Что касается инструментальных средств (программного обеспечения) для реализации задачи объединения информационных потоков, то их выбор определяется, прежде всего, конкретными условиями (сложившейся на предприятии структурой информационных потоков, используемым на разных уровнях программным обеспечением, действующими протоколами обмена и т. д.), а также потребностями в информации специалистов и руководителей всех уровней.

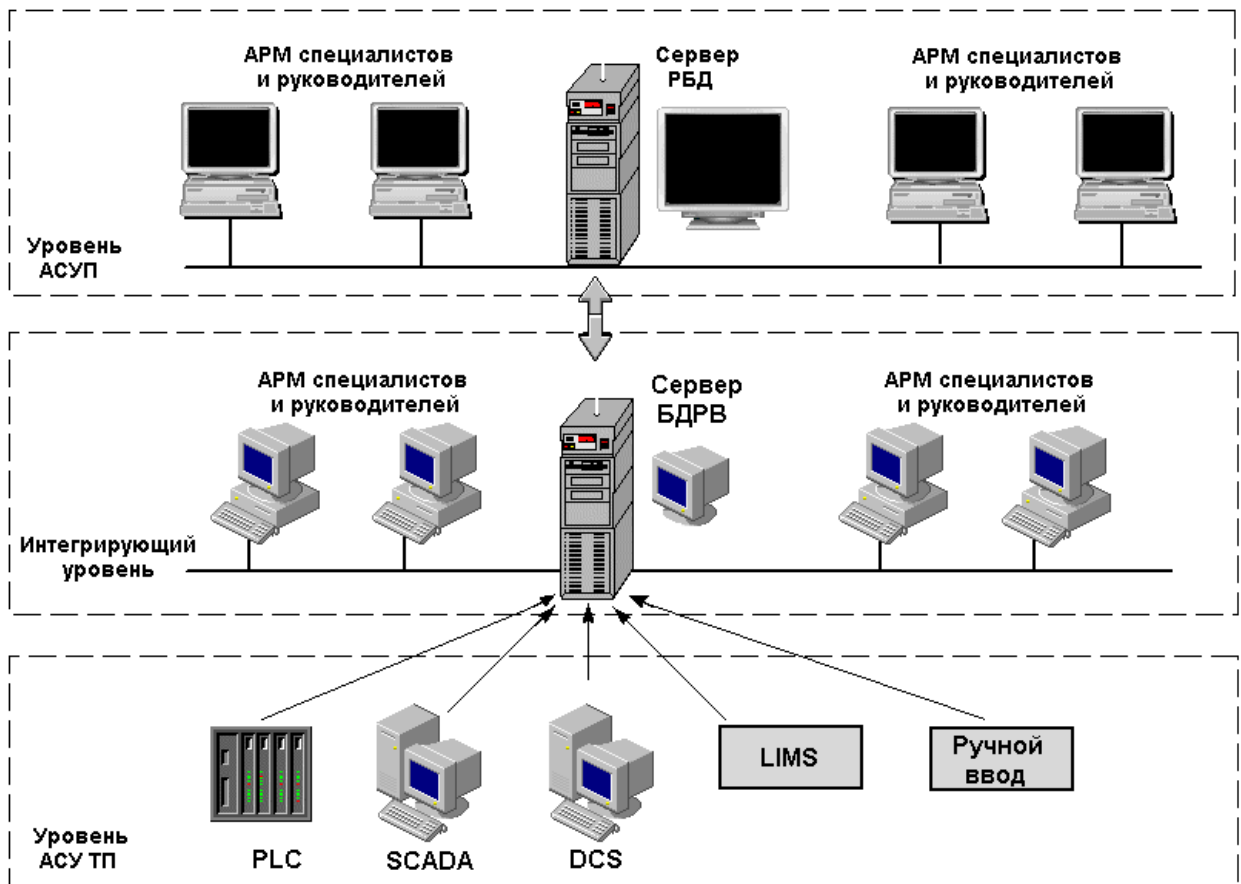


Рис. 1. Интегрированная система управления предприятием.

В общем случае обмен данными между АСУП и АСУ ТП осуществляется по вертикали во встречных направлениях.

Восходящий поток формируется производственной информацией, поступающей с технологических участков, установок и цехов. В основном эта информация передается автоматизированным способом от действующих АСУТП, созданных на базе SCADA и DCS. Результаты лабораторных анализов формируются в лабораторных информационных системах (LIMS - Laboratoire Informatic Management System). Предусмотрен ручной ввод данных, которые не могут быть введены в систему автоматизированным способом. Этот поток данных обеспечивает специалистов и руководителей верхнего уровня сведениями о количественных и качественных показателях переработанного сырья и продуктах переработки, технологических режимах и их нарушениях, состоянии технологического оборудования, потреблении реагентов и энергоносителей, затратах труда и т. д.

Нисходящий поток представляет собой производственные задания, графики работы и ремонтов, технологические регламенты, спецификации на качество вырабатываемых нефтепродуктов и т. п.

Анализ существующих АСУ показывает, что и между подсистемами технологического уровня (горизонтальные связи), и между подсистемами вертикального подчинения происходит интенсивный обмен информацией. В то же время многие каналы связи либо вовсе не автоматизированы, либо автоматизированы недостаточно.

Основные (базовые) функции интегрирующего уровня:

- сбор и унификация информации от различных АСУ ТП предприятия и других источников технологической информации, сильное ее сжатие и долговременное хранение единого архива;
 - быстрый доступ к информации любого «клиента» (специалиста или руководителя) и ее представление в едином формате;
 - поддержка каналов обмена информацией с уровнем АСУП, представленным такими системами, как SAP/R3, Oracle Application, Baan, Галактика и другими.

На постсоветском пространстве сформировалось несколько основных подходов к автоматизации управления производством в реальном масштабе времени. В этих рамках ведутся работы по созданию информационных систем производства (ИСП), автоматизированных систем оперативного диспетчерского управления (АСОДУ), систем поддержки принятия решений (СППР) и т.п. Как правило, объем реализуемых функций и подходы к решению функциональных задач на различных предприятиях индивидуальны и обусловлены потребностями специалистов в производственной информации на момент внедрения информационной системы.

В различных источниках этот архитектурный уровень управления называют по-разному. Это и понятно - конкретно заниматься созданием

интегрированных систем управления предприятием в России еще только начинают. А поэтому и отсутствие единой терминологии.

В мировой практике сформировалась и закрепились идеология MES (Manufacturing Execution Systems). По определению APICS (American Production and Inventory Control Society) MES - это информационная и коммуникационная система производственной среды предприятия. Более развернутое определение дала международная некоммерческая ассоциация MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association). MES-система - это АСУ производственной деятельностью предприятия, с помощью которой в режиме реального времени осуществляются контроль, документирование, планирование и оптимизация производственных процессов от поступления сырья до выпуска готовой продукции.

Используя фактические технологические данные, MES-системы поддерживают всю производственную деятельность предприятия в режиме реального времени. Быстрый результативный отклик на изменяющиеся условия помогает эффективно управлять производственными операциями и процессами. Кроме того, MES-системы формируют данные о текущих производственных показателях, необходимые для функционирования ERP-систем. Таким образом, MES-система - это связующее звено между



ориентированными на финансово-хозяйственные операции ERP-системами и оперативной производственной деятельностью предприятия на уровне цеха, участка или производственной линии.

Отсюда следует, что интегрированную автоматизированную систему управления промышленным предприятием можно представить в виде четырех взаимосвязанных уровней управления (рис. слева).

При этом каждый уровень управления характеризуется “своей” интенсивностью циркулирующей в нем информации, своим масштабом времени и своим набором функций.

- Контур управления уровня САУ является самым жестким по времени реакции, которое должно измеряться долями секунд и миллисекундами.
- Уровень АСУТП является самым интенсивным по объему информации, но, как правило, менее жестким с точки зрения времени. В SCADA-системах происходит накопление и обработка большого числа технологических параметров и создается информационная база исходных данных для производственного уровня.
- Оперативно-производственный уровень управления опирается на объективную информацию, поступающую как от АСУТП, так и от других

служб производства. Интенсивность информационных потоков здесь существенно ниже и связана с задачами оперативного планирования и оптимизации заданных производственных показателей (качество продукции, производительность, энергосбережение, себестоимость и т.д.). Временные циклы управления составляют минуты, часы, смены, сутки. Оперативное управление производством осуществляется специалистами, которые детально владеют производственной ситуацией (руководители производственных цехов, участков, главные технологи, энергетики, механики и др.). В связи с этим должно повышаться качество и эффективность принимаемых на этом уровне решений.

- Стратегический уровень управления освобождается в этом случае от решения оперативных задач производства и обеспечивает поддержку бизнес-процессов предприятия в целом. Поток информации от производственного уровня становится минимальным и включает в себя агрегированную управляющую и отчетную информацию с типовыми временами контроля декада, месяц, квартал. Сюда же поступает информация об аварийных ситуациях, требующих немедленного вмешательства высшего управленческого персонала предприятия.

Задачи, решаемые на уровне управления производством:

⇒ *Сбор, хранение и предоставление данных*

Эта функция обеспечивает информационное взаимодействие различных производственных подсистем для получения, накопления и передачи технологической и управленческой информации, циркулирующей в производственной среде предприятия. Данные о ходе производства могут вводиться как автоматически с заданной периодичностью из АСУТП, так и вручную оперативным персоналом.

⇒ *Диспетчеризация производства*

Обеспечивает текущий мониторинг и диспетчеризацию процесса производства, отслеживает выполнение операций, занятость оборудования и людей, контролирует в реальном времени выполнение работ в соответствии с планом.

⇒ *Оперативное планирование*

Эта функция обеспечивает оперативное и детальное планирование работы, основанное на приоритетах, атрибутах, характеристиках и свойствах конкретного вида продукции, а также детально и оптимально вычисляет загрузку оборудования при работе конкретной смены.

⇒ *Управление качеством продукции*

Предоставляет данные измерений о качестве продукции, в том числе и в режиме реального времени, собранные с производственного уровня, обеспечивая должный контроль качества и привлекая внимание к отклонениям качественных показателей продукции от заданных.

⇒ *Управление производственными фондами (техобслуживание)*

Поддержка процесса технического обслуживания, планового и

оперативного ремонта производственного и технологического оборудования и инструментов в течение всего производственного процесса.

На Западе использование MES-систем считается очевидным, и при решении задач комплексной автоматизации предприятия одновременно ищутся решения для трех взаимосвязанных уровней управления: АСУТП, MES и ERP. В России же подобные системы практически неизвестны и игнорирование их необходимой роли является причиной существенных проблем при создании комплексных систем автоматизации промышленных предприятий.

Разработчики инструментальных систем (в том числе и разработчики SCADA) предлагают использовать в целях интеграции различные типы программных продуктов. Ясно одно: поскольку речь идет о создании единого информационного пространства, одним из основных компонентов программного обеспечения уровня управления производством должны быть базы данных (БД) или архивы, ориентированные на хранение и обработку больших объемов данных реального времени из различных источников. Ведение архива и обработка запросов — это задачи сервера. Не менее важны и клиентские приложения, способные представлять информацию в требуемом виде и формате.

3. Базы данных реального времени

Важными компонентами, используемыми на верхних уровнях, являются системы управления базами данных (СУБД). Предприятия с помощью СУБД преодолели проблемы, связанные с огромными объемами дублированной и иногда противоречивой информации, предоставляемой к тому же различными и зачастую несовместимыми друг с другом способами. Но использование традиционных реляционных баз данных, ориентированных на решение задач уровня АСУП, не всегда возможно в системах управления производственного уровня. Здесь можно выделить несколько основных ограничений.

- Производственные процессы генерируют данные очень быстро. Чтобы хранить производственный архив системы, например, с 7500 рабочими переменными, в БД каждую секунду необходимо вставлять 7500 строк. Обычные БД не могут выдержать подобную нагрузку.
- Объемы производственной информации огромны. Многомесячный архив завода с 7500 технологическими переменными требует под БД дисковую память объемом около 1 Терабайта. Современные технологии такими объемами манипулировать не могут.
- SQL как язык не подходит для обработки временных или периодических данных, типичных для производственных систем. В частности, чрезвычайно трудно указать в запросе периодичность выборки возвращаемых данных.

Как результат преодоления этих ограничений появился новый класс продуктов - базы данных реального времени (БДРВ). При этом намечаются две концепции создания БДРВ: независимая, новая разработка БД и разработка БДРВ на основе известных реляционных БД, например, MS SQL Server.

3.1. Industrial SQL Server (Wonderware)

IndustrialSQL Server и его особенности

IndustrialSQL Server - внутризаводской хранитель архивной информации, включая данные о событиях и соответствующих реакциях. IndustrialSQL Server представляет собой РБД, в которой учтены источники, скорость поступления и объемы производственной информации (рис.3). Он позволяет осуществлять сбор и запись данных в сотни раз быстрее, чем это делают обычные БД на аналогичной платформе, и при этом занимает значительно меньше дискового пространства.

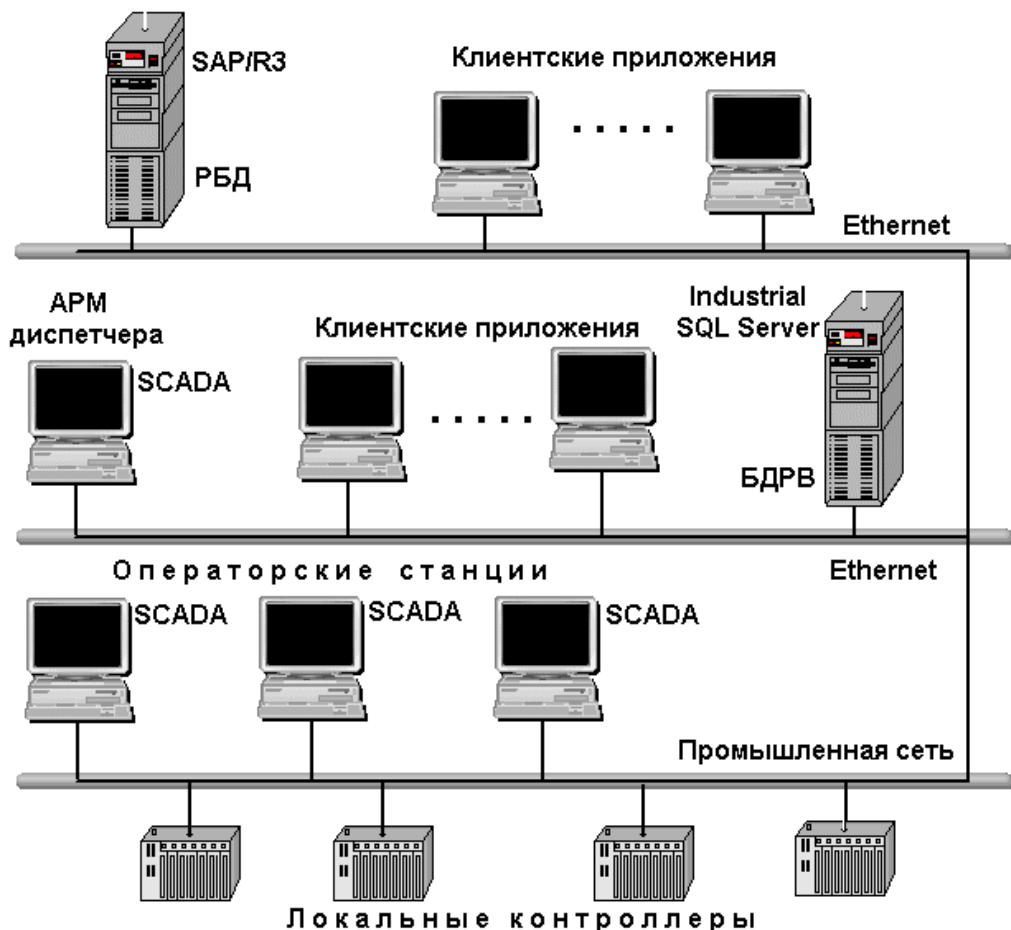


Рис. 3. Industrial SQL Server в интегрированной системе управления.

Несмотря на то, что IndustrialSQL Server поставляется компанией Wonderware как самостоятельный продукт, он в то же время является одним

из главных компонентов пакета FactorySuite2000, его стержнем. Будучи интегрированным со SCADA-системой InTouch, IndustrialSQL Server способен накапливать при помощи серверов ввода/вывода информацию практически от любых измерительных приборов и устройств сбора данных.

Информационные потоки IndustrialSQL Server и их направление являются стандартными для баз данных реального времени: с одной стороны - это данные, поступающие из различных источников для сохранения в БД по стандартным протоколам DDE, OPC, SuiteLink, с другой - данные, запрашиваемые потребителями через интерфейс SQL сервера.

Стандартным механизмом поиска информации на сервере IndustrialSQL Server является SQL, что гарантирует доступность данных самому широкому кругу приложений. В подмножество языка SQL входит расширение, служащее для получения динамических производственных данных из IndustrialSQL Server и позволяющее строить запросы на базе временных отметок. Все приложения, работающие с Microsoft SQL Server, могут также подключаться и к IndustrialSQL Server.

Для хранения данных реального времени в IndustrialSQL Server используются исторические блоки или файлы специального формата. Основное требование к ним - обеспечение высокой скорости регистрации и повышенное сжатие данных.

В IndustrialSQL Server (версии 7.1 и выше) наряду с доступом по SQL-запросам, добавлена возможность получения данных по протоколам OPC, DDE, SuiteLink.

4. Специализированные программные средства

Для организации информационного потока между технологическим уровнем (АСУТП) и бизнес-системой ряд разработчиков инструментальных систем (в том числе и SCADA) предлагают использовать специальный тип программных продуктов.

Наиболее популярные программные продукты, способные решать задачи интеграционного уровня, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование продукта	Фирма-производитель
ABB Simcon Inc.	Integrated Refinery Information System (IRIS)
Aspen Technology	Aspen Tech's InfoPlus.21
Honeywell HI-Spec Sotution	Uniformance
Invensys Performance Solution	Integrated Control and Infomation System (ICIMS)

Petrocom	Калькулятор
OSISoft	Plant Information System (PI System)

Integrated Refinery Information System (IRIS) представляет собой интегрированный коммерческий пакет программных модулей. Он обеспечивает деятельность операторов, инженеров, планирование и управление с функциями хранения, представления и анализа технологических и лабораторных данных. Имеются библиотеки типовых приложений для конечных пользователей. Пакет включает также модули отчетов, расчета тепловых и материальных балансов, планирования, оптимизации, мониторинга окружающей среды, анализа данных, трендов и SQC-расчетов.

Ядро системы IRIS - реляционная база данных для хранения от 50 до 100 000 тегов за пять лет с минутным разрешением.

IRIS имеет распределенную клиент-серверную архитектуру, поддерживает платформы UNIX, RISC, Intel PC и стандартные технологии TCP/IP, OLE, DDE и MS Windows, обеспечивая персоналу предприятия доступ к данным системы IRIS и приложениям по сети LAN.

Aspen Tech's InFoPlus.21 - информационно-управляющая система, обеспечивающая инфраструктуру для сбора, целостности, управления, и представления технологических данных, в то время как ERP-системы интегрируют управленческие данные. Эта система также обеспечивает инфраструктуру для интегрированных приложений, таких как управление технологическими процессами, управление производством, управление качеством.

Aspen Tech's InFoPlus.21 интегрирует технологические данные в ERP-систему для совершенствования и улучшения поддержки принятия решений, обеспечивает качественными данными все подразделения предприятия.

Integrated Control and Infomation System (ICIMS) усиливает поддержку принятия решений, обеспечивая интеграцию между системой управления нижнего уровня, информационными системами управления производством, техническими информационными системами и системой управления бизнес-процессами.

ICIMS включает сетевую TCP/IP-архитектуру, архив истории, лабораторную информационную систему, электронную систему документации, финансовой отчетности, базирующихся на ERP-инструментах (SAP, BAAN или JD Erdwards).

Кроме перечисленных выше систем имеется еще целая гамма

программных продуктов, ориентированных на конкретные технологические производства, например, нефтеперерабатывающие заводы, и предназначенных для решения отдельных задач этого уровня (системы расчета и согласования материальных балансов, системы управления движением нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках, лабораторные информационные системы и т. д.).

Программные продукты подобного класса совсем недавно появились в России. Тем не менее, уже проявляются критерии для сравнения этих систем:

- Количество интерфейсов к АСУТП (DCS, SCADA)
- Масштабируемость системы
- Характеристики алгоритма “сжатия” и восстановления данных
- Требования к памяти
- Возможность “горячего” резервирования серверов
- Клиентские приложения – удобство работы
- Количество одновременно поддерживаемых клиентов
- Скорость обработки операций чтение/запись
- Стоимостные характеристики

Список приведенных критериев не претендует на полноту. Глубокий анализ программных продуктов этого класса еще предстоит сделать специалистам. Но об одной важнейшей характеристике интегрированных информационных систем нельзя не сказать - наличие и число приложений для решения типовых задач производственного уровня.

4.1. Plant Information System

Назначение программного обеспечения PI System - сбор, хранение, обработка и представление информации. Каждая из перечисленных выше функций реализуется посредством различных компонентов и модулей программного обеспечения PI System.

⇒ Для сбора и передачи данных от действующих на предприятии АСУТП можно использовать стандартные PI-OPC-интерфейсы. Это позволит унифицировать программное обеспечение и снизить стоимость информационной системы. PI-интерфейсы обеспечивают:

- получение и запись данных от SCADA, DCS, контроллеров в режиме реального времени по событиям или расписанию с дискретностью до миллисекунды;
- автоматическое оповещение о нарушении физической связи PI-сервера и PI-интерфейса;
- автоматическое восстановление данных при восстановлении связи;
- сжатие данных для снижения трафика в локальной сети.

Гарантированная доставка данных (без резервирования физического канала) обеспечивается способностью PI-интерфейсов буферизовать данные за несколько суток в условиях отсутствия связи и автоматически передавать данные в PI-сервер при ее восстановлении.

PI-интерфейс имеет минимальный трафик в сети (80-100 Кбит/с при передаче 25000 параметров) за счет сжатия данных на уровне интерфейса, использования PI-API протокола передачи данных и оптимальной настройки сжатия данных на уровне интерфейса – возможности передачи данных по расписанию или событию. PI-интерфейс обеспечивает двухсторонний обмен данными между PI System и АСУТП и возможность передачи и хранения данных с миллисекундной отметкой времени. Таким образом, PI-интерфейс предъявляет минимальные требования к физическому каналу связи: протокол ТСР/ІР, скорость передачи 64 Кбит/с. Канал связи с такими характеристиками обеспечивает гарантированную передачу 10000 параметров.

Созданная на базе PI System информационная система может быть легко расширена за счет вводимых в эксплуатацию АСУТП, построенных на различной программно-аппаратной платформе. Для этого PI System имеет свыше 300 специализированных интерфейсов к системам АСУТП ведущих производителей мира.

Для взаимодействия PI System с реляционными базами данных можно использовать специализированный интерфейс PI-RDBMS либо стандартные протоколы ODBC или OLE DB, также поддерживаемые PI System.

Для связи PI System с верхним уровнем управления, построенным на базе системы SAP/R3, имеется специализированный коннектор RLINK. Это соединение сертифицировано разработчиком SAP/R3 - компанией SAP. Имеется и интерфейсы для связи PI System с системами JD Edwards и Renaissance.

Кроме того, PI System поддерживает стандартные протоколы DDE, COM/DCOM и имеет открытый программный интерфейс PI-API для разработки собственных интерфейсов к нетрадиционным системам.

⇒ **Хранение и обработка информации** – одна из главных задач PI System.

Функции хранения и обработки данных возложены на PI-сервер. Программное обеспечение сервера PI System включает следующие компоненты (рис. 6.4):

- PI Universal Data Server (PI-UDS);
- PI Data Storage (PI-DS);
- PI Server Apps;
- PI Data Access Pack (PI-DAP).

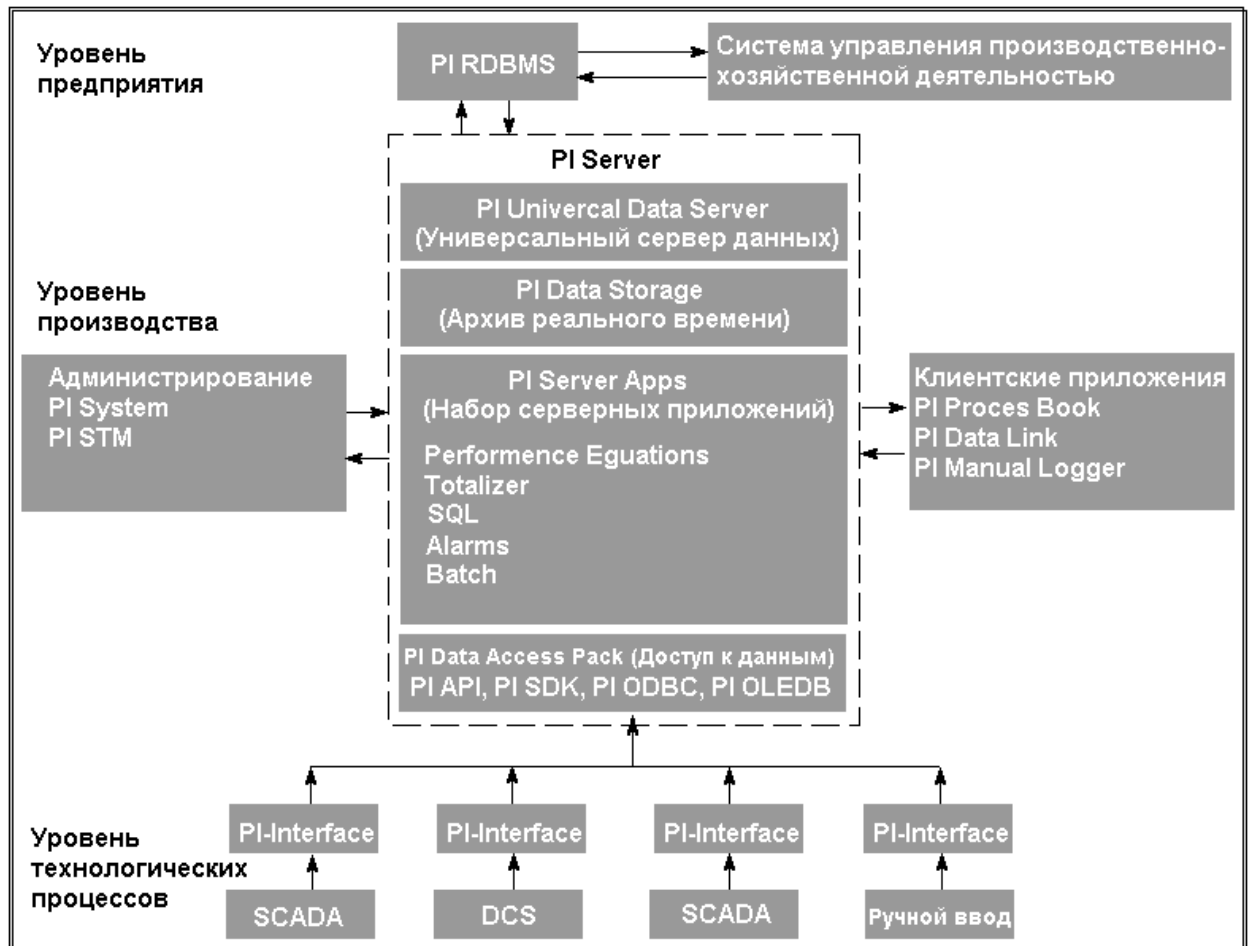


Рис. 4. Компоненты PI System.

➤ **PI Universal Data Server** является фундаментом PI System. PI-UDS выполняет функции сбора и распределения данных по всем подсистемам в режиме реального времени, обеспечивает взаимодействие с архивом данных, снабжая его «живыми» данными.

PI-UDS состоит из сетевого менеджера (PI Network Manager), базы данных тегов, менеджера обновлений и снимка (Snapshot) - резидентной памяти, в которую записываются текущие значения точек. PI-UDS также содержит универсальный адаптер данных (PI Universal Data Adapter), который применяется для доступа к данным баз данных истории других производителей. Эти базы соединяются с PI-UDS через соответствующий COM-коннектор.

➤ **PI Data Storage** - архив данных – один из важнейших компонентов системы. Объем архива определяется конфигурацией сервера. Алгоритм сжатия данных (линейная интерполяция) гарантирует их восстановление с точностью от 0,0000001 до 1 % шкалы измерения и с дискретностью 1 секунда, что позволяет работать с большими архивами.

Скорость записи/чтения в PI Data Storage может достигать 100 000 операций в секунду. Скорость доступа к информации оценивается как доступ

сотни пользователей к тысячам тегов за секунду одновременно, даже если все пользователи будут обращаться к одним и тем же тегам.

➤ **PI Server Apps** - набор серверных приложений, зависящий от конфигурации PI-сервера.

В сервер PI System входят следующие серверные приложения:

- *Performance Equations* - подсистема для выполнения сложных вычислений по формулам над данными из архива без дополнительного программирования.

- *Totalizer* - подсистема для интегральной обработки данных на определенных временных отрезках, называемых интервалами накопления (Accumulation Interval). По сравнению с Performance Equations вычисления с помощью Totalizer более точные, т.к. Totalizer использует данные не из архива, а из Snapshot, т.е. данные, к которым не применялось сжатие.

- *PI Alarm* - подсистема тревог предназначена для того, чтобы генерировать тревоги для точек PI System и сигнализировать о возникновении тревог. PI-Alarms дополняет, но не заменяет средства по обработке тревог, которые имеются в управляющих системах предприятия.

- *PI SQL* - предназначен для поддержки SQL запросов к архивированной информации. Благодаря этой подсистеме к архивам PI можно обращаться как к обычной реляционной базе данных. В дополнение к языку SQL сервер PI ODBC Server поддерживает запросы по времени.

- *PI Batch* - подсистема для обработки данных периодических процессов, продукция которых выпускается партиями. Записи, ассоциированные с партиями, содержат информацию об идентификаторе серии (Batch ID), идентификаторе продукции (Product ID) и единицах измерения продукции в партии. Пользователь может по запросу выбрать интересующие его партии.

- *PI Real-Time SQC* - проводит непрерывный контроль и обработку значений из PI System с использованием статистических методов. При возникновении неприемлемого отклонения от нормы *Real-Time SQC* генерирует и передает тревогу об этом событии в подсистему тревог.

- *PI ACE. Анализ производительности и эффективности в реальном времени, подсчет затрат и стоимости выработанного продукта, расчет неизмеряемых напрямую величин и вычисление по различным формулам с поправочными коэффициентами — все это требует математических вычислений различной сложности и периодичности. Максимально облегчая построение всевозможных вычислений, PI Advanced Computing Engine (среда выполнения инженерных расчетов) позволяет сфокусировать усилия инженеров на превращении текущих данных о производстве в полезную и нужную информацию. PI ACE позволяет создавать шаблоны вычислений для однотипных объектов, хранящихся в MDB, которые помогают стандартизировать и автоматизировать разработку вычислений для технологических процессов, что значительно снижает трудоемкость работы программистов.*

▪ **PI Analysis Framework.** *PI Analysis Framework* - новый шаг в идеологии развития *PI System* в сторону интеграции производственного моделирования и технологических данных реального времени. *PI AF* - инструмент для создания моделей и схем производства (организационных и технологических), состоящих из элементов и их взаимосвязей и взаимозависимостей. Элементы модели представляют собой как физическое оборудование (резервуары, теплообменники, смесители, измерители и т.д.), так и более абстрактные логические конструкции (эффективность, экология и т.д.). Разработанная модель позволяет включать в себя организационно-технологическую структуру предприятия, логику его функционирования, принципы контекстно-зависимого представления данных о производственном процессе. Основываясь на единой модели, доступной любым приложениям *PI System*, можно проводить различного рода анализ, обработку и представление информации о производстве, поступающую в реальном времени, например согласование технологических данных, расчет эффективности, анализ простоев технологического оборудования.

▪ **PI Sigmafine.** *Sigmafine* позволяет получить согласованный материальный, энергетический и покомпонентный баланс измерительной информации по установке, заводу или корпорации. Используя специальный алгоритм на основе метода наименьших квадратов, *SIGMAFINE* согласовывает все измерения приборов, учитывая точность и достоверность каждого прибора. Для каждого выбранного временного интервала *Sigmafine* рассчитывает согласованные измерения процесса так, чтобы они имели минимальное отклонение от действительных значений и одновременно, чтобы массовый и/или энергетический балансы сходились.

Расчет балансов - это основное применение согласованных данных и этот расчет необходимо производить в первую очередь, так как его используют другие типы расчетов. Расчет балансов используется для определения того, что может "наиболее вероятно" произойти в производстве за определенный временной интервал. Чтобы произвести расчет балансовых данных, *SIGMAFINE* берет отслеживаемые измерения параметров процесса и оценивает достоверность (отклонение) и точность (допуск) измерительных устройств. Затем *SIGMAFINE* производит расчет данных так, чтобы массовый и/или энергетический балансы были согласованы при минимуме отклонения действительных значений от согласованных.

▪ **PI Control Monitor.** Это приложение *PI* разработано для операторов, участвующих в управлении технологическим процессом. *PI CM* позволяет обнаружить сбои в контурах регулирования, оценить качество регулирования. Под контуром регулирования понимается комплекс программно-технических средств для управления параметром (качеством или количеством) выходной продукции или любым критически важным технологическим параметром. Также приложение *PI CM* используется инженерами службы АСУ ТП для обнаружения неисправностей в контурах регулирования (от датчика до исполнительного механизма) и планирования проведения профилактических работ.

▪ **IT Monitor.** *IT Monitor* - приложение, входящее в состав *PI System*, которое используется для контроля и анализа функционирования ИТ-структуры предприятия с точки зрения повышения ее производительности, надежности и безопасности.

Основываясь на базовых технологиях PI System, IT Monitor унифицирует и представляет данные реального времени о состоянии сетей, сетевого оборудования и приложений. IT Monitor обладает уникальными возможностями по хранению и обработке информации, превосходящими пределы обычных инструментов мониторинга работы информационных систем. IT Monitor позволяют быстро определять "узкие" и потенциально проблемные места в IT-структуре предприятия.

➤ **PI DAP (Data Access Pack)** - набор инструментов для помощи опытным пользователям в просмотре, структурировании и доступе к данным PI System, включающий:

- **PI API (Application Programming Interface)** - набор программ, обеспечивающий общий программный интерфейс к PI System;
- **PI SDK (Software Development Kit)** - набор инструментов программирования, обеспечивающих доступ к PI-серверам и связанным с ними подсистемам;
- **PI ODBC (Open Database Connectivity)** - представляет PI System как реляционную базу данных. Он определяет доступ к ее содержимому в стандартном формате и позволяет принимать и выполнять команды SQL;
- **PI OLEDB** - позволяет PI System принимать запросы аналогично реляционным базам данных.

⇒ **Функция представления информации** пользователям (руководителям и специалистам предприятия) в PI System реализуется с помощью клиентских приложений.

Стандартные программы позволяют пользователю, не прибегая к помощи программистов, разрабатывать экранные формы с графическим и табличным представлением информации в удобном для себя виде. При этом доступна вся собранная и обработанная информация, хранящаяся в PI-сервере, независимо от ее источника и типа.

PI ProcessBook (PI-PB) – клиентское приложение, служащее для отображения информации, хранящейся в PI DataStorage и в других источниках данных. Для быстрой оценки состояния производства приложение позволяет создавать и отображать настраиваемые мнемосхемы и тренды. Переключение между режимами разработки и просмотра производится простым щелчком мыши.

Скорость извлечения данных из PI DataStorage очень высока и не зависит от количества одновременно работающих клиентов и того, что они работают с одними и теми же данными.

Для расширения возможностей в PI-PB встроен Visual Basic for Application (VBA).

PI DataLink - часто используемое клиентское приложение. Оно позволяет применять для анализа данных электронные таблицы Excel. DataLink выводит данные в электронную таблицу и позволяет просматривать

их известными средствами Excel. Данное приложение удобно для формирования различных отчетов.

PI-Manual Logger (PI-ML) - приложение, предназначенное для ручного ввода данных (лабораторных данных, показаний приборов без стандартного выходного сигнала) в архив PI System. Данные могут вводиться из текстовых файлов и с переносных терминалов ННТ (Hand Held Terminals), роль которых могут выполнять миниатюрные компьютеры класса Palm Top или другие устройства.

PI Batch View (PI-PC&PI-PB Add-in) - приложение, позволяющее просматривать периодические процессы, главным образом при производстве продукции партиями (резервуары, смешение). Программное обеспечение позволяет выделять партии продукции в архиве по их идентификаторам, просматривать ход процесса производства партии продукта, сравнивать между собой графики, соответствующие конкретным партиям, сравнивать партии с некоторыми «эталонными», формировать отчеты по установкам, партиям и группам партий.

PI Active View - предназначен для просмотра PI-архива и выборки данных через Интернет.

4.2. Система поддержки принятия решений в транспорте нефти на базе PI System

Участок нефтепровода Лазарево-Горький протяженностью 400 км эксплуатируется транспортным предприятием Верхневолжский магистральный нефтепровод (ВВНП). В состав этого объекта управления входят пять нефтеперекачивающих станций (НПС), узлы учета и другие технологические объекты.

Источниками производственно-технологических данных для СППР являются:

1. Система диспетчерского контроля и управления (СДКУ) «Сириус».
2. Автоматизированная система контроля и исполнения договоров с поставщиками и потребителями «АСКИД».
3. Система сбора данных с узлов коммерческого учета электрической энергии «Энергия-Модем».

Одной из главных задач, решаемой в системе, является задача объединения всей информации, находящейся в локальных системах автоматизации, действующих на уровне конкретных установок и технологических процессов.

Системы управления различными объектами нефтепровода (НПС, линейные участки, узлы учета и т. д.) реализованы на базе программно-телемеханического комплекса «Сириус» Российской фирмы ВИРА Реалтайм. СДКУ «Сириус» обеспечивает оперативный диспетчерский

контроль и управление технологическим процессом перекачки нефти, реализуя при этом следующие функции:

- дистанционное управление магистральными и подпорными агрегатами НПС, задвижками, деблокировкой защит, вспомогательными системами НПС;
- автоматический сбор телесигналов о состоянии НПС, магистральных и подпорных агрегатов, задвижек, вспомогательных систем;
- автоматическое отображение телесигналов на мониторах (мнемосхемы);
- автоматический сбор (циклический и по запросу) аналоговых сигналов измерения давления в нефтепроводе и на НПС, мощности и нагрузок магистральных и подпорных агрегатов с отображением на мнемосхемах;
- формирование общего журнала оперативных сообщений (ТС, ТУ) с указанием даты и времени события;
- формирование документов для вывода на печать: оперативных сообщений, сменных и суточных диспетчерских листов (по регламенту или по запросу).

Информация с объектов управления собирается в территориальном диспетчерском пункте (ТДП), находящемся в Нижнем Новгороде. Этот уровень управления реализован на базе программного обеспечения Сириус-QNX.

Хотя в электронном виде имеется информация о параметрах функционирования практически всех технологических объектов, существующая система управления не обеспечивает накопления этой информации с целью ее использования производственными службами.

Поскольку каждая АСУ имеет свою структуру, архитектуру и принципы функционирования, то для использования информации реального времени прежде всего необходимо решить задачу получения и унификации данных, а затем - ее представления специалистам.

Целью создания СППР является обеспечение руководства и специалистов ОАО ВВМН достоверной информацией реального времени, необходимой для контроля ключевых показателей деятельности и оперативного управления процессами транспорта нефти, автоматизированного анализа производственной информации с выдачей рекомендаций по ведению производственных процессов в соответствии с принятыми регламентами, алгоритмами, математическими моделями производства и экспертными знаниями.

СППР должна обеспечить:

- автоматический сбор информации реального времени (значений параметров технологических процессов) посредством интерфейсов к функционирующим АСУТП;

- ручной ввод данных о состоянии технологических процессов на объектах, не оборудованных программно-аппаратными средствами АСУТП;
- долговременное и надежное хранение данных в течение нескольких лет в едином хранилище (базе данных реального времени) на жестких дисках сервера и других носителях электронной информации;
- стандартный унифицированный доступ к данным:
 - пользователям - посредством клиентских приложений;
 - внешним автоматизированным системам - посредством интерфейса прикладного программирования или стандартных интерфейсов OPC, ODBC, OLEDB;
- автоматическую обработку и экспертный анализ значений параметров технологических процессов в соответствии с утвержденными алгоритмами и регламентами;
- оперативное планирование работ по устранению причин возникновения ошибок измерений параметров, выдачу рекомендаций по ведению производственных процессов в соответствии с принятыми решениями.

Архитектура СППР приведена на рис. 5.

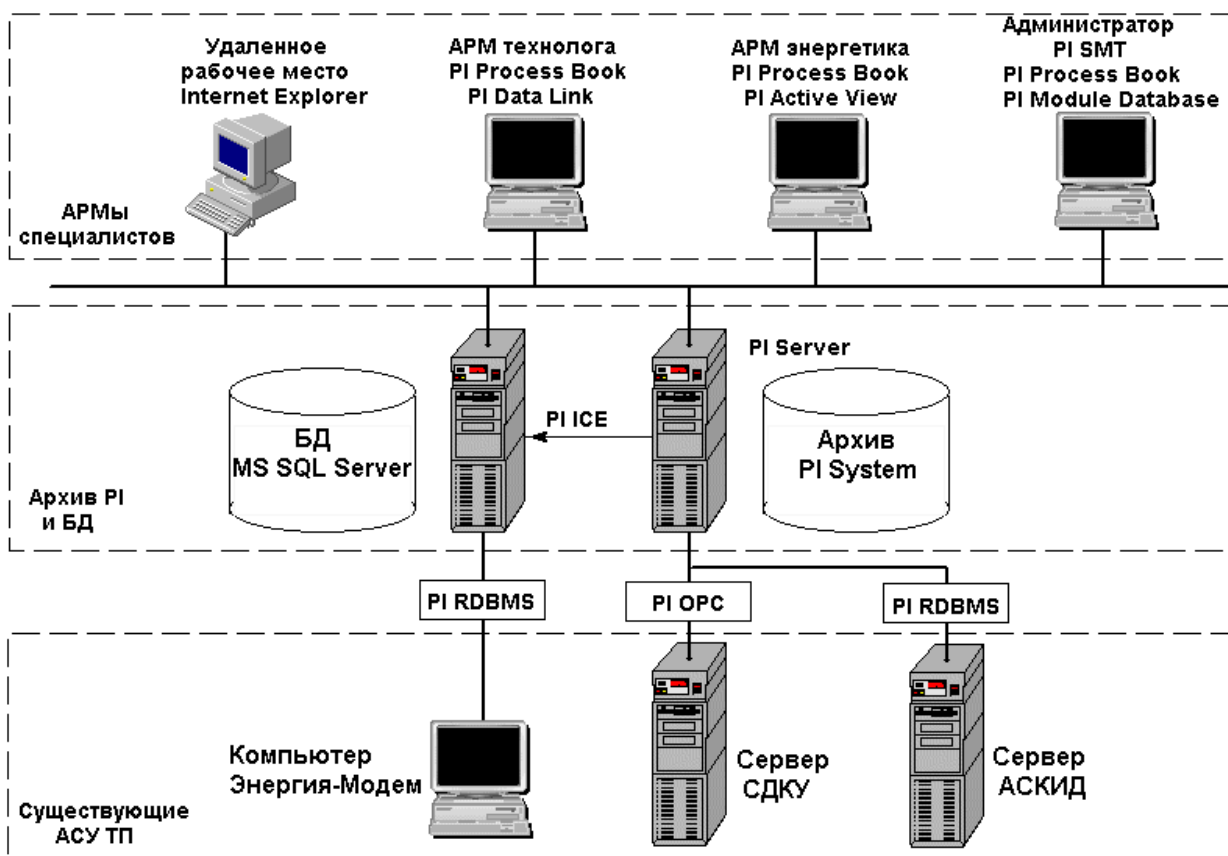


Рис. 5. Архитектура системы поддержки принятия решения.

В СППР разнородная информация от разных типов источников объединяется в архиве PI-сервера.

В рамках системы поддержки принятия решения предполагается

решение целого ряда задач. В данном примере предлагается рассмотреть одну из них - разработку АРМ технолога и АРМ энергетика. Назначение АРМов - представление специалистам всей необходимой информации и обеспечение интеллектуальной обработки данных, их анализа по утвержденным алгоритмам и регламентам.

В рамках организации АРМ технолога реализован следующий комплекс задач:

- Отображение данных о текущем состоянии технологического оборудования нефтепровода.
- Отображение данных о текущей наработке технологического оборудования нефтепровода с начала календарного месяца.
- Вычисление стабильных режимов работы магистральных агрегатов.
- Вычисление стабильных режимов работы линейных участков трубопровода.
- Непрерывный расчет эффективного сечения линейных участков трубопровода.
- Расчет и построение напорной характеристики магистральных агрегатов за произвольный промежуток времени.
- Расчет и построение характеристики КПД магистральных агрегатов за произвольный промежуток времени.

Для реализации задач использовались следующие клиентские приложения PI System:

1. PI Process book (для отображения мнемосхем и навигации по ним, построения трендов);
2. PI Module Database Editor (для построения дерева объектов АРМ Технолога, а также для организации взаимодействия между экранными формами);
3. PI DataLink и PI-SMT (для организации связи между СППР PI System и документами Microsoft Excel при построении отчетов);
4. Подсистема обработки данных PI Totalizer (для расчета средних и накопленных значений);
5. Вычислительная подсистема PI ACE (для ввода плановых значений).

Пример одной из форм отображения АРМ технолога - напорных характеристик агрегата и характеристик КПД, выполненной в клиентском приложении PI Process book, представлена на рис. 6.

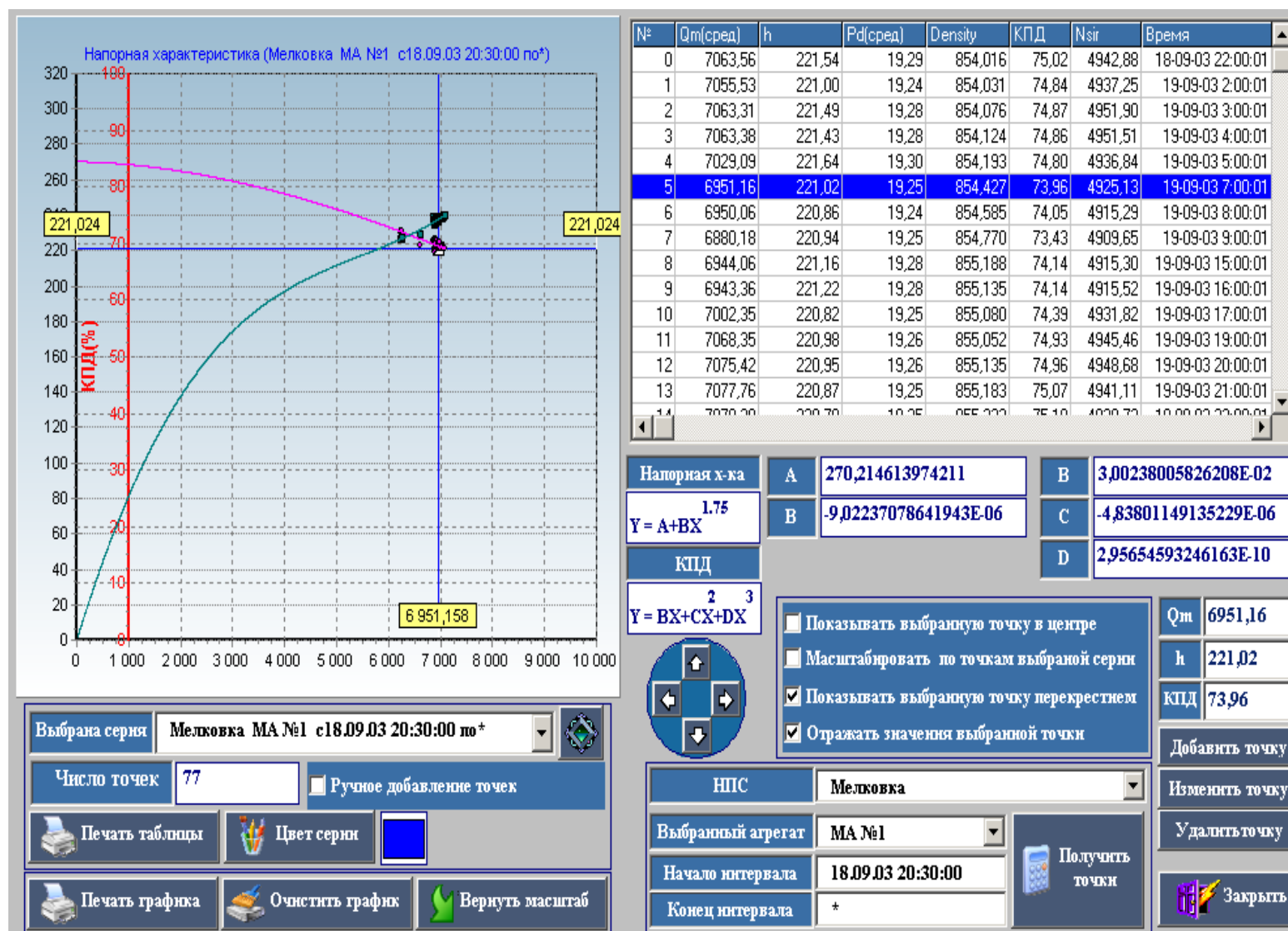


Рис. 6. Пример экранной формы для АРМ технолога.

Функциональные возможности интерфейса:

- Выбор насосной станции и магистрального агрегата для анализа и расчета.
- Задание временного интервала расчета.
- Задание цвета серии точек.
- Расчет и отображение в графическом и табличном виде точек статистики по напорной характеристике и характеристике КПД.
- Масштабирование графика автоматическое и ручное.
- Поточечное прохождение графика.
- Печать графика и таблицы.
- Расчет коэффициентов аппроксимации кривых напорной характеристики и характеристики КПД.
- Отображение аппроксимированных кривых напорной характеристики и характеристики КПД на одном графике.
- Расчет эффективного сечения трубопровода.
- Отображение на одном графике точек разных серий (выборок) для анализа.
- Редактирование (удаление и добавление) точек в результаты выборок.
- Графическое отображение текущего состояния магистральных агрегатов и тегов-индикаторов стабильности.

В рамках организации АРМ энергетика реализованы следующие задачи:

1. Просмотр мнемосхем энергоснабжения НПС, с отображением состояний насосных агрегатов и масляных выключателей (PI Process book).
2. Просмотр показаний счетчиков энергопотребления, установленных на вводах, насосных агрегатах, высоковольтных линиях и трансформаторах собственных нужд НПС. Показания счетчиков отображаются в форме трендов, с периодом обновления информации 30 минут (PI Process book).
3. Обнаружение расхождений между показаниями счетчиков энергопотребления насосных агрегатов и датчиками активной мощности насосных агрегатов с целью выявления недостоверных данных (PI Process book).
4. Выявление расхождений между плановым и фактическим суточным энергопотреблением НПС.
5. Автоматическое заполнение отчетных форм Microsoft Excel по плановому и фактическому энергопотреблению НПС на произвольную дату (PI DataLink).
6. Отображение динамики процессов изменения параметров энергопотребления за произвольный промежуток времени с произвольной скоростью.

Пример отображения сводной формы суточных значений счетчиков энергопотребления НПС «Килемары» и формы состояния магистрального

агрегата №2 НПС «Килемары», выполненных в клиентском приложении PI Process book, представлен на рис. 7.

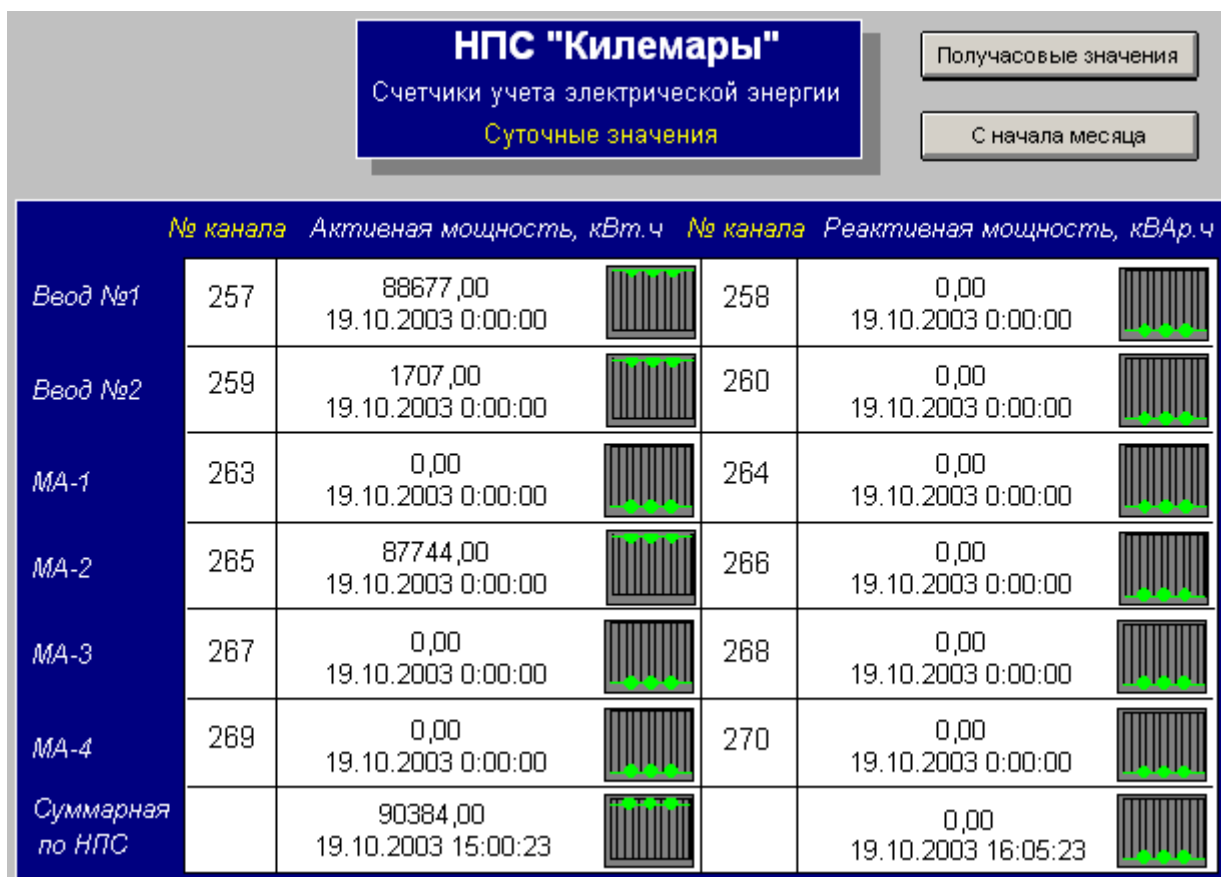


Рис. 7. Сводная форма суточных значений счетчиков энергопотребления НПС «Килемары».

В интерфейс АРМ энергетика включены также сводные формы получасовых значений счетчиков энергопотребления, с нарастающим итогом (с начала месяца) по каждой НПС, формы по сравнительному энергопотреблению магистральных агрегатов в виде трендов и т. п.

Контрольные вопросы

1. Актуальность интеграции АСУТП и АСУП.
2. Архитектура интегрированной системы управления предприятием.
3. Функции и задачи интегрирующего уровня.
4. Общая характеристика программных продуктов интегрирующего уровня.
5. Критерии сравнения программных продуктов интегрирующего уровня.
6. PI System – архитектура и компоненты.
7. PI System: характеристика подсистемы сбора данных.
8. PI System: возможности по обработке данных.
9. PI System: характеристика подсистемы представления данных.