

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Громаков Е.И.,

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.
(Электронный курс лекций)

для специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и
производств (в нефтегазовой отрасли)»

Томск 2009

АННОТАЦИЯ

Электронный курс лекций предназначен для подготовки студентов дневной и заочной форм обучения по образовательной программе специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств (в нефтегазовой отрасли)» на кафедре интегрированных компьютерных систем управления факультета автоматики и вычислительной техники Томского политехнического университета.

Курс «Проектирование автоматизированных систем» входит в специальный цикл дисциплин подготовки студентов указанной специальности. Он включен в учебные планы с целью усвоения студентами основных понятий, структуры, классификации, методологии разработки (проектирования) автоматизированных систем с использованием SCADA, и современных информационных технологий. В нем приводятся рекомендации по разработке архитектуры, структуры и технической документации автоматизированной системы управления, программного, информационного и технического обеспечения, а также по проектированию алгоритмов управления технологическими объектами, как на диспетчерском, так и на полевом уровне автоматизации производства.

Содержание

Лекция 1. Задачи и содержание курса ПАС. Стадии и этапы создания АС	4
Лекция 2. Описание функциональной схемы технологического процесса	9
Лекция 3. Архитектура АС	11
Лекция 4. Техническое задание на проектирование АС	19
Лекция 5. Структурные схемы АС	26
Лекция 6. Функциональные схемы автоматизации	32
Лекция 7. Выбор контроллерного оборудования	37
Лекция 8. Выбор средств коммуникации	47
Лекция 9. Выбор измерительных средств КИПиА	55
Лекция 10. Выбор исполнительных устройств	70
Лекция 11. Состав SCADA системы	80
Лекция 12. Проектирование программного обеспечения ПЛК	87
Лекция 13. Моделирование и симуляция АС	90
Лекция 14. Проектирование алгоритмического обеспечения	98
Лекция 15. Проектирование информационного обеспечения	108
Лекция 16. Принципиальные схемы автоматизации	117
Лекция 17. Схемы внешней проводки	122

Лекция 1. Задачи и содержание курса ПАС. Стадии и этапы создания АС

Основными целями и задачами автоматизации объектов нефтегазовой отрасли являются:

- увеличение объемов поставок нефти и газа конечному потребителю и повышение технико-экономических показателей за счёт уменьшения простоев основных производственных фондов;
- сокращение потерь нефти, газа и воды за счёт оптимизации режимов добычи, подготовки и ее транспортирования,
- точное выполнение требований технологического регламента, исключение ошибочных действий оперативного производственного персонала при ведении процесса, пуске и останове производства и отдельных технологических аппаратов;
- управление, обеспечивающее получение необходимого по количеству и качеству конечного продукта при минимизации используемого сырья, вспомогательных материалов и энергетических затрат;
- улучшение условий труда эксплуатационного персонала за счет централизации рабочих мест, разнообразного и удобного представления оперативной информации, упразднения рутинной работы операторов, использования "безбумажной" технологии управления объектом;
- повышение безопасности технологических процессов за счет высоконадежных средств сигнализации, блокировок и защит с минимальным периодом реагирования;
- повышение экологической безопасности за счет контроля за качеством товарной продукции, выбросами в атмосферу и сточными водами;
- реализация дистанционного контроля и управления всем комплексом сооружений на технологических площадках ГПП из центрального диспетчерского пункта, т.е. превращение технологических установок в автоматизированные технологические звенья, работающие в соответствии с заданиями вышестоящего уровня управления.

Автоматизация многих объектов нефтегазовой отрасли представляет собой АСУ диспетчерского управления с локальными системами контроля и управления. Основными показателями, определяющими экономическую целесообразность затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию средств и систем автоматизации являются:

- Годовой экономический эффект.
- Прирост прибыли.
- Срок окупаемости капитальных вложений.

Теоретически любой процесс в нефтегазовой отрасли можно вести на неавтоматизированном оборудовании с ручным управлением при непосредственном участии человека, однако такое управление по сравнению с автоматизированным, кроме значительных затрат "живого" труда и других

ресурсов, приводит к снижению производительности оборудования и качества продукции.

Целью автоматизации технологических и производственных процессов является более полное использование потенциальных возможностей, заложенных в технологии и управлении и, прежде всего:

- наиболее полное извлечение нефти и газа из продуктивных пластов с установленными технико-экономическими показателями;
- улучшение качества подготовки нефти, газа, воды;
- транспортирование нефти и газа без потерь в установленных объемах и строго по установленному графику;
- переработка нефти и газа в соответствии с требованиями нормативных регламентов;
- повышение производительности оборудования; сокращение обслуживающего персонала; сокращение потерь всех видов ресурсов.

Задачами проектирования автоматизированных систем являются разработка проектной документации автоматизированной системы управления технологическим и производственным процессами.

Общими требованиями к проекту являются: целевая направленность, четкость построения, логическая последовательность изложения материала, глубина исследования и полнота освещения вопросов, убедительность аргументаций, краткость и точность формулировок, конкретность изложения результатов работы, доказательность выводов и обоснованность рекомендаций, грамотное оформление.

Технология проектирования является центральным звеном проектного производства, в результате функционирования которого на его выходе вырабатывается проектная продукция. Все остальные виды деятельности в проектной организации в той или иной степени могут рассматриваться в качестве обеспечивающих относительно процессов технологии проектирования. Представление о технологии проектирования как об организационно-технической системе позволяет установить структуру её элементов и видов обеспечения.

К основополагающим элементам технологии проектирования следует отнести методы и средства проведения работ. Технологические подходы к проектному производству в целях обеспечения его эффективности и качества выпускаемой продукции развиваются в рамках методического обеспечения технологии проектирования: Практическим механизмом для реализации методических установок по организации и оптимизации технологических процессов проектирования, эффективному использованию методов и средств проектирования служит система организационно-методической документации (нормативная база) по технологии проектирования в проектных организациях.

Исходные данные для проектирования содержат ряд данных, которые определяют общие требования к проекту автоматизации.

Как правило, эта часть задания состоит из трех разделов:

- описание технологического процесса;
- обоснование разработки;
- описание условий эксплуатации системы автоматизации.

Проект представляет собой техническую документацию, состоящую из текстовых и графических материалов, в которых отражены принципиальные технические решения, затраты и экономическая эффективность автоматизации.

А. Текстовые материалы включают в себя:

общую пояснительную записку, содержащую исходные данные для проектирования, краткую характеристику объекта, для которого проектируется автоматизация, обоснование принятых проектных решений в части автоматического регулирования, управления и сигнализации, обоснование применения несерийной аппаратуры, щитов и пультов и указания соответствия проекта действующим в стране нормам и правилам строительного проектирования, в том числе нормам по взрыво- и пожаробезопасности;

заказные спецификации, необходимые для размещения заказов на оборудование, и ведомости на приборы, арматуру, кабельные и другие изделия массового и серийного производства;

сводный сметный расчет стоимости приобретения и монтажа технических средств автоматизации;

технико-экономическую часть, включающую обоснование основных технико-экономических показателей и расчеты эффективности использованных в проекте новейших достижений науки и техники.

Б. Графические материалы включают в себя:

схемы автоматизации технологических процессов, для которых выполняется проект автоматизации;

общие виды и планы расположения щитов и пультов (для новостроек и сложных производств);

принципиальные схемы информационной увязки подсистем, структурные схемы комплекса технических средств (для сложных систем);

принципиальные электрические схемы, организация связи (в необходимых случаях).

В проектных и консалтинговых организациях проектирование систем автоматизации технологических и производственных процессов выполняется в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Согласно ГОСТ 2.103-68 предусматривается пять стадий разработки конструкторской документации на изделия (предмет или набор предметов производства) всех отраслей промышленности:

- техническое задание (ТЗ);
- техническое предложение (ТП);
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект;
- рабочая документация.

Техническое задание устанавливает основное назначение, показатели качества разрабатываемого изделия, его технические и тактико-технические характеристики, технико-экономические требования, предъявляемые к нему, необходимые стадии разработки конструкторской документации, ее состав, а также специальные требования к изделию.

Техническое предложение - это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико - экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия.

Эскизный проект - это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Технический проект – это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представления об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

Рабочая документация включает в себя:

пояснительную записку;

заказные спецификации на приборы и средства автоматизации, электроаппаратуру, кабели и провода, трубопроводную арматуру, монтажные материалы, щиты и пульты, нестандартизированное оборудование, средства вычислительной техники;

объектные и локальные сметы;

структурные схемы контроля и управления комплекса технических средств (КТС);

схемы автоматизации технологических процессов;

принципиальные электрические (пневматические, гидравлические) схемы управления, сигнализации, измерения, регулирования и питания;

общие виды щитов и пультов;

монтажно-коммутационные схемы щитов и пультов; схемы внешних электрических и трубных проводок; направление трасс электрических и трубных проводок; планы размещения средств автоматизации и вычислительной техники;

перечень типовых чертежей на установку средств автоматизации;

общие виды нестандартизированного оборудования.

Рабочие чертежи выполняются в соответствии с ЕСКД, действующими стандартами на условные обозначения, руководящими и нормативными документами по проектированию и монтажу систем автоматики, электрического и противопожарного проектирования.

Все части проектной документации должны быть изложены в строгой логической последовательности и взаимосвязи. Содержание работы иллюстрируется схемами, таблицами, диаграммами, графиками, фотографиями, рисунками и т.д. Пояснительная записка оформляется в соответствии с общими требованиями к текстовым документам по ГОСТ

24.301 и ГОСТ 2.105–95. Она должна включать обоснования по принимаемым решениям, краткое описание используемых информационных технологий и расчеты с необходимыми пояснениями. В записке не должно быть пространных рассуждений и описания вопросов, не связанных с темой проектирования. Записка должна быть краткой и четко отражать сущность рассматриваемых вопросов.

Техническая документация (ТД) выполняется на русском языке.

Каждый структурный элемент ТД следует начинать с нового листа. Название структурного элемента в виде заголовка записывают строчными буквами, начиная с первой прописной, симметрично тексту ТД.

Содержание основной части пояснительной записки должно отвечать заданию и ТЗ. Наименования разделов основной части должно отражать выполнение задания.

Основные разделы пояснительной записки (ПЗ).

Раздел описания технологического процесса как объекта автоматизированного управления и разработки архитектуры АС. В этом разделе описывают общую структуру и особенности технологического процесса, подлежащего автоматизированному централизованному управлению. В нем также необходимо обосновать выбор нормативных документов, определяющих требования к функциональному обеспечению АС.

Раздел разработки перечня контролируемых величин и их сигналов. В этом разделе необходимо руководствоваться тем, чтобы при минимальном числе измерительных каналов обеспечивалась наибольшая наблюдаемость и управляемость технологического процесса. В ПЗ необходимо определить и описать: принципы организации контроля и управления технологическим процессом; технологическое оборудование, управляемое автоматически, дистанционно или в обоих режимах по заданию оператора; перечень и значения контролируемых и регулируемых параметров; пределы измерения и регулирования технологических параметров; методы контроля, места размещения КИПи А аппаратуры на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления. Контролю должны подлежать, прежде всего, те параметры, наблюдение которых облегчает пуск, наладку и эксплуатацию (управление) технологического процесса, и в случае необходимости противоаварийную защиту. Раздел должен быть завершен разработкой функциональной схемой автоматизации.

Раздел выбора компонентов АСУ ТП. В этом разделе необходимо обосновать выбор измерительного, исполнительного и контроллерного оборудования, обосновать выбор СУБД и SCADA систем. Должны быть приняты во внимание такие факторы как взрыво- и пожароопасность объекта, повышенное давление, температура. При выборе измерительных приборов следует обосновать погрешность каналов измерений (не только датчиков).

Раздел разработки схем АСУ ТП. В этом разделе необходимо описать структурные схемы АС, функциональную схему автоматизации, принципиальную электрическую схему, схему сигнализации, схему

размещения, схему монтажных соединений в шкафу управления, схему внешней разводки.

Раздел выбора алгоритмов управления. В этом разделе необходимо описать алгоритм работы АСУ ТП в целом и (или) отдельных его технологических узлов в словесной форме с использованием конструкции «Если..., то..., иначе...» и (или) в виде формализованной логики в графическом виде. Примерами такого описания являются блок схемы управления пуском (остановом) технологического оборудования, схема сбора данных, структурная схема контурного (многоконтурного) регулирования параметрами технологического оборудования. Алгоритмы автоматического регулирования обычно выбираются либо в классе релейных, автоматных алгоритмов, либо в классе ПИД (АПИД) регуляторов.

Раздел разработки программного обеспечения АСУ ТП. В этом разделе разрабатывается программа для ПЛК обычно на одном из языков программирования МЭК 61131.

Раздел разработки информационного обеспечения. В этом разделе должна быть разработана и описана система кодирования, идентификации сигналов и команд АС, схема информационных потоков АС, инфологическая модель базы данных.

Лекция 2. Описание функциональной схемы технологического процесса

При проектировании автоматизации исходной документацией является документы технологического процесса. Различают документацию проектного, перспективного и директивного технологического процесса. Они определены в Единой системе технологической документации следующим образом:

- Перспективный технологический процесс – это технологический процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.
- Комплект директивной технологической документации – это совокупность комплектов документов на отдельные технологические процессы, необходимые и достаточные для проведения предварительных укрупненных инженерно-технических, организационно-экономических задач, при принятии решения по постановке новых изделий на производство применительно к условиям конкретного предприятия.
- Комплект проектной технологической документации предназначен для применения в проектировании или реконструкции предприятия.

Как правило, при проведении проектных работ по автоматизации на действующих нефте-газовых предприятиях используется комплект проектной технологической документации.

В системах нефте-газодобычи и транспортировки существуют как основные, так и вспомогательные объекты автоматизации. К основным объектам относятся нефте-газоскважины, резервуарные парки и нефтебазы;

головные и промежуточные перекачивающие насосные станции; пункты (узлы) учета нефти; линейная часть (участки) магистрального трубопровода; газо- и нефтехранилища; пункты подготовки газа и нефти к транспорту; газокompрессорные станции; нефтеперекачивающие станции, пункты учета газа. К вспомогательным объектам автоматизации относятся системы водо-, тепло-, масло-, энерго-воздухоснабжения. Все эти объекты в той или иной мере автоматизированы. Однако автоматизированные системы многих из них требуют современного реинжиниринга с использованием новых информационных технологий. Вопросы автоматизации перечисленных объектов рассматриваются во многих интернет-источниках и могут быть сгруппированы по следующим, наиболее часто встречающимся объектам:

- автоматизация нефте- и газо- добычи;
- автоматизация нефте- и газо- проводов, компрессорных станций, перекачивающих станций и насосных агрегатов;
- автоматизация узлов учета нефти и газа, информационно-измерительных систем количества и качества перекачиваемой нефти (газа) и нефтепродуктов;
- автоматизация нефтебаз и резервуарных парков;
- телемеханизация и диспетчеризация трубопроводов;
- автоматизация газотурбинных агрегатов;
- автоматизация систем газоснабжения, газораспределительных станций и пунктов, их телемеханизация и диспетчеризация;
- автоматическая защита трубопроводов от коррозии и станции катодной защиты;
- автоматизация систем тепло-, водоснабжения и котельных.

В ПЗ разделе "Краткое описание технологического процесса" приводятся краткие сведения о технологическом процессе (объекте автоматизации) или ссылки на документы, содержащие эти данные, кратко описывается технологический процесс и аппараты, которые участвуют в его выполнении, сведения об условиях эксплуатации объекта автоматизации, характеристики внешней среды, в которой функционирует объект автоматизации

Пример описания технологического процесса.

Состав объекта автоматизации.

В состав УПСВ входит следующее технологическое оборудование:

- Блоки дозировки реагентов БДР-1/1,2;
- Нефтегазовый сепаратор С-1
- Отстойник О-1
- Установка трубная наклонная УСТН;
- Газовый сепаратор ГС;
- Резервуары нефти Р-1,2;
- Насосы внешней перекачки нефти Н-1/1...3;
-

Описание технологического процесса предварительного сброса воды.

1. Продукция скважин с кустовых площадок по трубопроводам поступает на узел подключения.
2. Узел подключения представляет собой коллектор с врезками подводящих трубопроводов. Подача в поток сырой нефти деэмульгатора осуществляется из блоков дозировки реагентов БДР-1/1,2.
3. От узла подключения усредненная нефтегазоводяная смесь через задвижку поступает в нефтегазовый сепаратор С-1, предназначенный для сепарации нефти и сброса газа.
4. Давление в сепараторе С-1 поддерживается клапанами Кг1. Текущий уровень “нефть – газ “ регулируется клапаном Кж1.
5. ...

Таблицей задают перечень индексированных входных, режимных и выходных параметров (Т1, Т2, Р1, Р2 и т.д.), намеченного для автоматизации технологического объекта, указываются их номинальные значения.

После выбора регулируемых и регулирующих параметров выбирают параметры, подлежащие измерению (параметры, входящие в уравнение материального или энергетического баланса), регистрации (параметры, необходимые для расчета технико-экономических показателей работы цеха, подстройки регуляторов и т.п.), сигнализации и так далее.

Для выбранных параметров определяют требуемую точность измерения и регулирования, указывают диапазон их возможного изменения. Результаты заносят в таблицу, показанную на рис.

Лекция 3. Архитектура АС

Единый центр оперативного управления, оснащенный автоматизированной системой диспетчерского управления (SCADA-системой), должен осуществлять решение таких задач, как

- оперативный мониторинг производственного и технологического процессов, осуществляемый в реальном масштабе времени;
- получение и обработка технологических, производственной информации и указаний (заданий) от верхнего (стратегического) звена управления предприятием;
- оперативное корректирующее управление материальными и энергетическими потоками в соответствии с изменениями производственной ситуации и указаниями вышестоящего уровня управления;
- оперативное корректирующее управление запасами и производственными ресурсами;
- мониторинг и управление качеством производства;
- контроль и, при необходимости, корректирующее воздействие по управлению отдельными, наиболее важными технологическими установками (рабочими центрами);
- прогностический анализ возникновения сбоев, отказов и аварийных ситуаций и формирование демпфирующих корректирующих управлений;
- автоматизированное накопление и хранение производственного опыта в

информационном хранилище и т.п. Решение этих задач должно поддерживаться продуманной на стадии проектирования архитектурой интегрированной информационной системой.

Архитектура информационной системы (в том числе и автоматизированной, далее АС) характеризует ее общую логическую организацию, программно-аппаратное обеспечение, описывает методы кодирования и определяет интерфейс пользователя с системой.

Стандарт ISO 15704 определяет архитектуру отдельной информационной системы как *"описание (модель) основного взаиморасположения и взаимосвязей частей системы (будь то физический или концептуальный объект/сущность)"*.

Стандарт выделяет следующий тип архитектуры информационной системы, ответственной за интеграцию предприятия.

Архитектура системы (тип 1), должна быть ответственна за конструирование некоторой системы, в частности, компьютерной системы контроля и управления, как части интегрированной системы предприятия в целом. При разработке архитектуры АС следует выделять точки зрения (взгляд) заказчика (совокупность архитектурных представлений) на проект и взгляд исполнителя. Центральной частью таких представлений у исполнителя является разработка пользовательского интерфейса.

При разработке архитектуры пользовательского интерфейса проекта АС следует описать ее ИТ - профиль (ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10000-3-99 «Информационная технология. Основы и таксономия международных стандартизованных профилей. Часть 3: Принципы и таксономия профилей среды открытых систем (эталонная модель среды открытых систем OSE/RM)»). Профиль это набор стандартов, ориентированных на выполнение конкретной задачи (АС). Основными целями применения профилей являются снижение трудоемкости проектов АС; повышение качества компонентов АС; обеспечение расширяемости АС по набору прикладных функций и масштабируемости; обеспечение возможности функциональной интеграции задач, которые раньше решались отдельно; обеспечение переносимости прикладного программного обеспечения. Выбор стандартов и документов для формирования профилей АС зависит от того, какие из этих целей определены приоритетными. На стадиях жизненного цикла АС выбираются и затем применяются следующие основные функциональные профили:

профиль прикладного программного обеспечения;

профиль среды АС;

профиль защиты информации в АС;

профиль инструментальных средств, встроенных в АС.

Основными целями применения профилей при создании и применении АС являются:

- снижение трудоемкости, длительности, стоимости и улучшение других технико-экономических показателей проектов АС;

- повышение качества разрабатываемых или применяемых покупных компонентов и АС в целом при их разработке, приобретении, развитии и модернизации;
- обеспечение расширяемости АС по набору прикладных функций и масштабируемости в зависимости от размерности решаемых задач;
- обеспечение возможности функциональной интеграции в АС задач, ранее решавшихся отдельно;
- обеспечение переносимости прикладного программного обеспечения между разными аппаратно-программными платформами.

Функциональные профили АС должны включать в себя гармонизированные базовые стандарты. При использовании функциональных профилей АС следует иметь в виду также согласование (гармонизацию) этих профилей между собой. Необходимость такого согласования возникает, в частности, при использовании стандартизованных API-интерфейсов, в том числе интерфейсов приложений со средой их функционирования, интерфейсов приложений со средствами защиты информации.

Нормативные документы, регламентирующие жизненный цикл АС и ее профилей, либо задаются директивно заказчиком, либо выбираются разработчиком в зависимости от характеристик проекта. Эти нормативные документы, адаптированные и конкретизированные с учетом характеристик проекта и условий разработки, составляют профиль жизненного цикла проектируемой АС. В этом профиле должен быть учтен набор этапов, частных работ и операций, связанных с разработкой и применением профилей АС, специфицирующих ее проектные решения. При этом надо иметь в виду итерационный характер формирования и ведения профилей конкретной АС в течение ее жизненного цикла, связанный, как с итерациями самих процессов проектирования, так и с сопровождением системы в процессе эксплуатации.

Концептуальная модель архитектуры *OSE/RM* предусматривает разбиение ПО АС на приложения (прикладные программные комплексы), реализующие заданные функции АС, и среду взаимодействия, обеспечивающую подготовку и выполнение приложений. Между ними определяются стандартизованные интерфейсы прикладного программирования (API) (рис.1).

Кроме того, определяются стандартизованные интерфейсы взаимодействия данной АС с внешней для нее средой – другими информационными системами и сетью Интернет и/или корпоративными сетями, другими ИС и Internet и/или корпоративными сетями.

Наиболее актуальными прикладными программными системами АС являются открытые распределенные АС с архитектурой клиент-сервер. Именно такими являются практически все современные SCADA системы, использующие стандарты OPC.

Стандарты OPC – это стандарты подключаемости компонентов АС. Они разработаны с целью сокращения затрат на создание и сопровождение

приложений промышленной автоматизации. Их применение при проектировании архитектуры АС решает вопросы обмена данными с

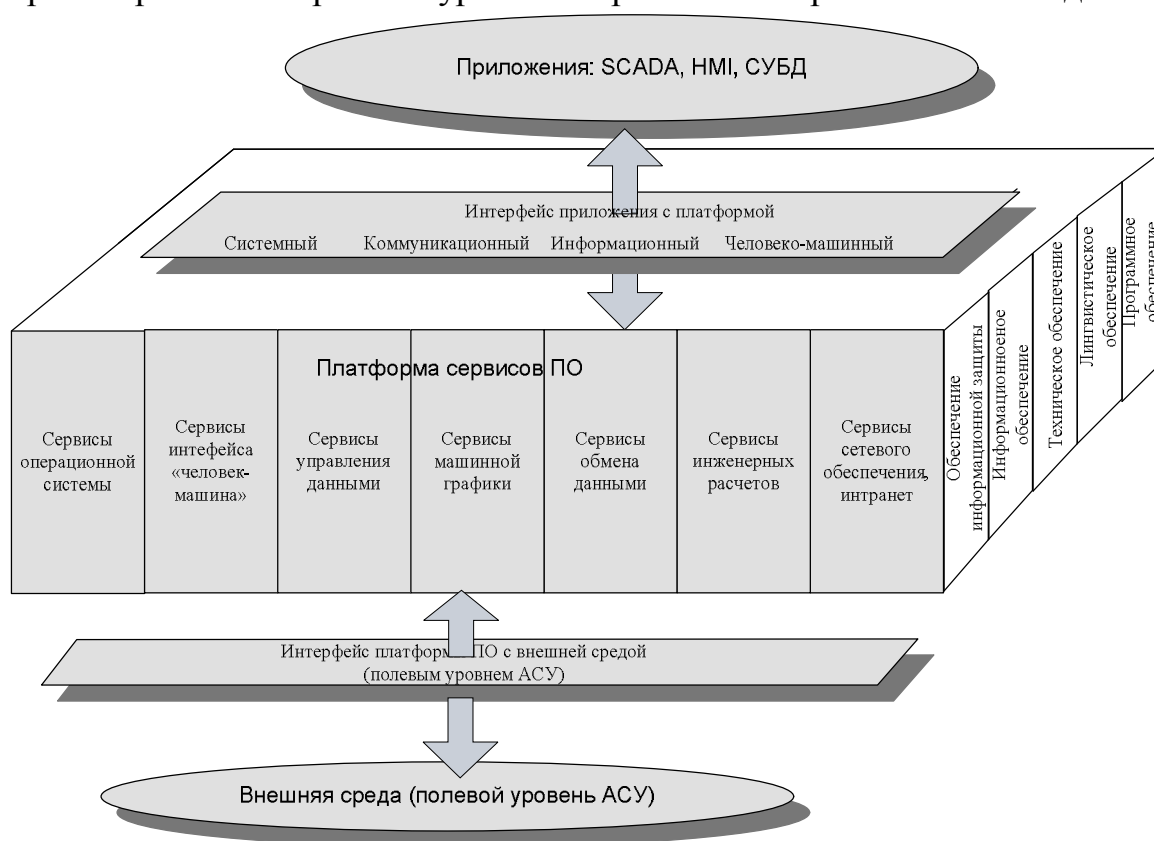


Рис. 1 Концептуальная *OSE/RM* модель ПО АС устройствами разных производителей или по разным протоколам обмена данными.

Девиз OPC: открытые коммуникации по открытым протоколам. OPC – это набор спецификаций стандартов. Каждый стандарт описывает набор функций определенного назначения. Текущие стандарты:

- OPC DA (Data Access) описывает набор функций обмена данными в реальном времени с ПЛК и другими устройствами;
- OPC AE (Alarms & Events) предоставляет функции уведомления по требованию о различных событиях: аварийные ситуации, действия оператора, информационные сообщения и другие;
- OPC DX (Data eXchange) предоставляет функции организации обмена данными между OPC-серверами через сеть Ethernet. Основное назначение – создание шлюзов для обмена данными между устройствами и программами разных производителей;
- OPC HDA (Historical Data Access) предоставляет доступ к уже сохраненным данным;
- OPC Security определяет функции организации прав доступа клиентов к данным системы управления через OPC-сервер;
- OPC XML-DA (XML-Data Access) предоставляет гибкий, управляемый правилами формат обмена данными через интранет среду.

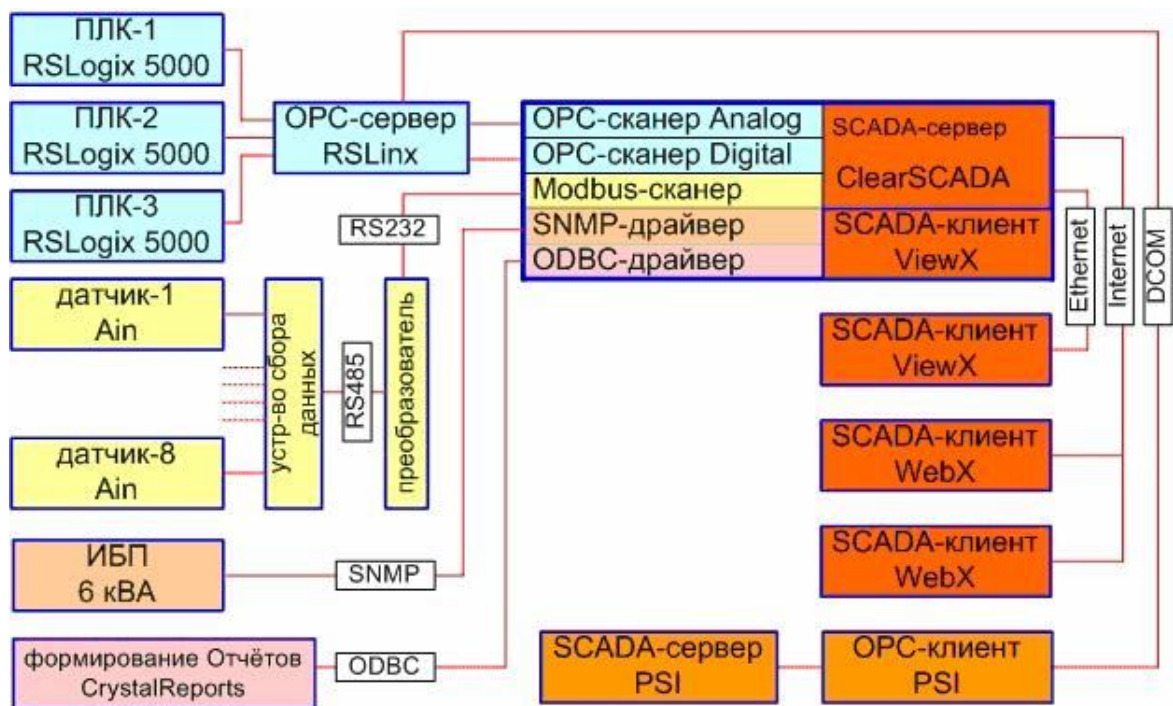


Рис.2 Структура OPC взаимодействий

Суть OPC проста – предоставить разработчикам промышленных программ универсальный фиксированный интерфейс (то есть набор функций) обмена данными с любыми устройствами АС. В свою очередь разработчики устройств ввода-вывода данных дополняют последние специальной программой, реализующей этот интерфейс (набор функций). Полезность применения OPC с точки зрения интеграции вытекает из самой сути OPC. Первое преимущество – если заменяется какой-нибудь компонент АС, то нет нужды корректировать другое ПО, так как при замене драйвера поверх него будет работать инсталлированный OPC. Это значит, что при включении в АС нового компонента необходимо будет лишь правильно его сконфигурировать на программном уровне. Второе – если в систему добавить новые программы, нет необходимости предусматривать разработку для них драйверов или интерфейсов связи, кроме как конфигурирования OPC-клиента. Это позволяет разработчику АС сконцентрировать свое внимание на проектных решениях АС.

На данный момент используется OPC версии 3.0, однако более распространенной версией пока является 2.1. Недавно разработанный стандарт OPC UA (Unified Architecture) унифицирует набор функций для обмена данными, регистрации событий, хранения данных, обеспечения безопасности данных.

На рис.2 показана структура OPC взаимодействий SCADA автоматизированной газораспределительной станции (АГРС), реализуемая опциональными программными компонентами ф. Rockwell Automation.

На рисунке показаны:

ИБП- источник бесперебойного питания, который посредством SNMP связан со SCADA приложениями.

SNMP (англ. *Simple Network Management Protocol* — простой протокол управления сетью) — это протокол управления сетями связи на основе архитектуры TCP/IP. Этот менеджер предназначен для мониторинга состояния сети АС и управления сетевыми устройствами, в частности, в случае несанкционированного выключения энергии. Используя решения на базе SNMPc, удастся контролировать всю сетевую инфраструктуру, управляя сетевым оборудованием различных типов, наблюдать за работой служб OSE/RM и анализировать отчеты по их работе за заданный период.

Информационный обмен данными в АС строится с использованием стандарта ODBC (Open DataBase Connectivity).

В соответствии с проектным решением, представленном на этом рисунке, управление технологическим процессом на АГРС со стороны диспетчеров происходит с использованием ключевых команд и только от одного диспетчера одновременно. Работу с тремя автоматизированными системами осуществляет OPC-сервер. С ним же работают клиенты: OPC-клиент SCADA-системы ClearSCADA, OPC-клиент SCADA-системы PSI (программы для мгновенного обмена сообщениями посредством сети Интернет). В реализованной Системе OPC-клиент ClearSCADA установлен на одной машине с OPC-сервером, а OPC-клиент PSI установлен за несколько сотен километров от них. Интранет клиенты SCADA-сервера ViewX и WebX используются диспетчерами на самой АГРС и удалённо по защищённому Internet (протокол https).

ODBC— это программный интерфейс (API) доступа к базам данных (открытая связь с базами данных). Он позволяет единообразно оперировать с разными источниками данных, отвлекаясь от особенностей взаимодействия в каждом конкретном случае.

Анализ проектных решений комплексной автоматизации показывает, что предприятия тратят около 35–40 % своего бюджета, отводимого на поддержку информационных технологий, на работы по организации обмена данными между приложениями и СУБД. Столь высокий процент затрат объясняется несовместимостью форматов данных между унаследованными приложениями и стандартами применяемых СУБД «островной автоматизации». Вот почему необходимо использовать единый стандарт управления базами данных. В начале 1990 г. существовало несколько поставщиков баз данных, каждый из которых имел собственный интерфейс. Если приложению было необходимо общаться с несколькими источниками данных, для взаимодействия с каждой из баз данных было необходимо написать свой код. Для решения возникшей проблемы Microsoft и ряд других компаний создали стандартный интерфейс для получения и отправки данных источникам данных различных типов. С помощью ODBC прикладные программисты могут разрабатывать приложения для использования одного интерфейса доступа к данным, не беспокоясь о тонкостях взаимодействия с несколькими источниками.

Это достигается благодаря тому, что поставщики различных баз данных создают драйверы, реализующие конкретное наполнение стандартных

функций из ODBC с учетом особенностей их продукта. Приложения используют эти функции, реализованные в соответствующем конкретному источнику данных драйвере, для унифицированного доступа к различным источникам данных. SQL – это язык структурированных запросов – универсальный компьютерный язык, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных. Структурированный язык запросов основан на реляционной алгебре. Это язык манипулирования данными, который позволяет описывать условия поиска информации, не задавая для этого последовательность действий, нужных для получения ответа. SQL является стандартным средством доступа к серверу баз данных. Стандарт SQL содержит компоненты, как для определения, изменения, проверки, так и защиты данных.

Профиль среды распределенной АС должен включать стандарты протоколов транспортного уровня (по ISO OSI или стандарту де-факто протокола TCP/IP), стандарты локальных сетей (например стандарт Ethernet IEEE 802.3 или стандарт Fast Ethernet IEEE 802.3 и), а также стандарты средств сопряжения проектируемой АС с сетями передачи данных общего назначения (в частности, RS-485, сети CAN, ProfiBus и др.).

Стандарт PROFINET (IEC 61158) предназначен для коммуникационной части систем промышленной автоматизации. Он обеспечивает доступ к устройствам полевого уровня (датчикам, машинным контроллерам, исполнительным устройствам) со всех уровней управления предприятием. Стандарт позволяет выполнять широкий обмен данными, поддерживает проектирование ИКСУ в масштабах предприятия и использует IT стандарты вплоть до полевого уровня. Он поддерживает практически все существующие сети полевого уровня (PROFIBUS, Ethernet, AS-I, CAN, LonWorks и др.). Все они могут быть интегрированы в PROFINET без модификации установленной аппаратуры.

PROFINET базируется на стандарте Industrial Ethernet и использует стандарт TCP/IP (транспортный протокол/ Internet протокол) для выполнения операций настройки параметров, конфигурирования и диагностики. Обмен данными в реальном масштабе времени выполняется через стандартные каналы связи Ethernet параллельно со стандартными вариантами обмена данными в сети Ethernet.

Выбор аппаратных платформ АС связан с определением их параметров: вычислительной мощности серверов и рабочих станций в соответствии с проектными решениями по разделению функций между клиентами и серверами; степени масштабируемости аппаратных платформ; надежности.

Профиль защиты информации в АС должен обеспечивать реализацию политики информационной безопасности, разрабатываемой в соответствии с требуемой категорией безопасности и критериями безопасности, заданными в ТЗ на систему. Построение профиля защиты информации в распределенных системах клиент-сервер методически связано с точным определением компонентов системы, ответственных за те или иные функции, сервисы и услуги, и средств защиты информации, встроенных в эти компоненты.

Функциональная область защиты информации включает в себя функции защиты, реализуемые разными компонентами АС:

- функции защиты, реализуемые операционной системой;
- функции защиты от несанкционированного доступа, реализуемые на уровне программного обеспечения промежуточного слоя;
- функции управления данными, реализуемые СУБД;
- функции защиты программных средств, включая средства защиты от вирусов;
- функции защиты информации при обмене данными в распределенных системах;
- функции администрирования средств безопасности.

Основополагающим документом в области защиты информации в распределенных системах являются рекомендации X.800, принятые МККТТ в 1991 г. (сейчас ITU-T). Подмножество указанных рекомендаций и составляет профиль защиты информации в АС с учетом распределения функций защиты информации по уровням концептуальной модели АС и взаимосвязи функций и применяемых механизмов защиты информации.

Профиль инструментальных средств, встроенных в АС, отражает решения по выбору методологии и технологии создания, сопровождения и развития конкретной АС. В этом профиле должна быть указана ссылка на описание выбранных методологии и технологии, выполненное на стадии эскизного проектирования АС. Состав инструментальных средств, встроенных в АС, определяется на основании решений и нормативных документов об организации сопровождения и развития АС. При этом должны быть учтены правила и порядок, регламентирующие внесение изменений в действующие системы. Функциональная область профиля инструментальных средств, встроенных в АС, охватывает функции централизованного управления и администрирования, связанные с:

- контролем производительности и корректности функционирования системы в целом;
- управлением конфигурацией прикладного программного обеспечения, тиражированием версий;
- управлением доступом пользователей к ресурсам системы и конфигурацией ресурсов;
- перенастройкой приложений в связи с изменениями прикладных функций АС;
- настройкой пользовательских интерфейсов (генерация экранных форм и отчетов);
- ведением баз данных системы;
- восстановлением работоспособности системы после сбоев и аварий.

Дополнительные ресурсы, необходимые для функционирования встроенных инструментальных средств (минимальный и рекомендуемый объем оперативной памяти, размеры требуемого пространства на дисковых

накопителях и т. д.), должны быть учтены в разделе проекта, относящемся к среде АС. Выбор инструментальных средств, встроенных в АС, производится в соответствии с требованиями профиля среды АС. Ссылки на соответствующие стандарты, входящие в профиль среды, должны быть указаны и в профиле инструментальных средств, встроенных в АС. В этом профиле должны быть также предусмотрены ссылки на требования к средствам тестирования, которые необходимы для процессов сопровождения и развития системы и должны быть в нее встроены. В число встроенных в АС средств тестирования должны входить средства функционального тестирования приложений, тестирования интерфейсов, системного тестирования и тестирования серверов/клиентов при максимальной нагрузке.

К основным задачам, решаемым инструментальными средствами, является разработка, отладка и исполнение программ контроллерами, которая осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения. Это, прежде всего, многочисленные пакеты программ для программирования контроллеров, предлагаемые производителями аппаратных средств. К этому же классу инструментального ПО относятся и пакеты ISaGRAF (CJ International France), InControl (Wonderware, USA), Paradym 31 (Intellution, USA), имеющие открытую архитектуру и широко распространенные на рынке..

Определившись с набором стандартов, которым должна удовлетворять АС, можно приступать к проектированию ее отдельных компонентов.

Лекция 4. Техническое задание на проектирование АС

Техническое задание формируется по результатам проведенного предпроектного исследования и разработки концептуальных решений АС.

Разработка ТЗ ведётся в соответствии со стандартами:

ГОСТ 34.601-90. *Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания;*

ГОСТ 34.602-89. *Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.*

Техническое задание на автоматизированную систему с учётом требований *ГОСТ 34.602-89* содержит следующие разделы:

- общие сведения;
- назначение и цели создания (развития) системы;
- характеристика объектов автоматизации;
- требования к системе;
- состав и содержание работ по созданию системы;
- порядок контроля и приемки системы;
- требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу АС в действие;
- требования к документированию;

- источники разработки;
- приложения.

В зависимости от вида, назначения, специфических особенностей объекта автоматизации и условий функционирования системы допускается оформлять разделы ТЗ в виде приложений, вводить дополнительные, исключать или объединять подразделы ТЗ.

ТЗ должно соответствовать современному уровню развития науки и техники, максимально точно отражать цели, замысел и требования к создаваемой системе и при этом не ограничивать разработчика в поиске и реализации наиболее эффективных технических, технико-экономических и других решений. В соответствии с *ГОСТ 34.601-90*, после согласования с Заказчиком, выполняется разработка, оформление, согласование и утверждение Технического задания на АС (при необходимости – на части АС). Данный стандарт также определяет состав участников проектирования и реализации проектных решений, которые участвуют в составлении и (или) согласовании ТЗ. В самом общем случае к ним относятся:

- организация-заказчик (пользователь), для которой создаётся АС и которая обеспечивает финансирование, приёмку работ и эксплуатацию как по всей АС, так и по отдельным её компонентам;
- организация-разработчик (генпроектировщик), осуществляющая работы по созданию АС, представляя Заказчику совокупность научно-технических услуг на разных стадиях и этапах создания, а также разрабатывая и поставляя различные программные и технические средства АС. Данная (головная) организация может пользоваться услугами других организаций, работающих у неё на субподряде;
- организация-поставщик, изготавливающая и (или) поставляющая программные и технические средства по заказу Разработчика или Заказчика;
- организации, выполняющие строительные, электротехнические, санитарно-технические, монтажные, наладочные и другие подготовительные работы, связанные с созданием АС.

ГОСТ 34.602-89 устанавливает порядок разработки, согласования и утверждения ТЗ на создание (развитие или модернизацию) автоматизированных систем различного назначения, а также состав и содержание указанного документа независимо от того, будет ли она работать самостоятельно или в составе другой системы. В зависимости от условий создания системы возможны различные совмещения функций заказчика, разработчика, поставщика и других организаций, участвующих в работах по созданию АСУ.

ТЗ на АС разрабатываются на основании исходных данных. Это означает, что Заказчик должен предоставить исполнителю документацию на

оборудование технологического процесса, существующие на предприятии АСУ.

Раздел “Общие сведения”

- Полное наименование системы и её условное обозначение.
- Наименование и реквизиты предприятий (объединений) разработчика и заказчика системы.
- Перечень документов, явившихся основанием создания системы, кем и когда они утверждены.
- Возможные сроки начала и окончания работ по созданию системы.
- Сведения об источниках и порядке финансирования работ.
- Порядок оформления и предъявления заказчику результатов работ по созданию системы или её частей, по изготовлению и наладке отдельных средств (технических, программных, информационных) и программно-технических комплексов системы.

Раздел “Назначение и цели создания (развития) системы”

- Под “Назначением системы” понимается вид автоматизируемых процессов (деятельности) и перечень предполагаемых к использованию объектов.
- В пункте “Цели создания системы” приводятся наименования и требуемые значения технических, технологических, производственно-экономических и других показателей объекта автоматизации, достигаемые в результате создания АС, указываются критерии оценки достижения целей создания системы.

Раздел “Характеристики объекта автоматизации”

- Краткие сведения об объекте автоматизации или ссылки на документы, содержащие эти данные.
- Сведения об условиях эксплуатации объекта автоматизации.
- Характеристики внешней среды, в которой функционирует объект автоматизации.

Раздел “Требования к системе” содержит подразделы с требованиями к системе в целом, функциям (задачам), выполняемым системой, видам обеспечения.

Требования к численности и квалификации персонала АС содержат требования к численности персонала и пользователей АС; квалификации персонала, порядку его подготовки, контроля знаний и навыков; режиму работы персонала АС.

Требования по безопасности включают требования по обеспечению безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте технических средств системы (защита от воздействия электрического тока, электромагнитных полей, акустических шумов и т.п.), допустимым уровням освещённости, вибрационных и шумовых нагрузок.

Требования по сохранности информации содержат перечень событий: аварий, отказов технических средств (в т.ч. потери питания) и т.п., при которых должна быть обеспечена сохранность информации в системе, а также требования к подсистеме резервного копирования и архивного хранения документов и данных.

В *требования к защите информации от несанкционированного доступа* включают требования, действующей в отрасли (ведомстве) заказчика.

В *требования по эргономике и технической эстетике* включают показатели АС, задающие необходимое качество взаимодействия человека с машиной и комфортность условий работы персонала.

Требования к стандартизации и унификации включают показатели, устанавливающие соответствие с государственными стандартами, ведомственными и другими нормами.

В *дополнительные требования* могут быть включены:

требования к оснащению системы устройствами для обучения персонала (тренажерами, другими устройствами аналогичного назначения) и документацией на них;

требования к сервисным средствам, стендам для проверки элементов системы;

требования к системе, связанные с особыми условиями эксплуатации;

специальные требования по усмотрению разработчика или заказчика системы.

Подраздел "*Требования к видам обеспечения*" в зависимости от вида системы может содержать требования к математическому, информационному, лингвистическому, программному, техническому, организационному, методическому и другим видам обеспечения системы.

В части *требований к математическому обеспечению* системы приводятся требования к составу, области применения (ограничения) и способам использования в системе математических методов и моделей, типовых алгоритмов и алгоритмов, подлежащих разработке.

В части *требований к информационному обеспечению* системы приводят требования:

- к составу, структуре и способам организации фондов и машиночитаемых данных в системе;
- к информационному обмену между компонентами системы;
- к информационной совместимости со смежными системами;
- по использованию коммуникативных форматов, унифицированных документов, действующих в данной организации и (или) взаимодействующей группе организаций;
- к внутрисистемным форматам данных;
- по применению систем управления базами данных;
- к структуре процесса сбора, обработки, передачи данных в системе и представлению данных;

- к защите данных от разрушений при авариях и сбоях в электропитании системы;
- к контролю, хранению, обновлению и восстановлению данных.

В части *требований к лингвистическому обеспечению* системы приводятся требования к применению в системе:

- классификаторов и тезаурусов,
- языков взаимодействия пользователей и технических средств системы,
- средств кодирования и декодирования данных,
- конверторов,
- языков ввода-вывода данных,
- языков манипулирования данными,
- способов организации диалога.

В части *требований к программному обеспечению АС* приводятся общие функциональные и общесистемные требования к приобретаемым и вновь разрабатываемым программным продуктам. При этом следует предусмотреть:

- решение средствами ПО системы полного комплекса служебных и пользовательских задач;
- поддержку возможностей обработки, хранения и актуализации заданных видов документов и данных с учётом необходимых их количественных показателей;
- поддержку возможности настройки на заданные входные и выходные формы документов;
- поддержку необходимых форматов данных и средств лингвистического обеспечения;
- поддержку требований протоколов телекоммуникационного обмена данными, действующими в области функционирования АС,
- обеспечение необходимой для создаваемой АС скорости обработки и поиска данных,
- обеспечение требований стандартизации, унификации, эргономики, защиты информации и соответствия другим, не перечисленным в данном пункте, требованиям, включённым в другие пункты ТЗ.

В части *требований к средствам технического обеспечения системы* приводят требования к видам технических средств, в том числе к видам комплексов технических средств, программно-технических комплексов и других комплектующих изделий, допустимых к использованию в системе, а также к функциональным, конструктивным и эксплуатационным характеристикам средств технического обеспечения системы.

В части *требований к организационному обеспечению* приводят требования к структуре и функциям подразделений, участвующих в функционировании системы или обеспечивающих эксплуатацию; организации функционирования системы и порядку взаимодействия

персонала АС с персоналом объекта автоматизации; защите от ошибочных действий персонала системы.

В *требования по обеспечению управления и контроля* включают:

- перечень контролируемых параметров технологической цепи обработки входных документов и обслуживания пользователей,
- требования к регламенту обработки входных документов и обслуживания пользователей,
- требования к видам статистической обработки контролируемых данных, а также их выходным формам,
- требования к средствам формально-логического контроля.

Раздел *“Состав и содержание работ по созданию (развитию) системы”* должен содержать перечень стадий и этапов работ по созданию системы в соответствии с ГОСТ 34.601-90, сроки их выполнения, перечень организаций-исполнителей работ, ссылки на документы, подтверждающие их согласие на участие в создании системы и т.п.

В разделе *“Порядок контроля и приемки системы”* указывают:

- виды, состав, объём и методы испытаний системы и её составных частей (виды испытаний в соответствии с действующими нормами, распространяющимися на разрабатываемую систему);
- общие требования к приемке работ по стадиям (перечень участвующих организаций, и/или юридических и физических лиц, место и сроки проведения), порядок согласования и утверждения приёмочной документации;
- статус приёмочной комиссии (государственная, межведомственная, ведомственная и т.п.).

В разделе *“Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие”* необходимо привести перечень основных мероприятий, которые следует выполнить при подготовке объекта автоматизации к вводу АИС в действие, и их исполнителей.

В разделе *“Требования к документированию”* приводят:

- согласованный разработчиком и заказчиком системы перечень подлежащих разработке комплектов и видов документов, в т.ч. выпускаемых на машинных носителях;
- требования по документированию комплектующих элементов межотраслевого применения в соответствии с требованиями ЕСКД и ЕСПД;
- при отсутствии государственных стандартов, определяющих требования к документированию элементов системы, дополнительно включают требования к составу и содержанию таких документов.

Обеспечение качества проектной документации относится к возможностям средств проектирования анализировать и проверять описания

и документацию на полноту и непротиворечивость, а также на соответствие принятым стандартам и правилам (включая ГОСТ, ЕСПД).

В разделе *“Источники разработки”* должны быть перечислены документы и информационные материалы (технико-экономическое обоснование, отчеты о законченных научно-исследовательских работах, информационные материалы на отечественные, зарубежные системы-аналоги и др.), на основании которых разрабатывалось ТЗ и которые должны быть использованы при создании системы.

В состав ТЗ на АС включают приложения, содержащие расчёт ожидаемой эффективности системы; оценку научно-технического уровня системы; использованные при разработке ТЗ методические и наиболее важные информационные материалы из состава документов указанных в разделе *“Источники разработки”*.

Дополнительные рекомендации по составу и содержанию технического задания на автоматизированные системы различного назначения и приложений к ним содержатся также в РД 50-640-87 и ГОСТ 24.602-86, ГОСТ 21.408-93 *«Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов основной комплект рабочих чертежей систем автоматизации»*.

Состав основного комплекта рабочих чертежей систем автоматизации. В основной комплект рабочих чертежей систем автоматизации (далее основной комплект) в общем случае включают:

- общие данные по рабочим чертежам;
- схемы автоматизации;
- схемы принципиальные (электрические, пневматические);
- схемы (таблицы) соединений и подключения внешних проводок;
- чертежи расположения оборудования и внешних проводок;
- чертежи установок средств автоматизации.

Объекты управления (отделения, системы, установки, агрегаты, аппараты) и относящиеся к ним средства автоматизации, не связанные между собой и имеющие одинаковое оснащение системами автоматизации, изображают на схемах и планах расположения один раз, поясняя текстовыми указаниями.

Основной комплект допускается оформлять самостоятельными документами с присвоением им базового обозначения (например, в ТПУ ФЮРА. ОКП) и добавлением порядкового номера документа (арабскими цифрами).

Пример - ФЮРА.425400.098 ПЗ и т.д.

Для объектов с небольшим объемом монтажных работ по автоматизации допускается объединять рабочие чертежи автоматизации различных технологических процессов и инженерных систем в один основной комплект, если их монтаж осуществляет одна монтажная организация. Объединенному основному комплекту присваивают марку АК.

В случае применения приборов с радиоизотопными методами измерения рабочие чертежи для их монтажа выделяют в самостоятельный основной комплект.

Общие данные по рабочим чертежам (далее – общие данные) выполняют по ГОСТ 21.101. При этом ведомость спецификаций не составляют.

Дополнительно к указанным в ГОСТ 21.101 данным включают:

- таблицу исходных данных и результатов расчетов сужающих устройств (не поставляемых промышленностью) по форме 1* согласно ГОСТ 21.101;

- таблицу исходных данных и результатов расчетов регулирующих органов по форме 2 ГОСТ 21.101;

- перечень закладных конструкций, первичных приборов (размещаемых на технологическом, санитарно-техническом и другом оборудовании и коммуникациях) по форме 3 ГОСТ 21.101.

В перечень закладных конструкций, первичных приборов и средств автоматизации включают:

- закладные конструкции, предназначенные для установки приборов измерения температуры, отборных устройств давления, уровня, состава и качества вещества;

- первичные приборы (объемные и скоростные счетчики, сужающие устройства, ротаметры, датчики расходомеров и концентратомеров);

- датчики уровнемеров и сигнализаторов уровня;

- регулирующие клапаны.

Лекция 5. Структурные схемы АС

Для технологических процессов добычи и транспорта нефти и газа характерна значительная рассредоточенность объектов по площадям (добывающие скважины, нагнетательные скважины, групповые замерные установки, кустовые насосные станции, линейные участки магистральных нефте-газо-продуктопроводов и т. д.).

С другой стороны, многие технологические объекты сосредоточены на сравнительно небольших площадях. Это объекты подготовки нефти, процессы комплексной подготовки газа, процессы компрессорных и насосных станций магистральных газо-нефтепроводов, дожимных насосных станций, все технологические процессы переработки нефти и газа, а также нефтехимические процессы и т. д.

Очевидно, комплекс технических средств и организация каналов связи при автоматизации таких объектов различны.

Управление технологическими процессами добычи нефти и газа сводится к управлению оборудованием - электроцентробежными или штанговыми насосами, групповыми замерными установками, кранами. Централизованное управление реализуется командами открыть, закрыть, включить, выключить, остановить, запустить (дискретное управление). Управление на полевым уровне сводится к автоматическому регулированию технологических

параметров. Широко развиты функции контроля, сигнализации аварийных ситуаций, блокировок.

Объектами промышленной подготовки газа и нефти являются различные сепараторы, насосы, отстойники. Наряду с задачами контроля и сигнализации отклонений здесь широко развиты функции стабилизации технологических параметров в режиме с обратной связью (непрерывное управление). Управление такими процессами требует применения более сложных алгоритмов (каскадные системы, системы с компенсацией возмущений, системы со взаимозависимыми параметрами, адаптивные системы, системы оптимального управления).

Объектами управления в технологических процессах транспорта нефти и газа являются насосные и компрессорные агрегаты, узлы учета, вспомогательное оборудование, а также линейные участки нефтегазопроводов, газораспределительные станции и т. п. Для линейных участков характерны контроль параметров, сигнализация отклонений и дискретное управление кранами и задвижками. 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 часто реализуются функции непрерывного управления (регулирования).

Исходя из особенностей объектов автоматизации нефтегазовой отрасли, выдвигаются и соответствующие требования к архитектуре, а также аппаратным и программным средствам АСУ ТП.

Для автоматизации непрерывных технологических процессов подготовки нефти и газа, заводских процессов переработки нефти и газа, а также нефтехимических процессов наиболее востребованы DCS-системы (в терминологии РФ АСУ ТП). В таких системах все известные функции автоматизации распределены между различными аппаратными средствами системы управления. Каждый компонент системы узко специализирован и «занимается своим делом». Наиболее характерная черта управляющих процессоров DCS-систем - способность выполнять как алгоритмы управления технологическим оборудованием, так коммуникационные протоколы связи с центральными узлами принятия управленческих решений.

Для рассредоточенных объектов, таких, как нефтяные и газовые промыслы, а также для объектов транспорта нефти и газа в качестве программных средств диспетчерского управления применяют SCADA-системы. 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 терминальными компьютерными устройствами (RTU).

На рис. 3,4 и 5 представлены структурные схемы комплексов технических средств многоуровневой системы управления технологическими процессами нефтяной и газовой промышленности с различных точек зрения при решении задач проектирования. Как правило, это двух- или трехуровневые системы. На этих уровнях реализуется непосредственное управление технологическими процессами. Специфика каждой конкретной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно - аппаратной платформой. В общем случае нижний уровень (полевой) состоит из первичных датчиков (измерительных преобразователей), осуществляющих сбор информации о ходе технологического процесса, приводов и исполнительных устройств, реализующих регулирующие и управляющие воздействия, кабельных соединений, клеммников и нормирующих преобразователей.

Средний уровень (контроллерный) состоит из контроллеров и прочих устройств аналого-цифрового, цифро-аналогового, дискретного, импульсного и т.п. преобразования, и устройств для сопряжения с верхним уровнем управления (коммуникационных модулей). Отдельные контроллеры могут быть объединены друг с другом при помощи контроллерных сетей. Контроллерные сети строятся на базе каналов связи RS-232, RS-485, Ethernet.

Верхний уровень (информационно-вычислительный) состоит из компьютеров объединенных в локальную сеть Fast Ethernet (возможно Ethernet) с использованием в качестве передающей среды медной витой пары или (при больших расстояниях) оптоволокна. Протокол передачи данных – для удаленных подключений TCP IP, для локальных возможно также применение IPX.

Датчики с нижнего уровня поставляют информацию среднему уровню управления 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;
- самодиагностику работы программного обеспечения и состояния самого контроллера;
- обмен информацией с пунктами управления.

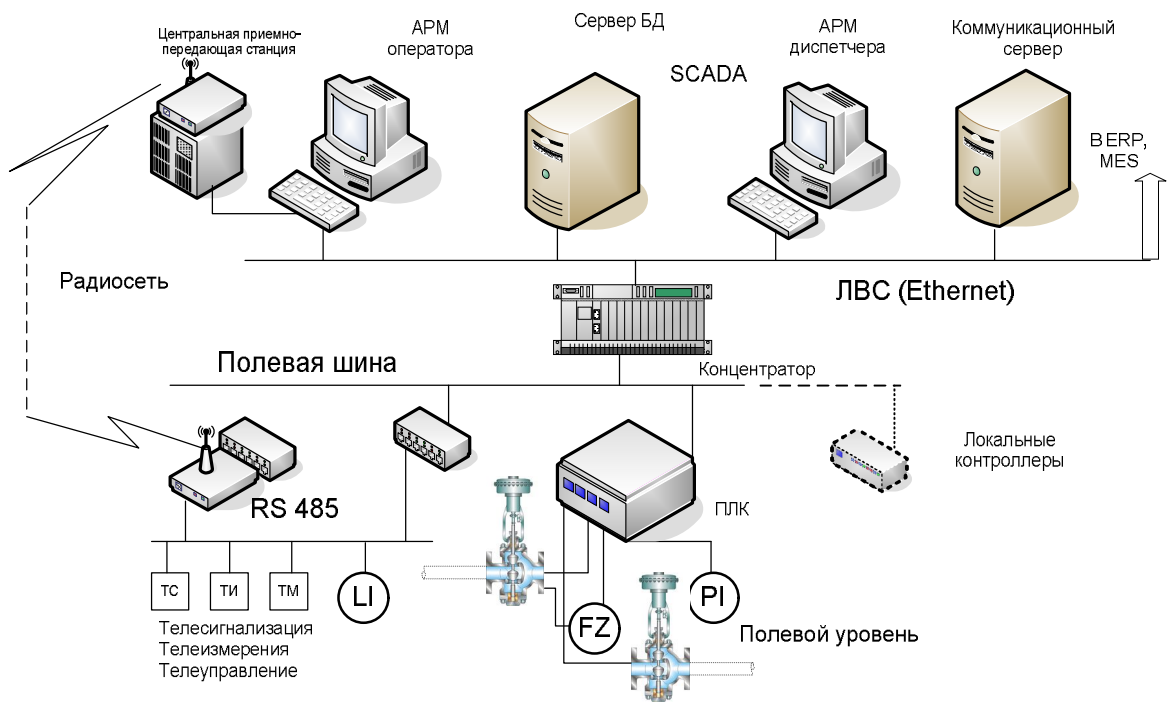


Рис. 3. Обобщенная структура системы управления.

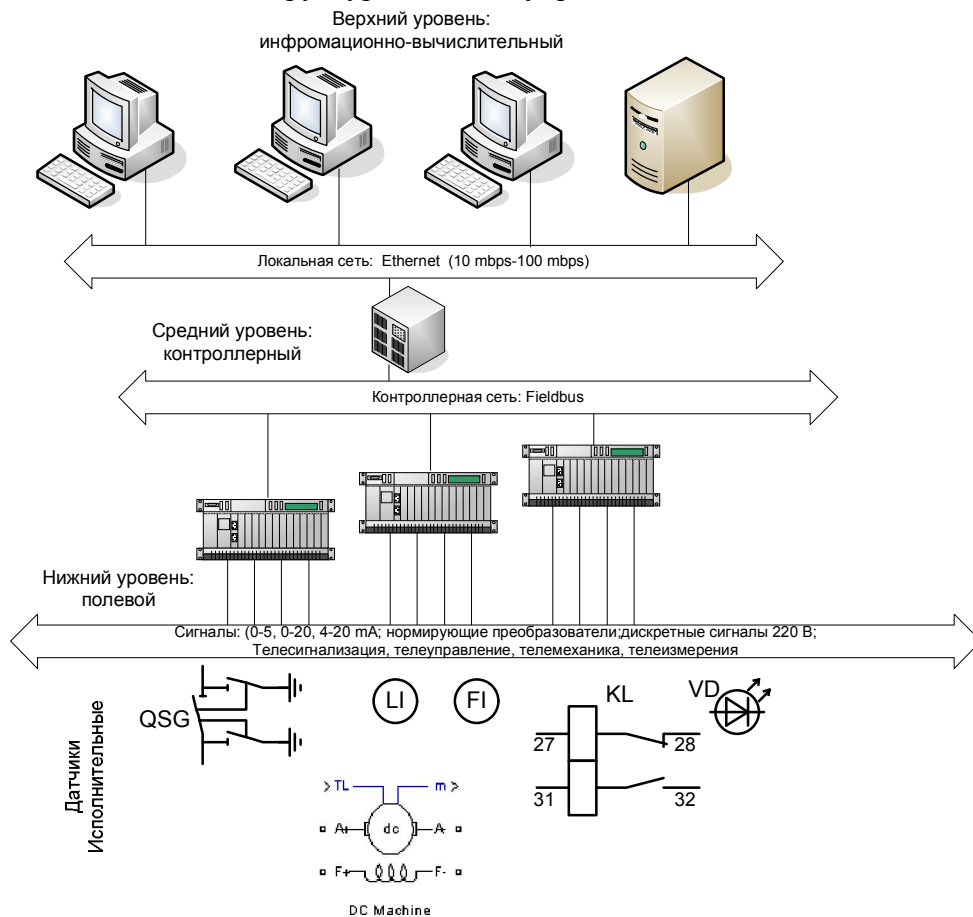


Рис.4 Трехуровневая структура АСУ ТП

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



Рис.5 Функции трех-уровневой структуры управления

ПЛК контроллеры обычно исполняют роль OPC серверов в клиент - серверной технологии взаимодействия со SCADA - системой.

Информация с локальных контроллеров направляется в сеть диспетчерского пункта непосредственно, а также через контроллеры верхнего уровня. В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, коммуникационные контроллеры) реализуют различные функции (рис.5). 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 установлен 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. В зависимости от поставленной задачи на диспетчерском уровне реализуются следующие функции:

- Измерение, контроль и отображение технологических параметров и состояния технологического оборудования.
- Регистрация и анализ истории изменения (трендов) параметров технологических процессов.
- Регулирование технологических параметров.
- Оптимизация работы насосных агрегатов и газовых компрессоров по удельному расходу электроэнергии на перекачку жидкости или газа.
- Оптимизация работы насосных агрегатов и поддержание технологического режима закачки агента по разным направлениям.
- Дистанционное, автоматическое и ручное управление регуляторами, запорными клапанами и задвижками.
- Пуск и остановку технологического оборудования.
- Предупредительная и аварийная сигнализация, блокировка технологического оборудования, контроль срабатывания защит и блокировок.
- Протоколирование аварийных ситуаций и действий оперативного персонала.
- Вибродиагностику насосных и компрессорных агрегатов и электроприводов.
- Контроль состояния (целостности и пропускной способности) нефтегазосборных и нагнетательных коллекторов и внутриплощадочных трубопроводов.
- Подготовка и выдача рапортов, отчетов, справок.
- Связь с АСУ производственного назначения.

Эти задачи и призвано решать прикладное 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, а также с блоками удаленного и распределенного ввода/вывода с помощью специализированных сетей удаленного ввода/вывода и полевых шин.

Связующим звеном между локальными контроллерами и контроллерами верхнего уровня, а часто и пультами оператора являются управляющие сети.

Связь различных АРМ оперативного персонала между собой, с контроллерами верхнего уровня, а также с вышестоящим уровнем осуществляется посредством информационных сетей.

Лекция 6. Функциональные схемы автоматизации

Функциональная схема автоматического контроля и управления предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании систем автоматизации технологических процессов. Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного оборудования вместе с встроенными в него запорными и регулирующими органами.

Функциональная схема является техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации. На функциональной схеме изображаются системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок.

Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Функциональная схема автоматического контроля и управления содержит упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса. Оборудование на схеме показывается в виде условных изображений.

В соответствии с ГОСТ 36-27-77 «Приборы и средства автоматизации. Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов» устанавливаются обозначения измеряемых величин, функциональные признаки приборов, линии связи, а также способы и методика построения условных графических обозначений приборов и средств автоматизации.

При разработке функциональной схемы автоматизации технологического процесса необходимо решить следующие задачи:

- задачу получения первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- задачу непосредственного воздействия на ТП для управления им и стабилизации технологических параметров процесса;
- задачу контроля и регистрации технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

При разработке функциональной схемы определяют:

- 1) целесообразный уровень автоматизации технологического процесса;
- 2) принципы организации контроля и управления технологическим процессом;
- 3) технологическое оборудование, управляемое автоматически, дистанционно или в обоих режимах по заданию оператора;
- 4) перечень и значения контролируемых и регулируемых параметров;
- 5) методы контроля, законы регулирования и управления;
- 6) объем автоматических защит и блокировок автономных схем управления технологическими агрегатами;

7) комплект технических средств автоматизации, вид энергии для передачи информации;

8) места размещения аппаратуры на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления.

Схема автоматизации должна быть составлена таким образом, чтобы из нее легко можно было определить:

- 1) параметры технологического процесса, которые подлежат автоматическому контролю и регулированию;
- 2) наличие защиты и аварийной сигнализации;
- 3) принятую блокировку механизмов;
- 4) организацию пунктов контроля и управления;
- 5) функциональную структуру каждого узла контроля, сигнализации, автоматического регулирования и управления;
- 6) технические средства, с помощью которых реализуется тот или иной функциональный узел контроля, сигнализации, автоматического регулирования и управления.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 2.702-75 «Правила выполнения электрических схем» графическое построение схемы должно давать наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в системе. На функциональной схеме должны изображаться функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, иллюстрируемой схемой, и связи между этими частями.

Общепринятым являются два варианта представления функциональной схемы:

по ГОСТ 21.404-85 «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» и ГОСТ 21.408-93 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов»;

по Стандарту американского общества приборостроителей ANSI/ISA S5.1. «Instrumentation Symbols and Identification».

Примером применения ГОСТ является схема КИПиА, приведенная в приложении ГОСТа 21.408-93 (рис.6). На этой схеме показаны:

- канал преобразования информации чувствительного элемента 7а в унифицированный сигнал 7б;
- канал преобразования управляющего сигнала 7в в управляющее воздействие на исполнительный орган (клапан) 7и с возможностью управления им с панели дистанционного управления 7е, индикацией положения ключа и использованием ручного ключа управления 7г;
- канал сигнализации 7д со световыми сигналами HL1/2.

В шкафу блоков (например, в шкафу релейной автоматики) осуществляется преобразование сигнала измерения для дистанционной передачи. На операторском щите осуществляется наблюдение и ручное (контроллерное) управление. Контур управления замыкается исполнительным устройством.

На экранах диспетчерского уровня осуществляется мониторинг, управление и конфигурирование АС (нижняя часть схемы).

Важно для сигналов на схеме указать размерность и пределы измерений физических параметров: мм, °С, МПа, м³/час и др.

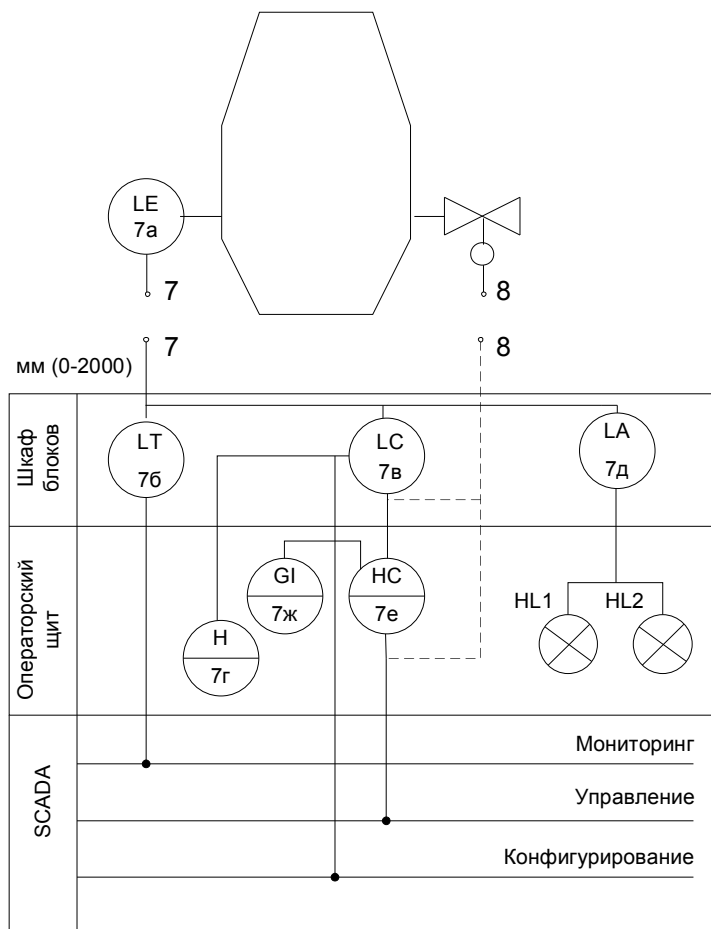


Рис.6 Пример функциональной схемы автоматизации по ГОСТ

Функциональные части и связи между ними на схеме изображаются в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах Единой Системы Конструкторской Документации. Особую роль при этом занимает семантика аббревиатуры КИПиА. Рекомендуемым способом построения системы наименования КИПиА, установленным в ГОСТ, является формирование многобуквенного имени, на первой позиции которого может стоять любая из 20 букв латинского алфавита, на второй - любая из 5 букв, на третьей - любая из 7 и т.д. (например, LIR, где L- уровень; I- показания; R- регистрация).

Примером применения ANSI стандарта является схема КИПиА приведенная на рис. 7.

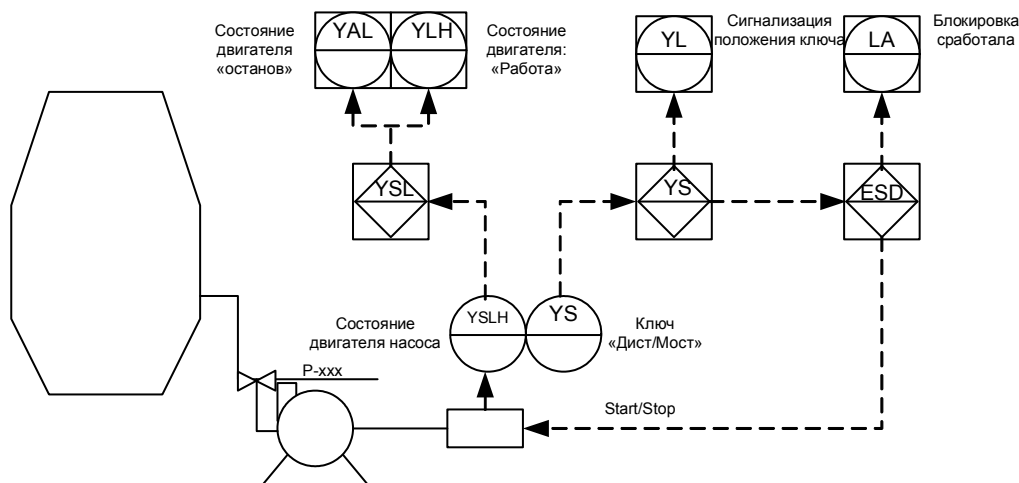


Рис.7 Пример функциональной схемы автоматизации по ANSI

На этом рисунке можно выделить 4 уровня АС: нижний уровень- это двигатель насоса, уровень щитовых приборов - YSLH и YS, уровень логики блокировок и управления и верхний уровень- сигнализация состояния исполнительных и командных элементов системы автоматизации.

Блок защиты и управления электродвигателем ESD обеспечивает:

- мягкий пуск двигателя;
- реверс двигателя;
- торможение с заданным током в течение заданного времени;
- ограничение токов при пуске, движении и торможении;
- управление по дискретным сигналам, по последовательному интерфейсу, с местного поста управления;
- отключение нагрузки при коротком замыкании;
- отключение по таймеру;
- проверка наличия фаз электродвигателя через заданные промежутки времени и выдача предупреждений в остановленном состоянии;
- определение изменения чередования фаз при включении блока и выдача предупреждений;
- определение провала одной из фаз сети ниже установленного уровня и выдача предупреждения;
- регулирование угла открытия тиристорov с помощью сигнала аналогового входа.

Состояние насоса показывается щитовым прибором YSLH. По этому сигналу формируется логика блокировок YSL, которая отражается затем предупредительной сигнализацией останова YAL и сигнализацией работа YLH.

По состоянию щитового ключа YS формируется логика релейного управления двигателем, которая отражается сигнализацией YL.

По состоянию ключа YS включается дистанционно формирователь напряжения ESD, что подтверждается индикацией «Блокировка сработала» LA. Связь с первичными и вторичными приборами показывается прерывистой линией.

В системах технологического контроля и управления часто используются комбинированные и комплексные устройства, такие как

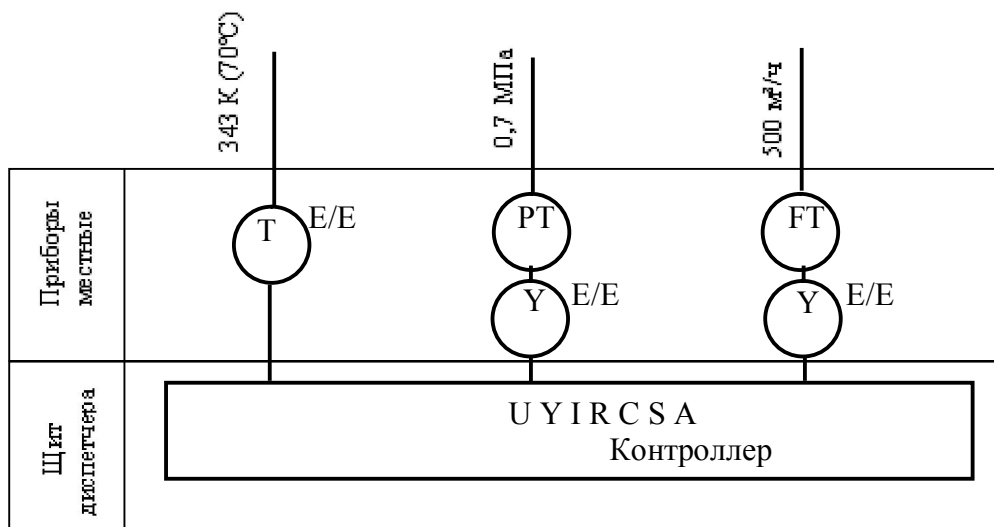


Рис.8 Пример щитовой части разнесенного варианта функциональной схемы

комбинированные измерительные и регулирующие приборы, микропроцессоры, компьютеры, полуккомплекты телемеханики и т.п. Такие устройства обозначают прямоугольником произвольных размеров с указанием внутри прямоугольника (рис.8) типа устройства (U- несколько разнородных измеряемых величин; Y- преобразования и вычислительные функции; I- показания; R- регистрация; C- управление; S- включение, отключение, переключение, блокировка; A- сигнализация).

Всем КИПиА, изображенным на функциональной схеме автоматизации, присваиваются позиционные обозначения, состоящие из двух частей: арабских цифр – номера функциональной группы и строчных букв русского алфавита – номера КИПиА в данной функциональной группе (например, 5а, 3б и т.п.).

Буквенные обозначения присваивают каждому элементу функциональной группы в порядке алфавита в зависимости от последовательности прохождения сигнала – от устройств получения информации к устройствам воздействия на управляемый процесс (например, первичный измерительный прибор, вторичный преобразователь, задатчик, регулятор, указатель положения, исполнительный механизм, регулирующий орган).

Допускается вместо букв русского алфавита использовать арабские цифры (например, 5-1, 3-2 и т.д.).

Позиционные обозначения отдельных приборов и средств автоматизации, таких как регулятор прямого действия, манометр, термометр, и т.п., состоят только из порядковых номеров.

При определении границ каждой функциональной группы необходимо учитывать следующее обстоятельство: если какой-либо прибор или регулятор связан с несколькими датчиками или получает дополнительные воздействия по другим параметрам (например, корректирующий сигнал), то все элементы схемы, осуществляющие дополнительные функции, относятся к той функциональной группе, на которую оказывается воздействие. В частности, регулятор соотношения входит в состав той функциональной группы, на которую оказывается ведущее воздействие по независимому параметру.

В системах централизованного контроля с применением вычислительной техники, в системах телеизмерения, а также в сложных схемах автоматического управления с общими для разных функциональных групп устройствами все общие элементы выносятся в самостоятельные функциональные группы.

Позиционные обозначения проставляют, как правило, в нижней части окружности, обозначающей прибор, или рядом с ней с правой стороны, или над ней.

Лекция 7. Выбор контроллерного оборудования

Задачей выбора средств реализации проекта АС является анализ вариантов, выбор компонентов АС и анализ их совместимости.

Конкретные типы средств автоматизации выбирают с учетом особенностей технологического процесса и его параметров.

В первую очередь принимают во внимание такие факторы, как пожаро и взрывоопасность, агрессивность и токсичность среды, число параметров, участвующих в управлении, и их физико-химические свойства, дальность передачи сигналов информации и управления, требуемые точность и быстродействие. Эти факторы определяют выбор методов измерения технологических параметров, требуемые функциональные возможности регуляторов и приборов (законы регулирования, показание, запись и т.д.), диапазоны измерения, классы точности, вид дистанционной передачи и т.д.

Конкретные приборы и средства автоматизации следует подбирать по справочной литературе, исходя из следующих соображений:

- для контроля и регулирования одинаковых параметров технологического процесса необходимо применять однотипные средства автоматизации, выпускаемые серийно. При этом нужно отдавать предпочтение приборам и средствам автоматизации Государственной системы промышленных приборов (ГСП);

- при большом числе одинаковых параметров рекомендуется применять многоточечные приборы;

- класс точности приборов должен соответствовать технологическим требованиям;

- для автоматизации технологических аппаратов с агрессивными средами необходимо предусматривать установку специальных приборов, а в случае применения приборов в нормальном исполнении нужно защищать их.

В этом разделе ПАС обосновывается выбор контроллерного оборудования.

Основная задача АС- это выполнение алгоритмов автоматизированного управления технологическим процессом (ввод сигналов измерений, вычисление регулирующего воздействия, вывод сигналов управления исполнительным органом). Для решения этих задач используется программируемый логический контроллер (ПЛК), который включает в себя процессорный модуль и модули ввода-вывода (устройства сопряжения с окружающими объектами, УСО) (рис.9). Для этого УСО осуществляют, в случае необходимости, нормализацию сигналов (приведение к унифицированному уровню сигналов), преобразование их в цифровой код и ввод/ выводные операции с сигналами измерения и управления.

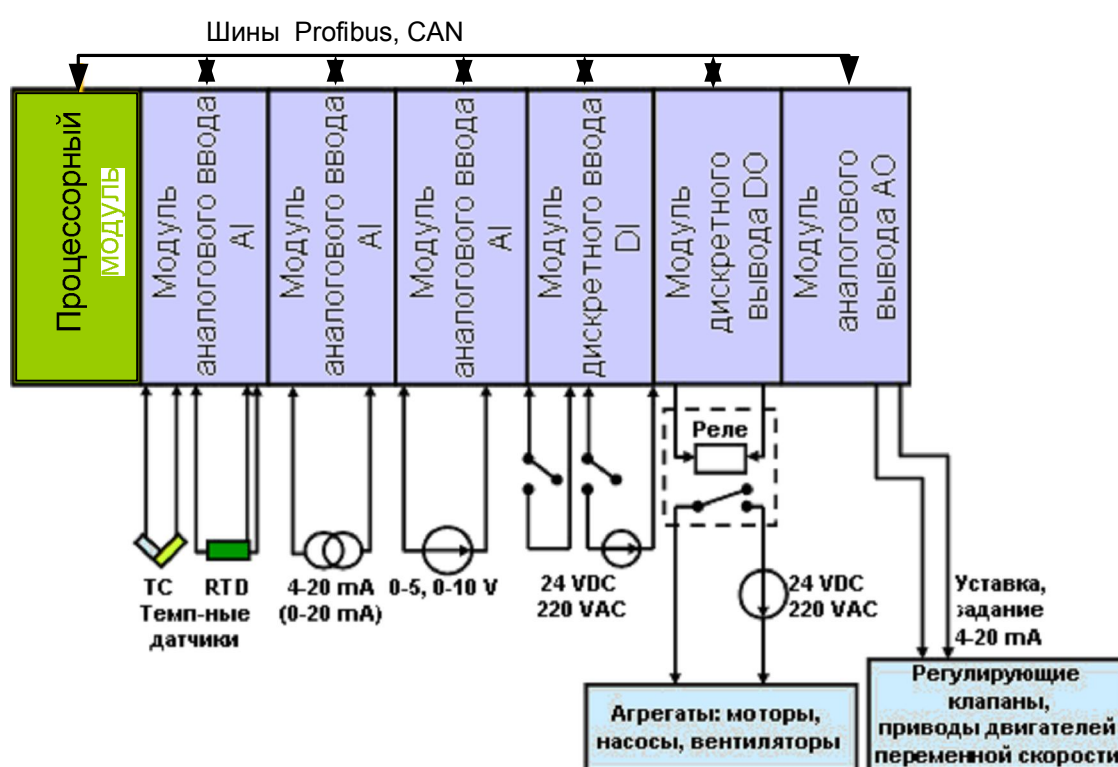


Рис.9 Пример устройства ввода/ вывода ПЛК

Процессорная часть осуществляет централизованное управление УСО, различные виды вычислений, в том числе вычислительное масштабирование сигналов и логическое обеспечение протоколов обмена информационными кадрами с окружающими объектами.

Как видно из рисунка 9, к модулям ввода/вывода с помощью электрических кабелей подключаются датчики и исполнительные механизмы. В зависимости от того, служит ли модуль для ввода сигналов с датчиков в систему управления или выводит управляющие сигналы на исполнительные устройства, модули осуществляют, соответственно, аналого-цифровое или цифро-аналоговое преобразование.

Модули ввода/вывода базового назначения бывают 4 типов: модули аналогового и дискретного ввода/вывода.

Модули аналогового ввода (AI, analogue input). Они принимают от датчиков, подключенных к его входам, электрические сигналы унифицированного диапазона, например: 0-20 или 4-20 мА (токовый сигнал); 0-10 В или 0-5 В (потенциальный сигнал); милливольтовый сигнал от термопар (ТС) или сигнал от термосопротивлений (RTD) (в случае неунифицированного сигнала для ввода данных необходим специальный модуль - нормализатор). Внутреннее устройство (АЦП) преобразует их в цифровой код.

Пусть в технологическом процессе используется датчик давления с диапазоном измерений 0-6 бар и токовым выходом 4-20 мА. Датчик измеряет давление P , которое в данный момент равно 3 бар. Так как датчик линейно преобразует значение измеряемого давления в токовый сигнал, то на выходе датчика будет:

$$I_{\text{вых}} = 4 + 3/6 \cdot (20-4) = 12 \text{ мА};$$

Вход модуля AI, настроенный на те же диапазоны (4-20 мА и 0-6 бар), принимает сигнал 12 мА и делает обратное преобразование:

$$P = 6 \cdot (12-4) / 16 = 3 \text{ бар}.$$

Программа, находящаяся в процессоре ПЛК, осуществляет масштабирование этой физической величины, или присваивает ей цифровой код.

Соответствие диапазона электрического сигнала между входом модуля и выходом подключенного к нему датчика обязательно для корректной работы системы.

Модули дискретного ввода (DI, discrete input). Принимают от датчиков дискретный электрический сигнал, который может иметь только два значения: или 0 или 24 В (в редких случаях 12, 48 В постоянного тока, 120 В переменного тока). Вход модуля DI также может реагировать на замыкание/размыкание контакта в подключенной к нему цепи. К DI обычно подключают датчики контактного типа, кнопки ручного управления, статусные сигналы от систем сигнализации, приводов, позиционирующих устройств и т.д.

Пусть в технологическом процессе используется насос. Когда он не работает, его статусный (выходной) контакт разомкнут. Соответствующий дискретный вход модуля DI находится в состоянии "0". Как только насос запустили, его статусный контакт замыкается, и напряжение 24 В идет на клеммы входа DI. Модуль, обнаружив напряжение на дискретном входе, переводит его в состояние "1".

Модули дискретного вывода (DO, discrete output). В зависимости от внутреннего логического состояния выхода ("1" или "0") возбуждает на клеммах дискретного выхода или снимает с них напряжение 24 В. Есть вариант, когда модуль в зависимости от логического состояния выхода просто замыкает или размыкает внутренний контакт (модуль релейного типа).

Модули DO могут управлять приводами, отсечными клапанами, зажигать светосигнальные лампочки, включать звуковую сигнализацию и т.д. В

качестве выходных устройств в этом модуле применяется промежуточные реле, например, 3SJ5 или РЭК.

Модули аналогового вывода (АО, analogue output). Действуют как AI, только в обратном направлении. Для этого в модуле используются цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП).

Пусть в технологическом процессе используется регулирующий клапан с управляющим входом 4-20 мА. Пусть принято решение использовать его наполовину (т.е. на 50%). Выход АО, к которому подключен вход клапана, генерирует ток I_{вых}:

$$I_{\text{вых}} = 4 + (20-4) \cdot 0.5 = 12 \text{ мА};$$

Регулируемый клапан, обнаружив на своем входе ток 12 мА, переходит на 50% открытия.

Соответствие диапазона электрического сигнала между выходом модуля и входом, подключенного к нему исполнительного механизма, обязательно.

Модуль ввода/вывода также характеризуются канальностью – числом входов/выходов, а, следовательно, и количеством сигнальных цепей, которые к нему можно подключить. Например, модуль AI 4 – это четырехканальный модуль аналогового ввода. К нему можно подключить 4 датчика. DI 16 – шестнадцатиканальный модуль дискретного ввода. К нему можно подключить 16 статусных сигналов с какого-нибудь агрегата.

В современных системах расположение модулей ввода/вывода на DIN-рейке строго не регламентировано, и их можно устанавливать в произвольном порядке. Однако один или несколько слотов, как правило, резервируются под установку интерфейсного модуля. Одним из жестких требований, предъявляемых к современным подсистемам ввода/вывода, – это возможность “горячей” замены модулей без отключения питания (функция hot swap).

Современный рынок средств автоматизации предлагает широкий спектр аппаратных и программных устройств для построения надежных и удобных в эксплуатации систем. Не существует отрасли промышленности, в которой не было бы потребности применения контроллеров. Одними из их главных преимуществ является снижение, вплоть до полного исключения, влияния, так называемого человеческого фактора на управляемый процесс, сокращение персонала, минимизация расходов сырья, улучшение качества исходного продукта, и в конечном итоге существенное повышение эффективности производства.

Одной из важнейших особенностей микроконтроллера является наличие разного типа стандартных интерфейсов (RS 485, CAN и др.), которые используются для связи с цифровыми устройствами. Интерфейс служит для двух целей: первая это организация связи устройства с другими устройствами (с компьютером или интеллектуальным датчиком), а вторая – связь микроконтроллера с другими микросхемами на плате. В тех случаях, когда автономное устройство работает вне какой-либо системы, и не требуется передачи или прием данных от другого устройства, тогда интерфейс нужен лишь для связи микроконтроллера с другими микросхемами.

Интерфейсная связь между контроллером и подсистемой ввода/вывода. Такая связь возможна благодаря интерфейсному модулю, поддерживающему один из принятых коммуникационных протоколов: Profibus DP, Modbus RTU, Modbus +, CAN, DeviceNet, ControNet и т.д. Вообще, насчитывается более 50 стандартов промышленных шин. На рисунке 10 показана цифровая шина, объединяющая один контроллер (в виде телевизора) и четыре узла ввода/вывода.

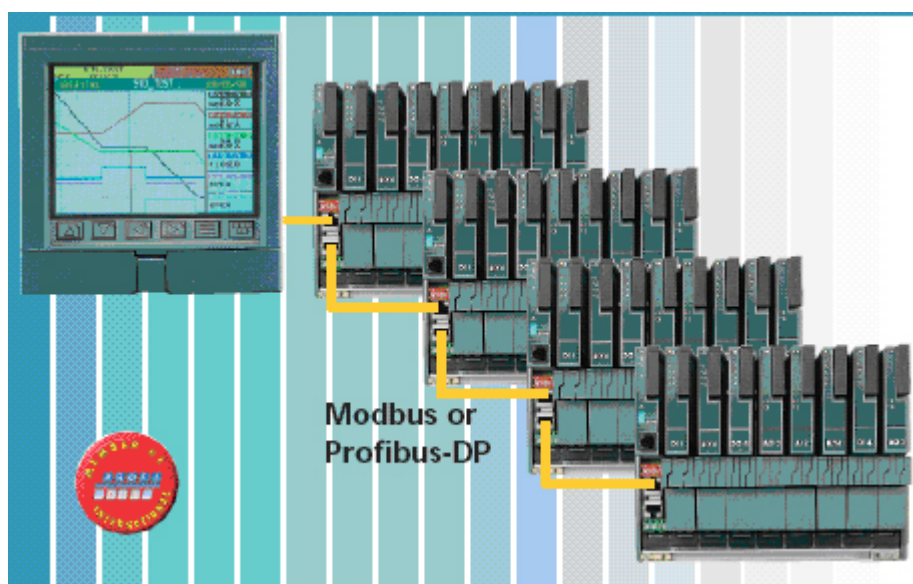


Рис. 10. Шина ввода/вывода

Программировать ПЛК, как правило, рекомендуется на языках стандарта IEC-61131.3. Для тех, кто привык к релейно-контактным схемам, рекомендуется работать с языком, созданным на их основе (Ladder Diagram), а тем, кому понятней электронные схемы, могут воспользоваться языком функциональных блоковых диаграмм (Functional Block Diagram). Опытные программисты могут использовать возможности всех языков.

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

Поэтому важно выделить их основные характеристики и свойства, на основании которых можно сделать выбор при построении систем управления.

В качестве таких характеристик при выполнении проекта АС предлагается семь обобщенных показателей:

- характеристики процессора;
- характеристики периферийной части ПЛК;
- характеристики каналов ввода/вывода, поддерживаемых контроллерами;

- коммуникационные возможности;
- условия эксплуатации;
- техническая поддержка;
- программное обеспечение.

Характеристики процессора- это тип, разрядность основной процессорной платы и рабочая частота; поддержка математики с плавающей запятой, позволяющая выполнять эффективную обработку данных; наличие битовых операций, число манипуляций для обработки данных, возможности системы прерываний. Чем меньше манипуляций для обработки данных, чем совершеннее система прерываний, тем более предпочтителен такой процессор в АСУ ТП.

Характеристики периферийной части ПЛК – это наличие и объем различных видов памяти: ОЗУ (RAM), ПЗУ (ROM), СППЗУ (EPROM), ЭСППЗУ (EEPROM), флэш (Flash), количество и разнообразие каналов ввода-вывода.

Главной отличительной особенностью E(E)PROM (в т. ч. и Flash) от ПЗУ-энергонезависимой памяти является возможность перепрограммирования при подключении к стандартной системной шине микропроцессорного устройства. В EEPROM реализуется возможность производить стирание отдельной ячейки при помощи электрического тока. Во флэш-памяти используется несколько отличный от EEPROM тип ячейки-транзистора. 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). Обычный размер такого блока составляет 256 или 512 байт, однако в некоторых видах флэш-памяти объём блока может достигать гигабайтов. 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.

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 таких контроллеров можно привести контроллеры семейства MicroLogix (Allen-Bradley), Direct Logic DL05 (Kooyo), Nano (Schneider Electric).

Семейства малых контроллеров 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), TeleSAFE Micro16 (Control Microsystems), Simatic S7-200, 300 (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 PLC-5 (Allen-Bradley), Premium (Schneider Electric), Direct Logic DL405 (Kooyo) и другие.

Наконец, некоторые крупные фирмы производят класс контроллеров очень высокой вычислительной мощности, обладающих памятью, измеряемой мегабайтами и гигабайтами. Их способность обрабатывать десятки тысяч переменных и предопределила одну из областей 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).

Характеристики каналов ввода/вывода контроллеров.

Параметры контроллера с точки зрения поддерживаемых им каналов ввода/вывода являются определяющими при его выборе. Важно не только количество каналов ввода/вывода, поддерживаемое контроллером, но и разнообразие модулей ввода/вывода по количеству и уровням коммутируемых сигналов (ток/напряжение), а также способы подключения внешних цепей к модулям ввода/вывода.

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 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, ± 5 В, ± 10 В по напряжению и 0-5мА, 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.

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. Фирма WAGO является мировым лидером в области пружинной клеммной техники. При использовании этих клеммников практически исключены ошибочные действия монтажников при соединении проводов, поскольку зачищенный участок провода может быть только в двух состояниях: зафиксированное (необходимый контакт обеспечен) или не зафиксированное (контакта нет вообще), в то время как в клеммах с использованием винтовых зажимов возможен промежуточный вариант - плохо закрученный винт. Подкупает также в WAGO лёгкость монтажа.

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 (такая схема называется иногда крейтовой). 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 каналов ввода/вывода фирмы-производители аппаратных средств снабдили свои системы возможностью их расширения посредством DIN рейки (рис.11). Модули ввода/вывода на DIN рейке соединяются между собой специализированным коротким кабелем и могут быть отнесены максимум на несколько десятков метров от центрального.



Рис.11 Организация расширенного ввода/вывода ПЛК на DIN рейке

Некоторые комплексы контроллеров способны поддерживать несколько DIN реек с большим числом модулей ввода/вывода.

Например, контроллеры PLC-5/40L, PLC-5/60L (Allen-Bradley) допускают расширение локального ввода/вывода для ускоренного обновления данных до 16 модулей ввода/вывода.

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 находящимся на больших расстояниях от пунктов управления. Такой подход позволяет уменьшить стоимость линий связи за счет того, что модули ввода/вывода размещаются вблизи полевых устройств.

Условия эксплуатации. Прежде всего, следует определиться какой набор функций должен выполнять микроконтроллер и при каких условиях эксплуатации. Особые ограничения имеет температурный диапазон. В сибирских условиях, как правило, устанавливаются требования от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Большинство ПЛК не могут эксплуатироваться при этой температуре. Для решения задачи их применения необходимо использовать термостатирование или другие способы применения контроллеров с ограниченным температурным диапазоном.

Автономные устройства часто в течение длительного промежутка времени не имеют возможности передачи данных на диспетчерский пункт, поэтому необходимо место для оперативного хранения информации. Одним из решений является хранение данных в ОЗУ, следовательно, *чем больше объем ОЗУ, тем больше данных может в нем храниться*. Кроме того, для автономных систем, очень важен такой параметр как напряжение хранения информации. Если напряжение питания снижается ниже минимально допустимого уровня, но выше напряжения хранения информации, то программа не выполняется, но данные в ОЗУ сохраняются. Напряжение хранения информации в микроконтроллерах фирмы Motorola, PIC и AVR составляет порядка 1-1,5В.

Требования, предъявляемые к микроконтроллерам удаленных (распределенных) устройств, несколько отличаются от стандартных требований. Так, если в стационарных устройствах требования к пониженному энергопотреблению микроконтроллеров не являются определяющими, то в автономных удаленных устройствах они выходят на передний план. Зачастую автономные устройства это системы, которые имеют автономное питание (например, питание от батареек или аккумуляторов). В этом случае, желательно использовать либо микроконтроллер с расширенным, либо с пониженным диапазоном питания. Микроконтроллеры с расширенным диапазоном питания относительно неприхотливы к напряжению питания и подходят как для устройств с сетевым, так и с автономным питанием. Микроконтроллеры с пониженным диапазоном питания предназначены для изделий с автономным питанием, т.к. их ток потребления в несколько раз меньше тока потребления других микросхем. В то же время следует помнить, что микроконтроллеры с пониженным диапазоном питания обычно имеют меньшую максимальную частоту тактирования. Дополнительным основанием выбора ПЛК является необходимость удовлетворения *системных требований проекта*.

При выборе ПЛК рекомендуется выяснить следующие вопросы:

- *Какие требуются периферийные устройства?*
- *Какие требуются характеристики ввод-выводных операций?*
- *Применяются ли битовые операции или только числовые?*
- *Сколько требуется манипуляций для обработки данных?*
- *Должен ли ПЛК управляться по прерываниям, по готовности или по командам человека? Каким количеством устройств (битов ввода/вывода) необходимо управлять?*
 - *Какие устройства из числа многих возможных типов I/O устройств должны контролироваться управляться: терминалы, выключатели, реле, клавиши, сенсоры (температура, свет, напряжение и т.д.), визуальные индикаторы (LCD дисплеи, LED), аналого-цифровые (A/D), цифроаналоговые (D/A) преобразователи?*
 - *Сколько напряжений сети питания требуется для контроллера?*
 - *Насколько отказоустойчив источник напряжения?*
 - *Будет ли работать ПЛК при напряжении сети питания технологической площадки?*
 - *Должны ли напряжения удерживаться в узком фиксированном диапазоне изменений, или же ПЛК может работать при большой нестабильности?*
 - *Какой необходим рабочий ток?*
 - *Должен ли контроллер работать от сети или от батарей?*
 - *Если от батарей, то должны ли использоваться перезаряжаемые батареи и если это так, то каково время работы без перезарядки, и какое для нее требуется время?*

- Существуют ли ограничения по размеру, весу, эстетическим параметрам, таким как форма и/или цвет?
- Существуют ли какие либо специфические требования к условиям окружающей среды, таким как температура, влажность, атмосфера (взрывоопасная, коррозионная и т.д.), давление/ высота?
- Где должно базироваться пользовательское программное обеспечение: на дисках, флеш-памяти или ROM? Необходимо ли работа АС в реальном времени, и если да, то есть ли необходимость приобретения ядра программ реального времени или, возможно, будет достаточно обычной широко используемой версии?
- Достаточно ли персонала и времени для развития собственного ядра программ?

Ответы на эти вопросы следует документировать в ПЗ как обоснование выбора ПЛК.

Лекция 8. Выбор средств коммуникации

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

- количество и разнообразие портов в ПЛК;
- широта набора интерфейсных модулей и интерфейсных процессоров, поставляемых основным разработчиком ПЛК и другими поставщиками, поддерживающими бренд ПЛК.;
- реализованные в ПЛК протоколы;
- скорость обмена данными и протяженность каналов связи.

Коммуникационная связь работает по принципу ведущий-ведомый (master-slave). Только ведущее устройство может инициировать обмен данными. Ведомые устройства пассивно прослушивают все данные, идущие по линии связи, и только в случае получения запроса от ведущего устройства отправляют обратно ответ. Каждое устройство на канале связи имеет свой уникальный сетевой адрес, необходимый для однозначной идентификации. Узлы ввода/вывода, как правило, являются ведомыми устройствами, в то время как контроллеры – ведущими.

Пример протокола. Пусть контроллер с адресом 1 хочет считать показание датчика давления в котле. Он знает, что этот датчик подключен к бейсплейту (узлу) с сетевым адресом 5, модулю AI в слоте 6, каналу (входу) 12. Адресная часть настраивается (программно и переключками (jumper) в процессе конфигурирования ПТС проекта. В результате контроллер формирует запрос к ведомому устройству (узлу ввода/вывода) следующего содержания:

Узел=5	Слот=6	Канал=12	Команда "считать"	-
--------	--------	----------	-------------------	---

Узел 5, прослушивая все запросы на шине, узнает тот, что адресован ему. Он считывает показания датчика давления и формирует в ответ следующее сообщение:

Узел=1	-	-	Статус "считано"	Данные с датчика
--------	---	---	------------------	------------------

Контроллер, получив ответ от ведомого устройства, сканирует поле "данные с датчика" и начинает математическую обработку.

Пример 2. Пусть после обработки данных с датчика контроллер решил, что надо открыть выпускной клапан на 50%. Клапан подключен к узлу ввода/вывода 7, модулю АО в слоте 3, каналу 2. Контроллер формирует команду следующего содержания:

Узел=7	Слот=3	Канал=2	Команда "записать"	Значение=50%
--------	--------	---------	--------------------	--------------

Узел 7, прослушивая шину, натывается на команду, адресованную ему. Он записывает значение уставки 50% в регистр, соответствующий слоту 3, каналу 2. Сразу же модуль АО формирует на выходе 2 нужный электрический сигнал и выдает его клапану на исполнение. Далее узел 7 высылают обратно контроллеру подтверждение успешного выполнения команды.

Узел=1	-	-	Запись выполнена	-
--------	---	---	------------------	---

Контроллер получает ответ от узла 7 и считает, что команда выполнена.

Это всего лишь упрощенная схема взаимодействия контроллера с узлами ввода/вывода. В реальных АСУ ТП, наряду с рассмотренными выше, используется множество диагностических, управляющих и сервисных сообщений. Тем не менее, принцип "запрос-ответ" ("команда-подтверждение"), реализованный в большинстве полевых протоколов, остается неизменным.

На рис. 12 представлена сетевая архитектура коммуникаций ПЛК.

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.

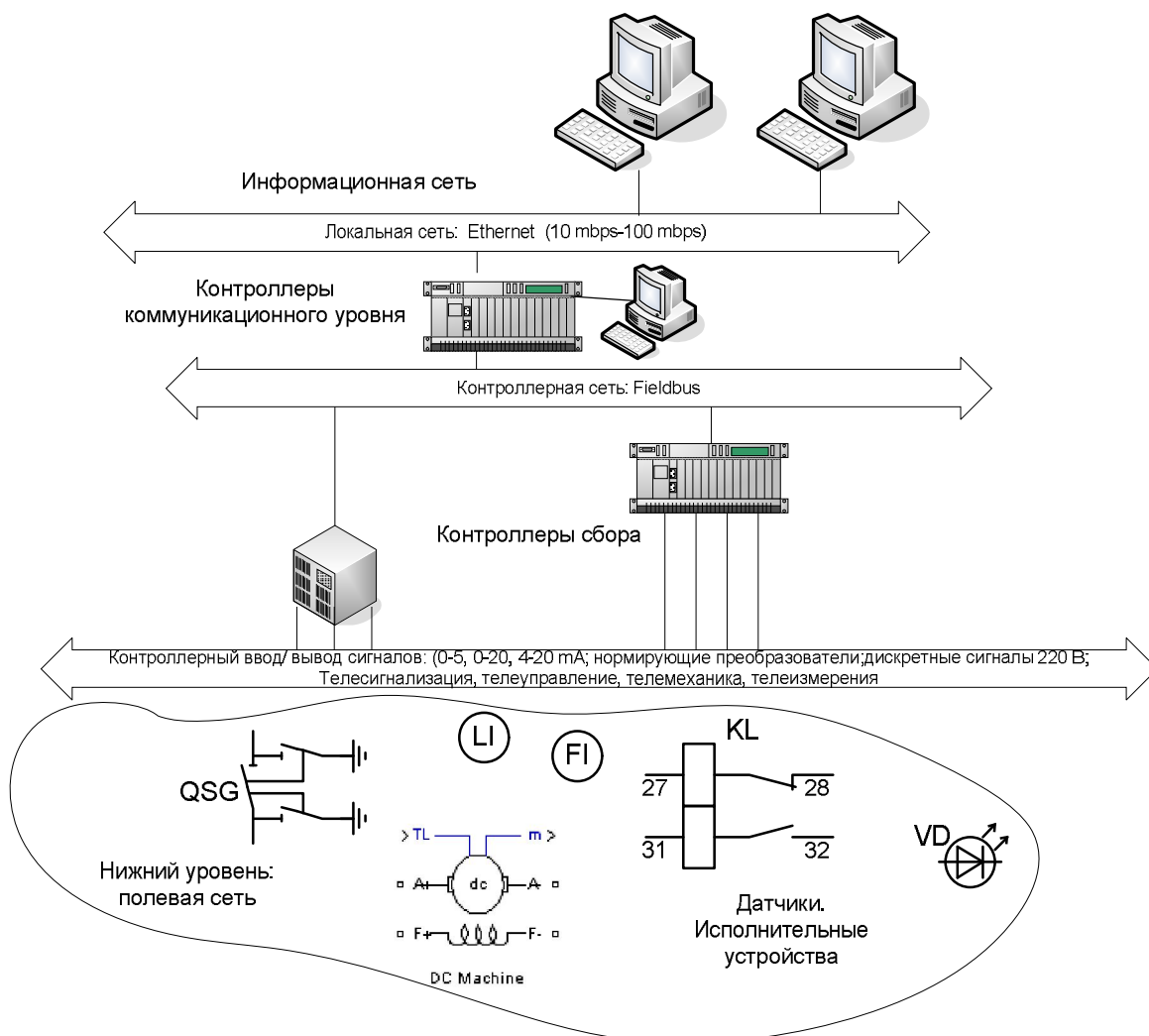


Рис. 12 Сетевая архитектура коммуникации ПЛК

Сети, обеспечивающие информационный обмен между SCADA, контроллерами, датчиками и исполнительными устройствами, часто объединяются под общим названием - промышленные сети.

Их можно разделить на два уровня:

- коммуникационные промышленные сети, решающие задачи связи с компьютерами SCADA системы;
- контроллерный ввод/ вывод сигналов, задачи которых сводятся к опросу датчиков и управлению работой разнообразных исполнительных устройств.

Для обеспечения безошибочности и максимального удобства передачи информации коммуникационные операции регулируются набором правил и соглашений, называемых сетевым протоколом. Сетевой протокол определяет типы разъемов, кабелей, сигналы, форматы данных и способы проверки ошибок, а также алгоритмы для сетевых интерфейсов и узлов, предполагая стандартными в пределах сети принципы подготовки сообщений и их передачи.

На сегодняшний день спектр протоколов для обоих этих классов промышленных сетей (управляющие и полевые) довольно широк.

CAN, FIP, Profibus, MPI, 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.

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).

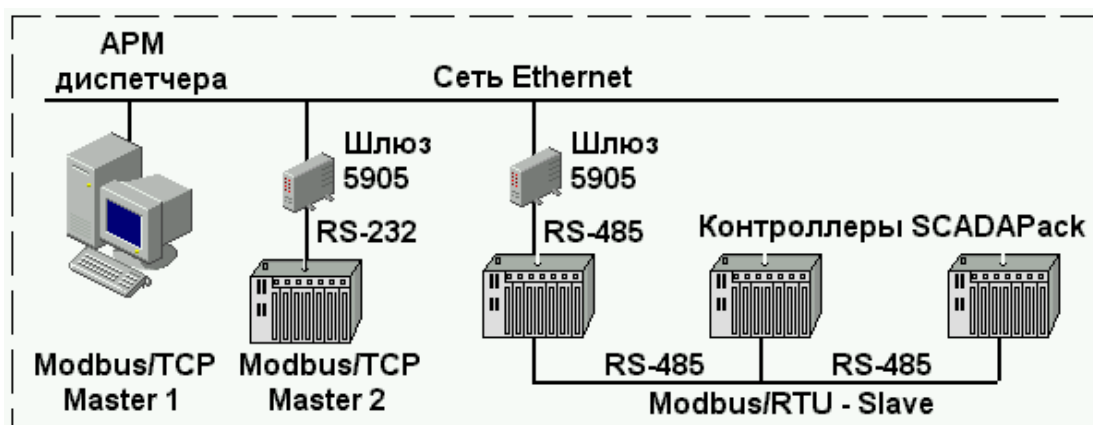


Рис. 13 Взаимодействие контроллеров по протоколу Modbus

На рис. 13 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.

CANbus (Control Area Network) - это последовательная шина с децентрализованным доступом. Возможные коллизии, связанные с одновременным запросом шины, разрешаются на основе приоритетности передаваемых сообщений. В CAN каждый блок данных содержит дополнительный 11-битовый идентификатор, который определяет приоритет данного сообщения. Право на работу с шиной получит тот узел, который передает сообщение с наивысшим приоритетом.

По своим характеристикам протокол CAN удовлетворяет не только требованиям задач реального времени, но и реализует высокую степень обнаружения и исправления ошибок. В каждом сообщении может быть передано до 8 байт данных. Большие блоки можно передавать за счет использования принципа сегментации.

Протокол VIBUS разработан фирмой INTEL в 1984 году для построения распределенных систем, в которых требовалось обеспечить высокую

скорость передачи, детерминизм и надежность. Физический интерфейс основан на RS-485. Информационный обмен организован по принципу "запрос - ответ" (Master /Slave).

Протокол ВITBUS определяет два режима передачи данных по шине:

Синхронный режим используется при необходимости работы на большой скорости, но на ограниченных расстояниях. В этом режиме к шине можно подключить до 28 узлов, но длина шины ограничивается 30 м. Скорость может быть от 500 Кбод до 2,4 Мбод. Синхронный режим передачи предполагает использование двух пар проводов (одной пары - для данных, другой - для синхронизации).

Использование режима с самосинхронизацией позволяет значительно удлинить шину. Стандартом определены две скорости передачи: 375 Кбод (до 300м) и 62,5 Кбод (до 1200м). Используя повторители, можно объединять последовательно несколько шинных сегментов (до 28 узлов на сегмент). Тогда общее число узлов можно довести до 250, а длину общей шины - до нескольких километров. При этом режиме передачи также используются две пары проводников (одна для данных, другая для управления повторителем).

Протокол FIP (Factory Information Protocol) обеспечивает высокие скорости передачи и строго определенные интервалы обновления данных. Протокол имеет гибридный централизованный или децентрализованный контроль за шиной, основанный на принципе широкого вещания. Использование режима широкого вещания избавляет от необходимости присваивания каждому устройству уникального сетевого адреса.

Каждый узел на шине полностью автономен. Все узлы имеют возможность получать предназначенные для них данные. Контроль осуществляется со стороны центрального узла сети, называемого арбитром.

FIP протокол поддерживает уровни 1, 2 и 7 модели OSI. В качестве среды передачи используются витая пара или оптоволокно. Максимальная протяженность сети - 1000м без повторителей (до 15 км с оптическими повторителями) при скорости обмена 1 Мбит/с. Сеть поддерживает до 128 устройств.

Контроллеры семейства Premium (Schneider Electric) используют разновидность сети FIP (FIPIO) (рис.14) для организации удаленного ввода/вывода. По этой сети к центральному процессору (через встроенный порт) могут быть подключены:

- удаленный ввод/вывод контроллеров Momentum;
- панель управления оператора ССХ 17;
- персональные компьютеры и другие устройства.

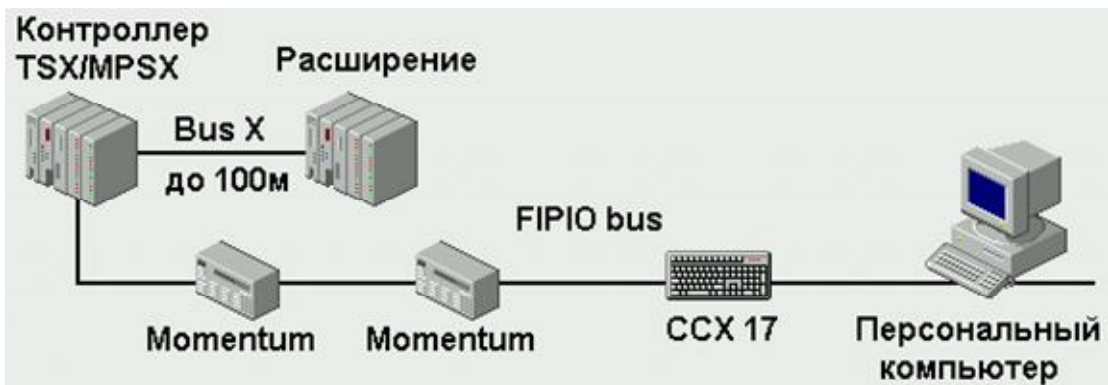


Рис. 14 Контроллеры Momentum в сети FIPIO

Протокол PROFIBUS (PROcess Field 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 122 узлов, 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).

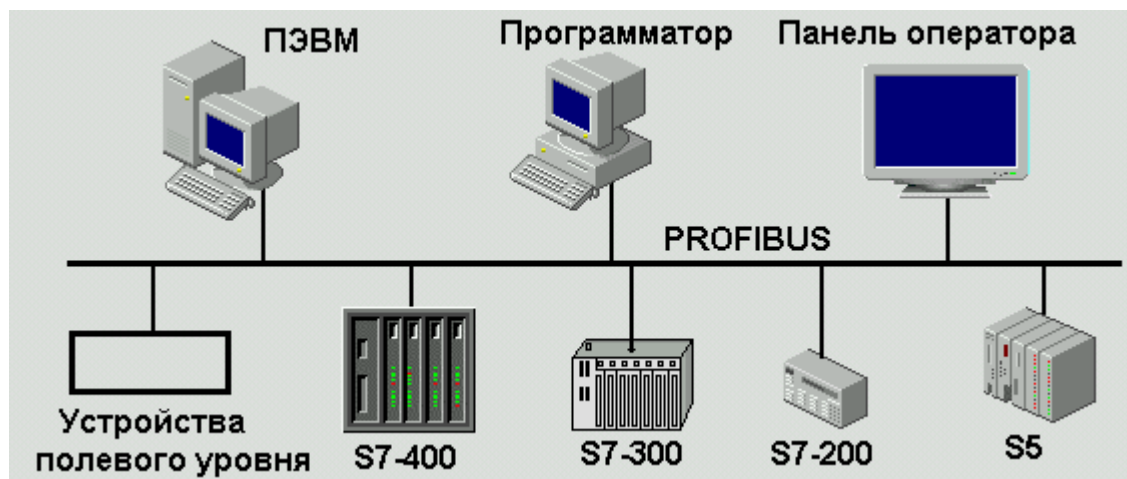


Рис. 15 Контроллеры Simatic S7 в сети Profibus-DP

Протокол PROFIBUS-DP поддерживается устройствами разных производителей. Для контроллеров компании Siemens этот протокол является основным (рис.15). Некоторые контроллеры этого бренда, в частности, S7-300 и S7-400 имеют встроенный порт PROFIBUS-DP, другие взаимодействуют с сетью посредством коммуникационных процессоров.

Сеть DH+ (Allen-Bradley) поддерживает передачу данных и удаленное программирование контроллеров в дополнение к одноранговой связи между другими процессорами и устройствами (рис.16). Магистральная линия сети DH+ может иметь протяженность до 3048м, ответвления – до 30м. К одной сети DH+ можно подключить до 64 устройств. Скорость передачи данных зависит от длины шины и может настраиваться от 57.6 Кбод (3048м) до 230.4 Кбод (750м).

Характеристика одноранговой связи:

отсутствие “мастера”;

минимальный сетевой трафик;

любой контроллер инициализирует связь с любым сетевым узлом;

простота наращивания контроллеров в сети.

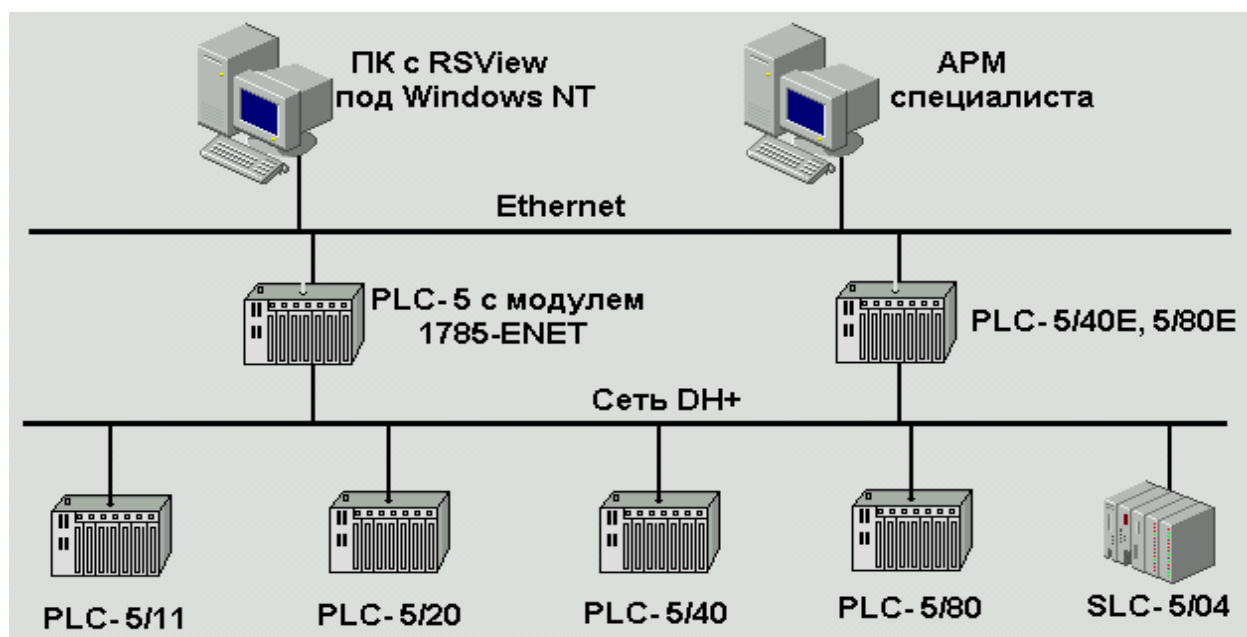


Рис.16 Контроллеры Allen-Bradley в сети DH+.

Сеть Genius фирмы GE Fanuc предназначена для объединения в законченную систему контроллеров GE Fanuc серий 90-70 и 90-30, удаленной периферии Genius и Field Control (рис. 17). Взаимодействие различных устройств с сетью Genius осуществляется посредством контроллеров шины Genius (GBC), интерфейсных модулей (GCM), блоков интерфейса с шиной Genius (BUI). Физически устройства объединяются в сеть экранированной витой парой. Сеть имеет топологию "шина", к которой может быть подключено до 32 устройств. Максимальная длина шины составляет 2,3 км при скорости обмена 38,4 Кбод. Максимальная скорость передачи данных 153,6 Кбод достигается при длине линии до 600 м.

МРІ является наиболее распространённым стандартом интерфейса обмена данными в параллельном программировании. Существуют его реализации для большого числа компьютерных платформ. Основным средством коммуникации между процессами в МРІ является передача сообщений друг другу. Стандартизацией МРІ занимается МРІ Forum. В стандарте МРІ описан интерфейс передачи сообщений, который должен поддерживаться как на платформе, так и в приложениях пользователя. В настоящее время существует большое количество бесплатных и коммерческих реализаций МРІ. Существуют реализации для языков Фортран 77/90, Си и Си++.

Сеть Genius поддерживает передачу как глобальных данных (Global Data) так и дейтаграмм (при каждом акте сканирования).

Для обмена данными по Global Data каждому входящему в состав сети контроллеру выделяется участок адресного пространства. В этот участок он передает данные, указанные при конфигурировании его контроллера шины. Передача данных осуществляется без указания контроллера, который должен их получить. Этот участок доступен всем подключенным к шине PLC только для чтения. Таким образом, для всей сети создается единый набор данных, используемый для обмена. Один контроллер шины обеспечивает прием/передачу до 128 байт данных от каждого из узлов.

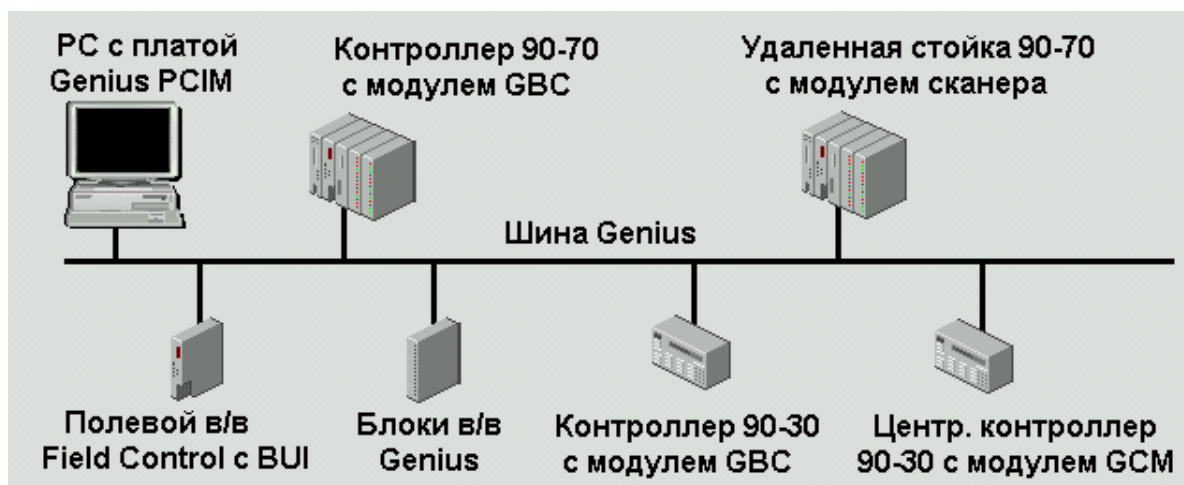


Рис. 17 Контроллеры фирмы GE Fanuc в сети Genius

Дейтаграмма (Datagram) представляет собой направленную посылку данных от одного контроллера к другому. Прием/передача дейтаграмм происходит под управлением программы пользователя. Момент отправки дейтаграммы может быть задан с требуемой периодичностью или по наступлению какого-либо события. В КИП рекомендуется использовать возможности протокола Modbus plus.

Лекция 9. Выбор измерительных средств КИПиА

Основой при выборе измерительных средств является Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. ГСП- это совокупность устройств получения, передачи, хранения, обработки и представления информации о состоянии и ходе различных процессов и выработки управляющих воздействий на них. ГСП состоит из унифицированных элементов, модулей и блоков, допускающих информационное, энергетическое и конструктивное сопряжение в агрегатных комплексах и автоматизированных системах управления. В ГСП входят электрические, пневматические и гидравлические приборы и устройства в обыкновенном, виброустойчивом, герметичном, пыле- и влагозащищённом исполнении.

К устройствам получения информации относятся датчики, кнопки, табуляторы и клавиатура, устройства, формирующие сигналы для передачи на расстояние. Передача информации осуществляется либо непосредственно через каналы связи (при небольших дистанциях или специально выделенных каналах связи), либо через устройства телемеханики (на большие

расстояния). Передача сигналов от многих источников в одно место достигается при помощи устройств централизованного контроля.

К средствам представления информации относятся показывающие стрелочные, цифровые, символьные и др. индикаторы, самопишущие приборы, печатающие устройства и графопостроители. Для лучшего восприятия широко применяется метод визуального контроля с помощью устройств отображения информации, промышленного телевидения, мнемонических схем. При большом количестве информации, необходимости её предварительного логического и математического анализа или синтеза, в связи с решением сложных экономических, технологических и иных задач, а также при управлении современными технологическими и энергетическими комплексами применяют средства вычислительной техники.

Выработка управляющих воздействий достигается регулирующими устройствами (регуляторами). Регулятор, получая сигналы непосредственно от датчика или через устройство централизованного контроля, вырабатывает в соответствии с заданной программой и законом регулирования энергетические импульсы, приводящие в действие исполнительный механизм, который через регулирующие органы (коммутирующую аппаратуру, управляемые вентили, клапаны, заслонки, задвижки) изменяет потоки энергии или вещества и этим воздействует на объект регулирования.

Устройства ГСП взаимодействуют посредством нормированных электрических, пневматических, гидравлических, механических, акустических и оптических сигналов. По виду сигналов устройства ГСП делятся на аналоговые и дискретные. Устройства ГСП имеют нормированные источники питания. Конструктивное сопряжение устройств ГСП обеспечивается унифицированной структурой модулей и блоков, применением нормированных по форме и размерам монтажных плат, кассет, каркасов, панелей, шкафов, щитов и пультов, а также базовых конструкций оснований и узлов, из которых komponуются агрегаты. Этим достигается высокая взаимозаменяемость изделий ГСП.

Унификация конструкций ГСП повышает технологичность изделий в производстве, упрощает их комплектацию, монтаж, наладку и эксплуатацию. Информационная, энергетическая и конструктивная сопрягаемость устройств ГСП ускоряет проектирование и изготовление систем автоматического контроля, регулирования и управление в составе оборудования автоматизированного производства

Выбор измерительных средств КИПиА технологических параметров осуществляется согласно стандартам и отраслевым требованиям предприятия, с учетом ряда факторов метрологического и режимного характера, наиболее существенные из которых следующие:

1. Расстояние, на которое может быть передана информация, снимаемая с датчиков (интерфейс связи датчика).
2. Предельное значение измеряемой величины и других параметров среды.

3. Допустимая для АСУ ТП погрешность, определяющая подбор по классу точности датчика. Пределы измерения с гарантированной точностью.
4. Инерционность датчика, характеризуемая его постоянной времени.
5. Влияние внешних факторов окружающей среды (температуры, давления, влажности) на нормальную работу датчиков. Разрушающее влияние на датчик контролируемой и окружающей среды, агрессивных свойств. Наличие в месте установки датчиков недопустимых для его нормального функционирования вибраций, магнитных и электрических полей, радиационного излучения и др.
6. Возможность применения датчика с точки зрения пожара и взрывобезопасности.

Интерфейсы выходных сигналов измерительных приборов. У устройств получения информации о состоянии технологического процесса выделяют первичный измерительный преобразователь (ПИП) и вторичный измерительный преобразователь (ВИП), которые связываются между собой посредством проводов и интерфейсов. ВИП могут быть расположены, как на контроллере, так и на щите управления или непосредственно в самом датчике.

С точки зрения выполняемых функций ПИП преобразуют измеряемый параметр в удобный для передачи и обработки сигнал.

В случае измерения электрических величин в качестве первичных измерительных преобразователей используют, как правило, понижающие измерительные трансформаторы тока и напряжения. В случае измерения неэлектрических величин (температуры, давления и др.) используют соответствующие измерительные преобразователи "физическая величина – электрический сигнал".

Вторичные измерительные преобразователи представляют собой дополнительные преобразующие средства, например, понижающие трансформаторы тока и напряжения в случае измерения электрических величин и электронные линейные усилители напряжения – в случае измерения неэлектрических величин.

На выходах вторичных измерительных преобразователей формируются напряжения одного диапазона, необходимые, например, для работы многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП), входящего в состав цифрового регистратора.

С точки зрения принципа действия и конструктивного исполнения и ПИП, и ВИП различаются значительным разнообразием. ПИП устанавливаются на объекте и непосредственно взаимодействуют с регулируемым параметром и контролируемой средой. Вид измеряемого параметра, условия монтажа и эксплуатации влияют в значительной мере на его выбор. Для измерения одного параметра в зависимости от требуемых технических характеристик и условий эксплуатации может применяться

большое количество различных датчиков (например, более шестидесяти типов датчиков давления, более пятидесяти типов датчиков перепада давления и т.д.).

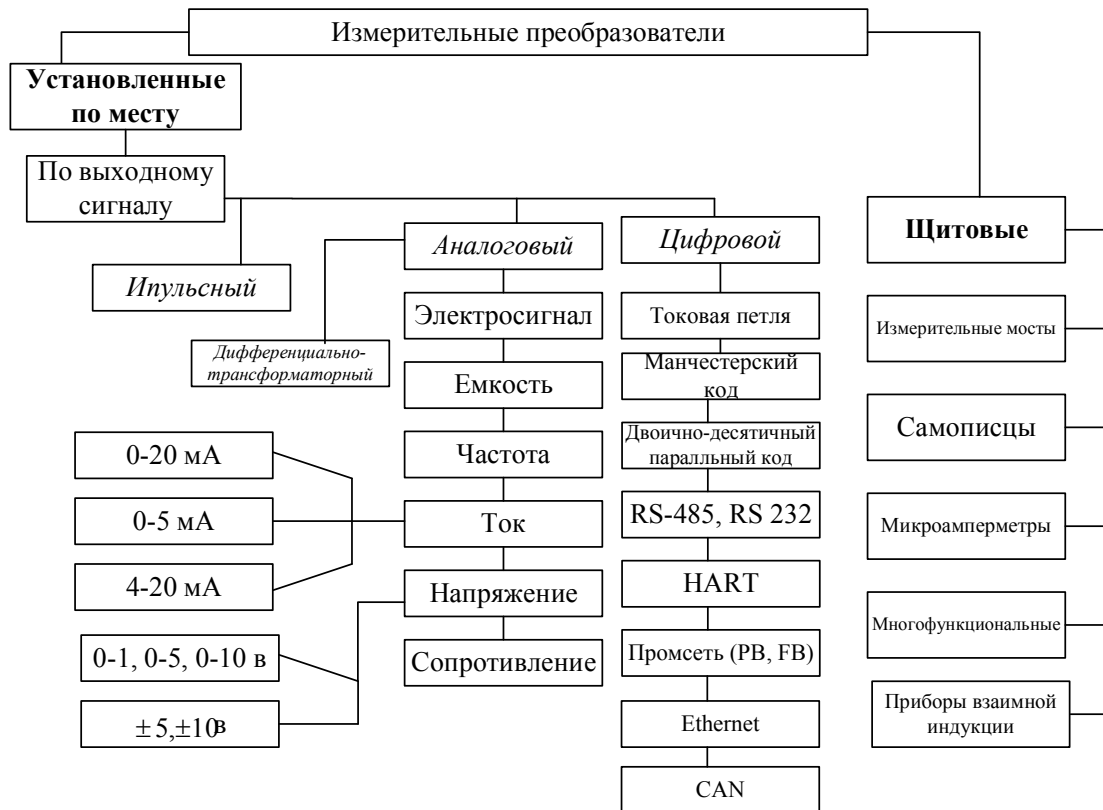


Рис. 18 Виды сигнально-измерительных устройств

Различают следующие основные выходные сигналы первичных измерительных приборов (рис.18):

- ПИП с токовым аналоговым выходом;
- ПИП с цифровым выходным сигналом;
- ПИП с импульсным (счетным) выходным сигналом;
- ПИП с дифференциально- трансформаторным сигналом.

В арсенале современных средств автоматизации все больше появляется ПИП с радиоканальным выходом.

ПИП с дифференциально- трансформаторным сигналом (индуктивной связью) являются устаревшими приборами и в большинстве случаев подлежат замене на ПИП с токовым или цифровым выходом.

Импульсный выходной сигнал ПИП представляет собой импульс 5 В постоянного тока или импульс используемого входного напряжения питания, которое может быть от 8 до 28 В постоянного тока. Такие сенсоры в технологиях нефтегазовой отрасли часто используются для дистанционного мониторинга расхода и суммирования потока посредством счетчиков.

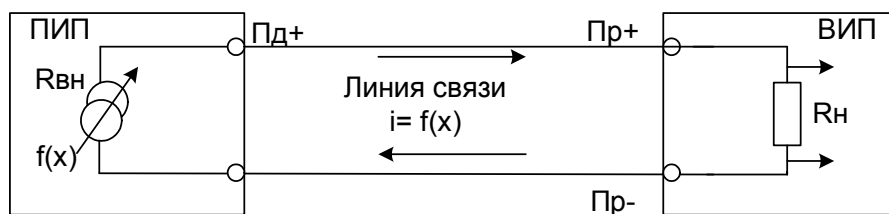


Рис. 19 Двухпроводная токовая связь ПИП и ВИП

ПИП с токовым аналоговым выходом имеют встроенный источник тока – генератор тока с некоторым внутренним сопротивлением $R_{вн}$. Источник тока управляется функцией $f(x)$ измерения параметра x (рис. 19). Ток $i = f(x)$ поступает в линию связи и на входном нагрузочном резисторе $R_{н}$ вторичного преобразователя создает соответствующее падение напряжения, которое далее преобразуется в цифровое значение измеряемого параметра x . ПИП данного вида имеют, как правило, унифицированные выходные сигналы постоянного тока в диапазонах $\{0-5\}$, $\{0-20\}$ или $\{4-20\}$ мА. Току $i = 0$ или $i = 4$ мА соответствует некоторое минимальное значение измеряемого параметра x , а току $i = i_{\max}$ из $\{5-20\}$ мА – максимальное значение этого параметра. Максимально допустимая длина линии связи между ПИП и ВИП зависит от величины внутреннего сопротивления $R_{вн}$ ПИП, активного сопротивления $R_{л}$ линии связи, входного сопротивления $R_{н}$ ВИП, ожидаемого уровня помехи и, обычно, не превышает несколько десятков метров. Число проводов связи между ПИП и ВИП обычно 2, 3 или 4. Оно зависит от схемы подключения источника питания или от типа чувствительного элемента ПИП (например, термосопротивление).

Поставщики измерительных приборов часто ориентируют потребителей на двухпроводный вариант подключения при токовом сигнале $\{4-20\}$ мА и 4-х проводное соединение при $\{0-20\}$ мА (рис.20).

Применение унифицированных сигналов регламентировано ГОСТ 26.011-80. Среди стандартных сигналов тока и напряжения наиболее удобным и популярным является токовый сигнал 4–20 мА. Причины этого в том, что он наилучшим образом решает проблемы, связанные с передачей сигналов от удаленных датчиков к вторичным измерительным приборам:

1. Сигналы первичных преобразователей, как правило, очень малы. Например, сигналы термопар обычно меньше 50 мВ. В промышленных условиях сильные электромагнитные помехи могут создавать паразитные сигналы, в сотни и тысячи раз превышающие полезные. Сильные токовые сигналы уровня 4–20 мА работают на низкоомную нагрузку, в результате они меньше подвержены такому влиянию.

2. Для передачи токовых сигналов 4-20 мА можно использовать соединительные провода, более дешевые по сравнению с другими. При этом требования к величине их сопротивления также могут быть снижены.

3. Еще одним преимуществом токового сигнала 4–20 мА является то, что при работе с ним легко обнаружить обрыв линии связи – ток будет равен нулю, т.е. выходит за возможные пределы. Обрыв в цепи с сигналом 0–5 мА

обнаружить нельзя, так как ток, равный нулю, считается допустимым. Для обнаружения обрыва в цепях с унифицированными сигналами напряжения (0–1 В или 0–10 В) приходится применять специальные схемотехнические решения, например, «подтяжку» более высоким напряжением через высокоомный резистор.

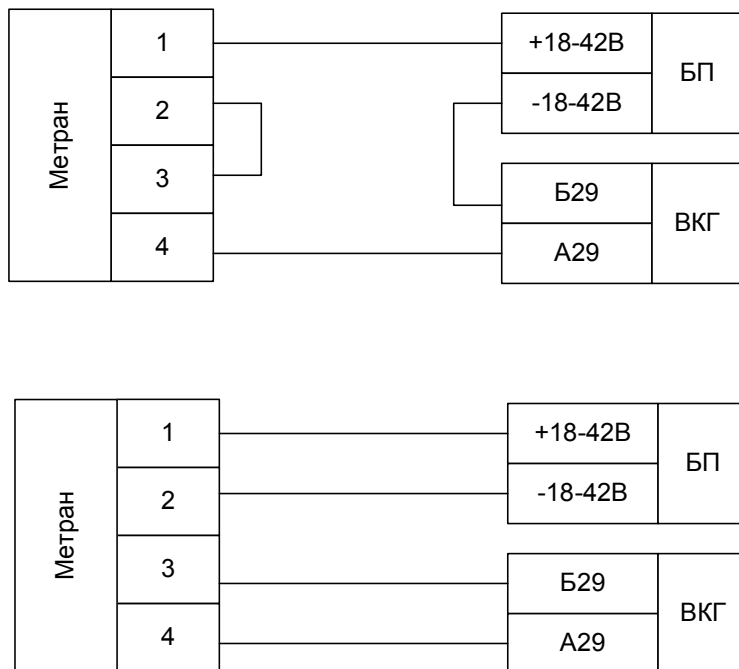


Рис.20 Схемы подключения 4–20 мА и 0–20 мА

Схемы подключения источников питания (БП) и вторичных преобразователей (ВКГ) к датчикам (Метран) в схеме 4–20 мА и 0–20 мА показаны на рис. 20.

Для подключения термодатчиков- термосопротивлений (ТС) используются специальные схемы: двухпроводная, трехпроводная и четырехпроводная.

В простейшей двухпроводной схеме подключения резистивных датчиков сопротивление линий соединений (ЛС) входит в погрешность измерения. Это не обеспечивает удовлетворительных метрологических характеристик измерительного канала, если сопротивлением проводов нельзя пренебречь.

Влияние сопротивления ЛС в трехпроводной схеме устраняется путем компенсации сопротивлением третьего провода. Компенсацию осуществляют, предполагая, что падения напряжения на проводах одинаковы. Это верно при равенстве сопротивлений проводов ЛС. Погрешностью, вносимой отсутствием точного равенства, обычно можно пренебречь. Однако, для прецизионных измерений лучше использовать четырехпроводную схему подключения ТС (рис.21).

При четырехпроводной схеме подключения разность сопротивлений плеч ЛС не значима. Это вызывает уверенность в незначимости и параметров ЛС.

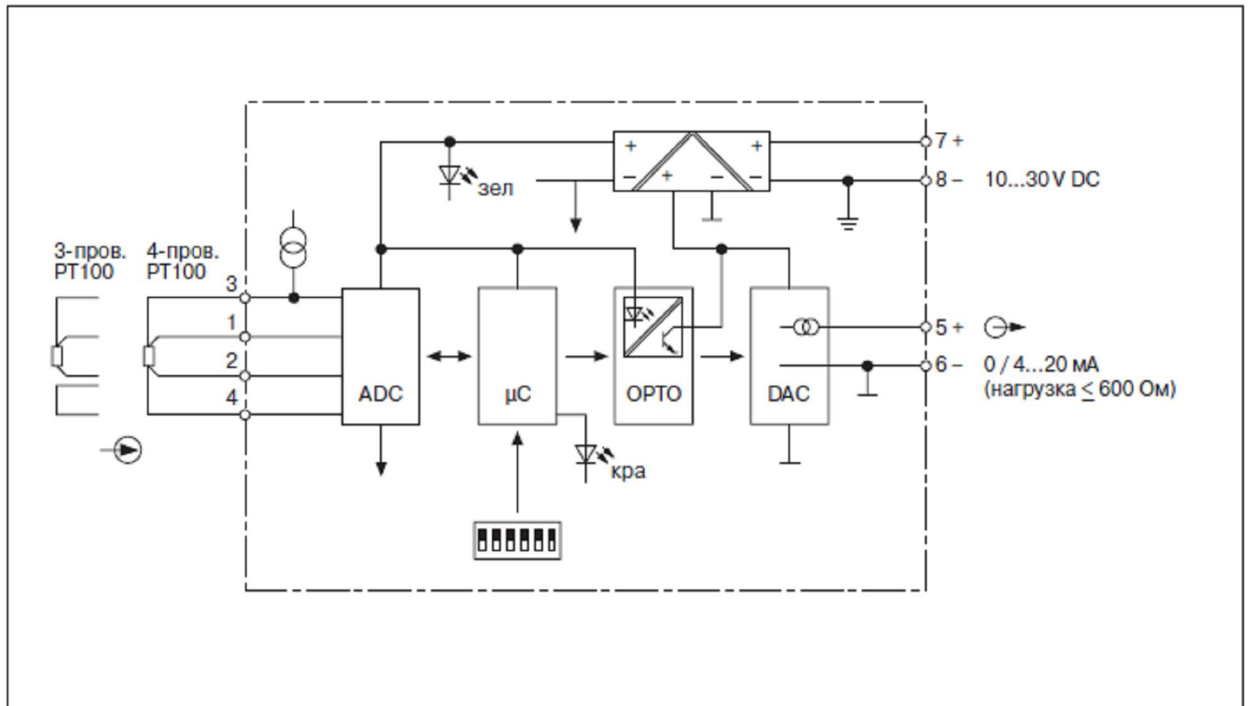


Рис.21 Устройство для подключения термосопротивлений по трех и четырех проводной схеме.

Тем не менее и эта схема имеет недостатки. Дело в том, что наряду с разбалансом плеч есть еще такой параметр, как активное сопротивление ЛС. Хотя обычно считается, что этот параметр является составляющей погрешности только для двухпроводного подключения, оказывается, что некоторым образом он приобретает значение и для трех-, и для четырехпроводного подключения.

Причина состоит в следующем: ВИП содержит в себе источник тока для опроса ТС. Идеальный источник тока не имеет ограничений по сопротивлению нагрузки. Для реального источника тока всегда есть предельная величина сопротивления нагрузки, при которой он выдает заданный ток опроса. При превышении этого порогового значения источник начинает занижать ток опроса, что приводит к резкому увеличению погрешности. Особенно сильно эффект проявляется вблизи верхней границы диапазона измерений.

К сожалению, изготовители ВИП не нормируют максимальное сопротивление ЛС, на котором работают их изделия. Как показали проведенные, например, ООО «Ленпромавтоматика» эксперименты с продукцией ведущих мировых производителей ВИП для ТС, значимая погрешность появляется при увеличении сопротивления одной ЛС свыше величины порядка 30 Ом. Эта величина обосновывается тем, что если ЛС – это медные провода и клеммы, то нет причин предполагать, что 30 Ом будет недостаточно, ведь при сечении 1 мм² это сопротивление соответствует 1714 м медного провода. Поэтому параметр и не нормируется. Но он сразу

становится значимым, когда между ВИП и датчиком появляется барьер искробезопасности.

ПИП с цифровым выходным сигналом имеют, как правило, гальванически развязанный выход с открытым коллектором транзистора или релейным «сухим» контактом, питание которого производится со стороны источника тока, встроенного в ВИП. При этом в зависимости от того, закрыт или открыт выход ПИП, величина тока в линии связи имеет значение $i_{\text{мин}}$ или $i_{\text{макс}}$, что определяется дискретным характером процесса измерения преобразователем параметрах энергоносителя. Последовательность «замыканий/размыканий» выходной цепи ПИП порождает на входе ВИП последовательность токовых двоичных импульсов («0», «1») определенной частоты и длительности, которая используется либо для цифрового представления измеряемого параметра x , либо для дискретного представления (например, норм/авар, вкл/выкл). Обычно, ток в линии связи не превышает 10–20 мА. Максимально допустимая длина линии связи зависит от величины тока ВИП, активного сопротивления линии и может достигать до 3–5 км.

Как правило, сети полевого уровня характеризуются небольшими длинами линий связи, коротким временем цикла передачи, малыми объемами передаваемых данных (обычно все данные содержатся в одном пакете) и относительно низкими ценами на среду передачи и подключение узла по сравнению с сетями полевого уровня. Обычной задачей сетей полевого уровня является получение данных от всех устройств за время, не превышающее времени технологического цикла.

Цифровой ПИП может иметь следующие наиболее распространенные физические интерфейсы (физический интерфейс определяется специальным набором электрических связей и характеристиками сигналов):

- ПИП с токовой петлей (CL);
- ПИП с выходом RS 232 или RS 485;
- ПИП с HART выходом;
- ПИП с полевой шиной (PB или FB);
- ПИП с CAN.

ПИП с токовой петлей (CL) относится к классу универсальных двухточечных радиальных интерфейсов удаленного последовательного доступа к системам. Это соединение широко применяется в промышленном оборудовании, так как позволяет осуществить связь по физическим линиям на дальние расстояния до 3 км) без использования аппаратуры передачи данных (модемов). Интерфейс CL представляет собой двух- и четырехпроводную линию, образующую токовую петлю с дискретно переключаемым источником тока и приемником. Последовательные данные от источника к приемнику (рис. 22) передаются побитно и побайтно асинхронным способом сигналами постоянного тока $i = 20$ мА (иногда используются сигналы 10, 40 или 80 мА). Ток, превышающий 17 мА, представляет логическую «1»(маркер), а ток, меньший чем 2 мА,—

логический «0» (пробел). Одно из взаимодействующих устройств должно быть активным и служить источником тока, а другое пассивным (приемником).



Рис.22 Соединение ВИП с компьютером линией связи типа CL

Интерфейс CL имеет, как правило, протяженную линию передачи, которая подвержена влиянию внешних помех и перенапряжений. Поэтому схемы передатчика и приемника линии гальванически развязываются за счет использования оптронов и изолированных источников питания.

Максимальная скорость передачи сигналов по токовой петле – 9600 бит/с при длине линии связи до 300 м. Снижая скорость передачи, можно почти пропорционально увеличивать длину линии: на скорости 1200 бит/с длина линии увеличивается до 2000 м.

Токовая петля используется обычно для сопряжения одного передатчика и одного приемника, но, в принципе, она может охватывать и несколько последовательно соединенных пассивных приемников. Токовая петля позволяет передавать данные по двухпроводной линии в одном направлении (симплексная связь): от передатчика к приемнику. Для дуплексной связи одновременной передачи в двух противоположных направлениях используется четырехпроводная линия.

Интерфейс с RS 232 применим для установления синхронной и асинхронной связи только между двумя устройствами в симплексном, полудуплексном (двухпроводный вариант) и дуплексном режимах (четырёхпроводный вариант). Скорость передачи данных по интерфейсу RS_232C составляет от 50 до 19200 бит/с. Максимальная длина линий связи при максимальной скорости не превышает 16 м. На практике это расстояние может быть существенно увеличено при снижении скорости передачи и использовании экранированного кабеля с малой собственной емкостью (при скорости 1200 бит/с максимальная длина неэкранированного кабеля достигает 900 м). Формат передачи данных определяется выбираемым протоколом связи. Типичный формат асинхронной передачи данных по этому интерфейсу представляет собой следующий пакет: байт данных оформляется стартовым битом, необязательным битом паритета и стоповым битом. Любое сообщение, передаваемое по интерфейсу асинхронным способом, представляет совокупность байтов данных, оформленных указанным образом. Сигналы этого интерфейса передаются перепадами напряжения величиной (3...15) В. Интерфейс RS-232 имеется в каждом РС-

совместимом компьютере, где он используется в основном для подключения манипулятора типа “мышь”, модема, и реже – для передачи данных на небольшое расстояние из одного компьютера в другой. Интерфейс RS-232 принципиально не позволяет создавать сети, так как соединяет только 2 устройства (так называемое соединение “точка - точка”). Сейчас этот интерфейс на небольших расстояниях связи заменяется четырех проводной USB.

Интерфейс с RS 485 ориентирован при 1 Мбит скорости передачи на совместную работу до 32 источников и 32 приемников данных (рис.23). Такой интерфейс позволяют объединять приборы в разветвленные сетевые структуры и поэтому в последние годы они все чаще реализуются в различных приборах, в частности, в приборах учета энергоресурсов.

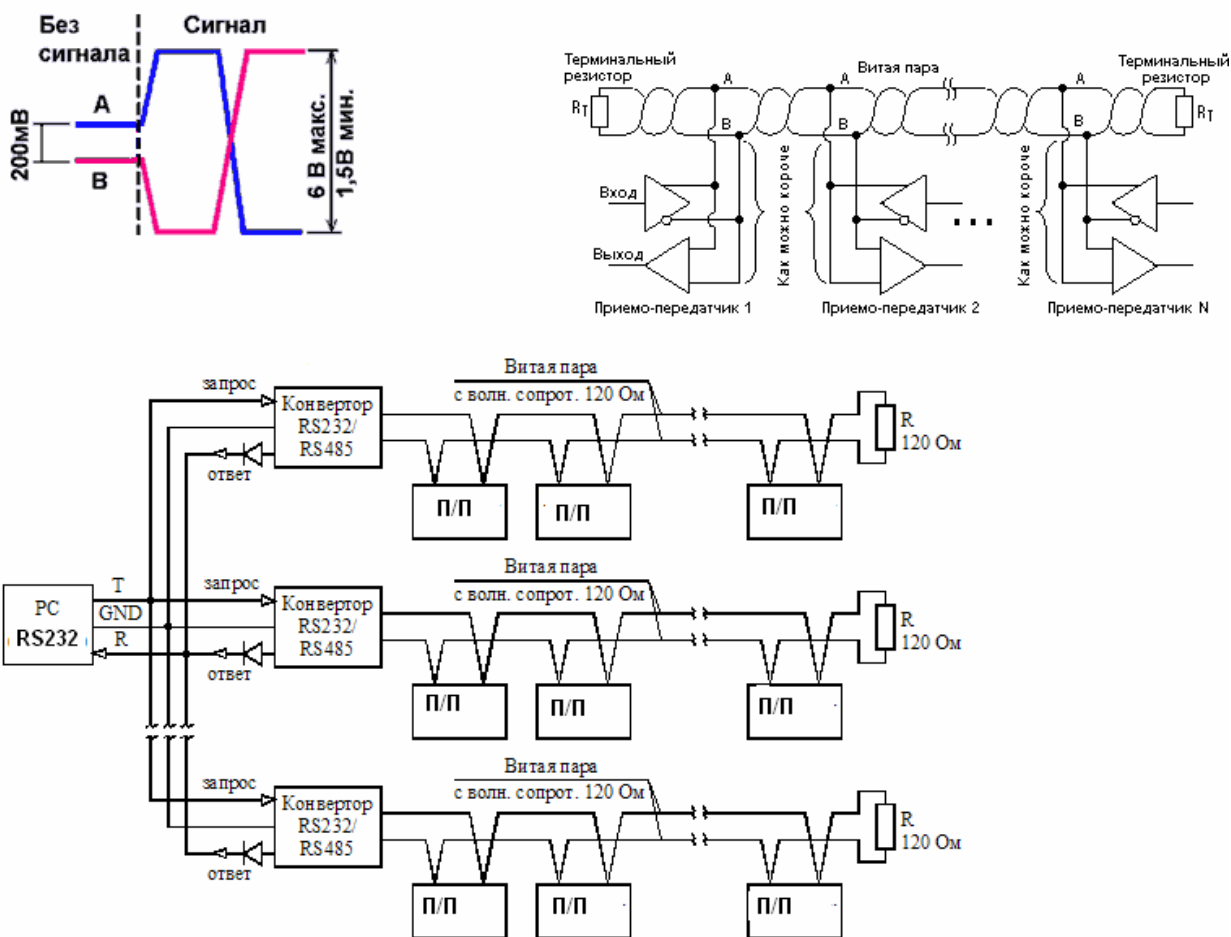


Рис. 23 Многоточечная связь по интерфейсу RS 485

Сигналы интерфейса RS-485 передаются дифференциальными перепадами напряжения величиной (0,2...8) В, что обеспечивает высокую помехоустойчивость и общую длину линии связи до 1 км (и более с использованием специальных устройств – повторителей). Типичным форматом протокола связи является протокол из семейства ModBus.

НАРТ интерфейс – Интерфейс НАРТ (Highway Addressable Remote Transducer), разработанный фирмой Rosemount Inc., реализует известный стандарт BELL 202 FSK (Frequency Shift Keying), основанный на 4-20мА – технологии (рис.24).

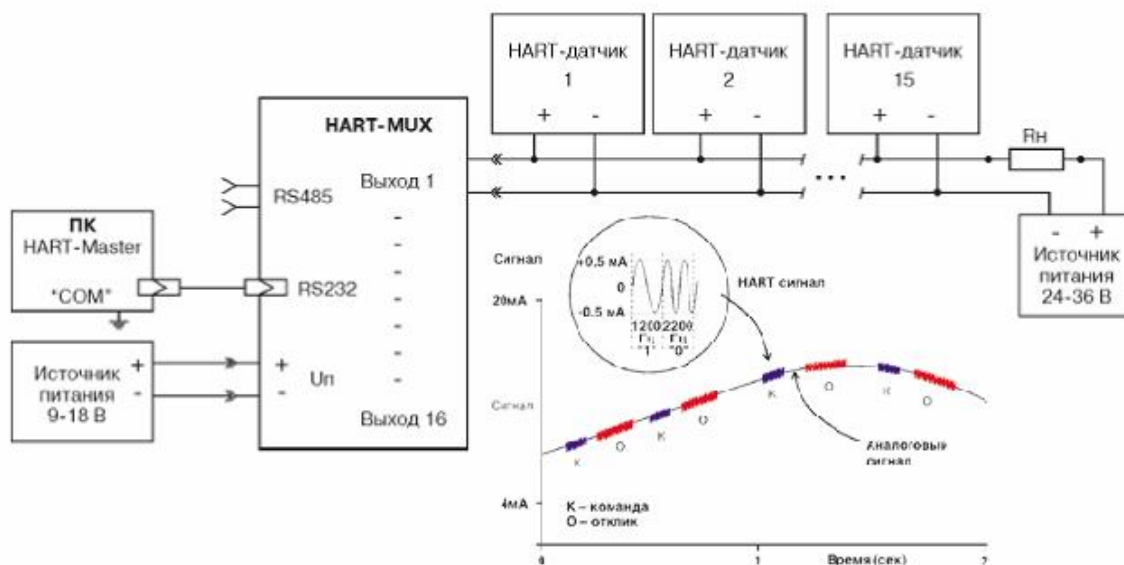


Рис. 24 Многоточечная связь по интерфейсу НАРТ

Схема протокольного взаимоотношения между узлами сети основана на принципе MASTER/SLAVE. В НАРТ-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 НАРТ сети передачи данных - "звезда", но возможна и шинная организация. Для передачи данных по сети используются два режима:

- 1) асинхронный: по схеме "MASTER-запрос\SLAVE-ответ" (один цикл укладывается в 500 мс);
- 2) синхронный: пассивные узлы непрерывно передают свои данные MASTER-узлу (время обновления данных в MASTER-узле за 250-300 мс).

За одну посылку один узел может передать другому до 4 технологических переменных, а каждое НАРТ-устройство может иметь до 256 переменных, описывающих его состояние. Контроль корректности передаваемых данных основан на получении подтверждения.

CAN интерфейс. В качестве физической среды, в основном, используется двухпроводная дифференциальная линия, хотя возможно применение оптоволоконна или радиоканала. Максимальная скорость передачи достигает 1Мбит/сек на длине линии связи до 30 м. На длине до 5 км скорость не превышает 10 Кбит/сек.

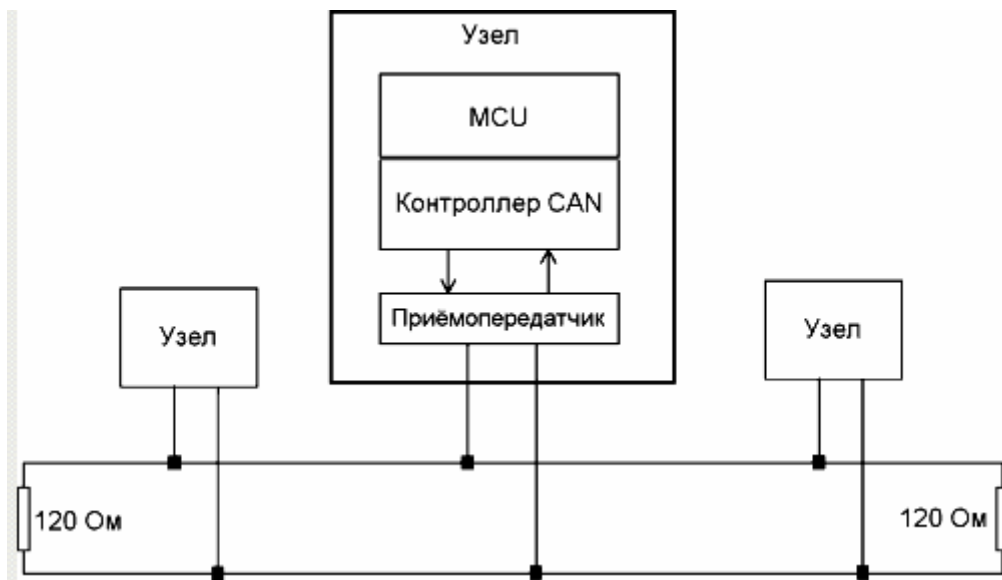


Рис.25 Шина CAN

Сеть CAN основана на шинной топологии (рис.25), т.е. все устройства подключаются к общей среде передачи данных, что позволяет каждому узлу видеть весь трафик, идущий по сети и получать данные без посредников и без задержек. Данная топология является очень гибкой и позволяет достаточно просто подключать/отключать новые устройства (например, датчики). Хотя, с другой стороны, шинная топология не удобна в случаях изменения мест подключения устройств и плоха в случаях ее обрыва, как в смысле последствий, так и поиска повреждений и их устранения.

К настоящему времени известно уже более четырех десятков CAN протоколов. Среди подобного многообразия CAN наибольшее распространение, в особенности в системах промышленной автоматизации, получили четыре. Это SDS (*Smart Distributed System*), CAL/CANopen, CAN Kingdom и DeviceNet.

SDS *Honeywell* (Honeywell International, Inc.) *обеспечивает:*

- возможность двустороннего обмена цифровой информацией при настройке и эксплуатации датчика;
- диагностику датчика и электроники;
- изменение диапазона измерений в широких пределах;
- стабильный результат измерений при изменяющихся режимах работы.

Наряду со стандартом DeviceNet, Honeywell протокол представляет собой одно недорогое и законченное решение для сетевого управления интеллектуальными датчиками и исполнительными органами от центрального контроллера (PLC, компьютера) в системах промышленной автоматизации.

Сообщения, циркулирующие в сети SDS, носят название APDU (Application layer Protocol Data Unit) — блоки данных протокола прикладного уровня. APDU представляет собой CAN-фрейм стандартного формата, элементы которого имеют свое собственное назначение в SDS. Поле арбитража (ID3-ID9) расположен 7-разрядный адрес устройства (максимально допустимое количество устройств в сети SDS — 126). Тип

APDU (3-разрядное поле) определяет тип сервиса (0...7) прикладного уровня, которому соответствует данный APDU. Нулевое значение бита ID10 (DIR) поля арбитража указывает, что адрес устройства (device address) является адресом назначения, а единичное — адресом источника. Чем ниже значения логического адреса, тем выше приоритет сообщения. Бит RTR в CAN-фреймах Honeywell- протокола всегда имеет нулевое значение (удаленный CAN-фрейм в SDS-спецификации не применяется). В поле данных длиной формы APDU содержится код длины (2...8) поля данных CAN-фрейма (2), два первых байта которого содержат спецификатор сервиса (Service Specifier), идентификатор встроенного объекта (EOID) и дополнительные параметры сервиса, а оставшиеся шесть предназначены для передачи собственно данных. При необходимости передачи последовательностей данных более шести байтов используется фрагментированный формат (до 64 фрагментов по 4 байта) длиной формы APDU.

Интерфейс Foundation Fieldbus и Profibus часто реализуются на основе электрической сети с шинной топологией. Для передачи сигналов используют экранированную витую пару, соответствующую стандарту RS-485. Существует несколько разнообразных протоколов Profibus: FMS, DP, PA. Каждый назначается для своей задачи: FMS- для передачи больших объемов информации; DP- для решения задач реального времени; PA- для опасного производства. Сеть PROFIBUS-PA - это расширение базового 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.

Современные датчики оснащаются *IQ (Intellect Quality) устройствами*, которые позволяют за счет математической обработки информации непосредственно в процессе измерения и активного управления измерением повысить точность, осуществлять необходимую диагностику состояния датчиков и активно перенастраивать их режим работы. Основными областями применения IQ-сенсорных устройств являются технологические установки и системы автоматизации:

- с высокими требованиями к коэффициенту готовности системы;
- с высокой вероятностью взаимного влияния датчиков;
- с высокими требованиями к динамической перенастройке параметров датчиков во время работы.

Для этих целей в последнее время применяются с специальные IQ –модули. Например, модуль IQ-Sense имеет следующие основные характеристики:

- простое подключение внешних цепей;
- быстрый ввод в эксплуатацию с помощью программной компоненты IntelliTeach;

- предварительная настройка параметров датчика или копирование параметров, установленных в режиме обучения, в другие модули или датчики;
- динамическое изменение параметров настройки датчиков (например, установки дальности действия) из программы контроллера;
- интегрированные инструментальные средства для настройки с помощью светодиодного дисплея;
- высокая степень готовности;
- формирование сообщений о необходимости выполнения профилактических работ;
- диагностика каналов (обрыв линии, короткое замыкание, неисправность модуля/ датчика, и т.д.);
- быстрая замена датчиков без повторной настройки системы;
- "горячая" замена модулей без остановки контроллера.

Нормирование погрешности канала измерения. При разработке проекта необходимо обосновать погрешность измерения. Для этого рекомендуется использовать методику оценивания погрешности измерительных каналов автоматизированных систем управления технологическими процессами расчетным способом в условиях ограниченной исходной информации, когда прямое экспериментальное оценивание погрешности практически невозможно или экономически неоправданно.

При расчете погрешности датчика рекомендуется использовать для выбранных каналов измерения перечень составляющих погрешности и их процентный уровень, который приведен в приложении Г этого нормативного документа. Пример обобщенной структуры измерительного канала для контроля температур с помощью термопреобразователей сопротивления (по ГОСТ 6651-94) АС приведен на рис. 26.

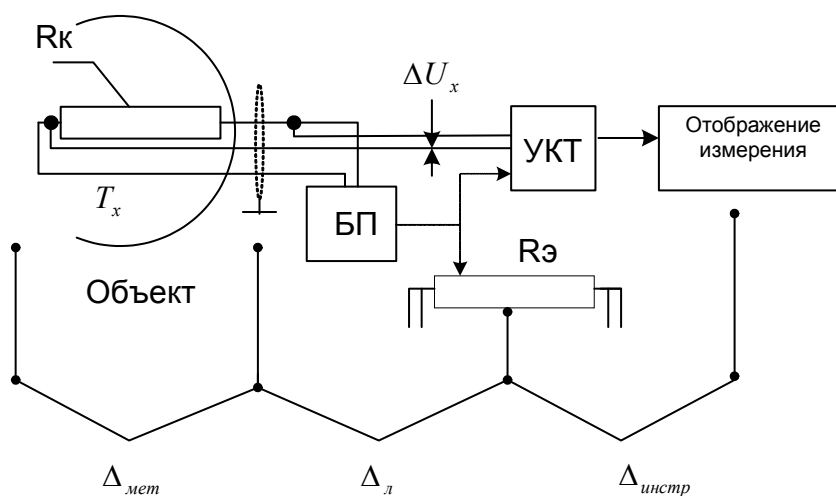


Рис 26. Обобщенная структура измерительного канала

Здесь

$\Delta_{\text{мет}}$ - методическая погрешность датчика;

$\Delta_{\text{л}}$ - погрешность связей линии;

$\Delta_{\text{инстр}}$ - суммарная инструментальная погрешность канала измерения программно-технического комплекса АС (АЦП, алгоритм расчетов, визуализация на экране компьютера).

Погрешность измерения канала может быть определена как
$$\Delta_{\text{измерений}} = \Delta_{\text{мет}} * \Delta_{\text{л}} * \Delta_{\text{инстр}} * \Delta_{\text{вф}}.$$

Здесь:

$\Delta_{\text{вф}}$ - погрешность влияющих факторов;

*- знак объединения в сумму;

$R_{\text{к}}$ - термопреобразователь сопротивления;

$T_{\text{х}}$ - измеряемая температура;

БП - блок питания;

$R_{\text{э}}$ - эталонное сопротивление;

$\Delta U_{\text{х}}$ - входной сигнал. $\Delta U_{\text{х}} = f(T_{\text{х}})$;

УКТ- блок преобразования аналогового сигнала в код АЦП и передачи информации на отображение.

По каждому измерительному каналу в пояснительной записке рекомендуется приводить обобщенную структурную схему измерительного канала (пример, приведен на рис.2б) и делать обоснование, со следующим примерным содержанием.

Датчик, давления (температуры, расхода) выбирается в соответствии с рекомендацией межгосударственного нормативного документа «Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами» с учетом заданного требования к погрешности канала измерения (не более 0.3 %) с заданной разрядностью АЦП (10 разрядов).

Расчет погрешности измерения датчика давления производится по формуле:

$$\delta_1 \leq \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2)},$$

где $\delta = 0,3\%$ – требуемая суммарная погрешность измерения канала измерений при доверительной вероятности 0,95;

$\delta_2 = 0,05$ – погрешность передачи по каналу измерений; δ_3 – погрешность, вносимая АЦП;

δ_4 и δ_5 – дополнительные погрешности, вносимые соответственно окружающей температурой и вибрацией.

Погрешность, вносимая 10-и разрядным АЦП, была рассчитана следующим образом:

$$\delta_3 = \frac{1 \cdot 100}{2^{10}} = 0.1 \text{ \%}.$$

При расчете учитываются дополнительные погрешности, вызванные влиянием:

- температуры окружающего воздуха;

- *вибрации.*

Дополнительная погрешность, вызванная температурой окружающего воздуха, была установлена согласно рекомендации РМГ 62—2003:

$$\delta_4 = \frac{0,3 \cdot 34}{100} = 0,102 \%$$

Дополнительная погрешность, вызванная вибрацией:

$$\delta_5 = 0,3 \cdot 0,19 = 0,057 \%$$

Следовательно, допускаемая основная погрешность датчика давления должна не превышать:

$$\delta_1 \leq 0,254 \%$$

По результатам расчета выбирается "Метран-22ДД" модель 2460 со следующими техническими характеристиками:

верхний предел измерения – 10 МПа; предел допускаемой основной погрешности $\pm 0,25 \%$; выходной сигнал – 4–20 мА; питание – постоянный ток напряжением $36 \pm 0,72$ В; масса – 10 кг. Изготовитель – промышленная группа «Метран».

Измерительный прибор обеспечивает непрерывное преобразование значения измеряемого параметра в унифицированный токовый выходной сигнал. Преобразователь обеспечивает его работу со вторичной регистрирующей, показывающей аппаратурой, регуляторами и другими устройствами автоматики, работающими от стандартного входного сигнала 0... 5, 0 ... 20 или 4 ... 20 мА постоянного тока.

Лекция 10. Выбор исполнительных устройств

Исполнительным устройством (ИУ) называется устройство в системе управления, непосредственно реализующее управляющее воздействие со стороны регулятора на объект управления путем механического перемещения регулирующего органа (РО).

Регулирующее воздействие от исполнительного устройства должно изменять процесс в требуемом направлении для достижения поставленной задачи – оптимизации и (или) стабилизации качества регулируемой величины. Это воздействие может осуществляться различными способами, а именно:

- изменением количества поступающего вещества за счет дросселирования его потока или за счет изменения производительности агрегата;

- изменением количества вносимого тепла за счет изменения поступающего теплоносителя или топлива;

- изменением дозы вещества за счет изменения направления его поступления или скорости вращения приводного механизма подачи этого вещества, периодического включения или выключения агрегатов, прекращения подачи вещества или останова агрегатов в целях исключения аварийных производственных ситуаций.

Возможны комбинации этих способов. Для осуществления одного из указанных способов регулирующего воздействия могут быть использованы

исполнительные устройства с различными принципами действия и конструктивным исполнением.

Исполнительные устройства (ИУ) состоят из двух основных функциональных узлов:

- Регулирующего органа (привода), предназначенного для управления исполнительным механизмом в соответствии с командной информацией, полученной от управляющего устройства.
- Исполнительного механизма - клапана, заслонки и т.д., воздействующие на процесс путем изменения пропускной способности трубопровода.

ИУ в нефтегазовой отрасли подразделяются на три группы:

- ИУ больших расходов (регулирующие заслонки) с коэффициентом пропускной способности (k_v) $k_v = 20 - 20000 \text{ м}^3/\text{час}$.
- ИУ средних расходов (регулирующие клапаны) $k_v = 4 - 1600 \text{ м}^3/\text{час}$.
- ИУ малых расходов (регулирующие клапаны) $k_v = 0,1 - 2,5 \text{ м}^3/\text{час}$.

В зависимости от конструктивных особенностей РО исполнительные устройства подразделяют на виды:

- заслоночное;
- односедельное;
- двухседельное;
- трехходовое;
- шланговое;
- диафрагмовое.

Часть ИУ сведены в серии:

Серия 100 – заслонки регулирующие.

Серия 200-клапаны регулирующие двухседельные.

Серия 300-клапаны регулирующие односедельные.

Серия 400-клапаны регулирующие трехходовые.

Серия 500- шланговые клапаны.

Односедельные регулирующие клапаны стали применять раньше двухседельных. Считается, что они технологичнее двухседельных, менее металлоемки и более герметичные. Отсутствие застойных зон в односедельных клапанах позволяет применять их для регулирования более вязких сред. Улучшенные кавитационные и шумовые характеристики позволяют использовать односедельные клапаны при сравнительно больших перепадах давления. Высокая ремонтпригодность дает значительную экономию при эксплуатации. Основным недостатком, ограничивающим применение традиционных конструкций односедельных исполнительных устройств, — неразгруженность затвора, вызывающая необходимость применения сравнительно мощных исполнительных механизмов. В последнее время появились конструкции односедельных исполнительных устройств, лишенных этого недостатка и сохраняющих все указанные выше преимущества. Затвор разгружается, как правило, путем помещения его в специальную обойму (так называемую клетку), которая одновременно

является и направляющей затвора. В некоторых конструкциях затвор представляет собой обычный поршень, а в обойме выполнены профилированные окна для получения определенной пропускной характеристики; в других конструкциях профилированные окна находятся на затворе, а в обойме выполнены цилиндрические или прямоугольные отверстия. Имеются конструкции разгруженных односедельных исполнительных устройств с отверстием в затворе, которое соединяет полости над и под затвором, т. е. разгружает его. Односедельные исполнительные устройства могут быть и запорно-регулирующими. При этом уплотнение осуществляется при помощи мягкой прокладки.

Условные обозначения исполнительных устройств показаны на рисунке 27:

- исполнительное устройство (общее обозначение). Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется, – рисунок 27, а;
- исполнительное устройство, открывающее регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, – рисунок 27, б;
- исполнительное устройство, закрывающее регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, – рисунок 27, в;
- исполнительное устройство, оставляющее регулирующий орган в неизменном положении при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, - рисунок 27, г;
- исполнительное устройство с дополнительным ручным приводом (обозначение может применяться в сочетании с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала), – рисунок 27, д;
- автоматическая защита из системы противоаварийной защиты (ПАЗ, см. рисунок 27,е);
- технологическое отключение (включение) из системы управления (см. рисунок 27, ж);
- регулирующий орган (задвижка, клапан и т.д.), – рисунок 27, и;
- регулирующий клапан, открывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально открытый), – рисунок 27, к;
- регулирующий клапан, закрывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально закрытый), – рисунок 27, л;
- управляющий электропневматический клапан, – рисунок 27, м;
- отсекающий с приводом (запорный клапан), – рисунок 27, н;
- электрозадвижка, – рисунок 27, п;
- пневмоотсекатель, – рисунок 27, р;
- отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т. п.), – рисунок 27, с.

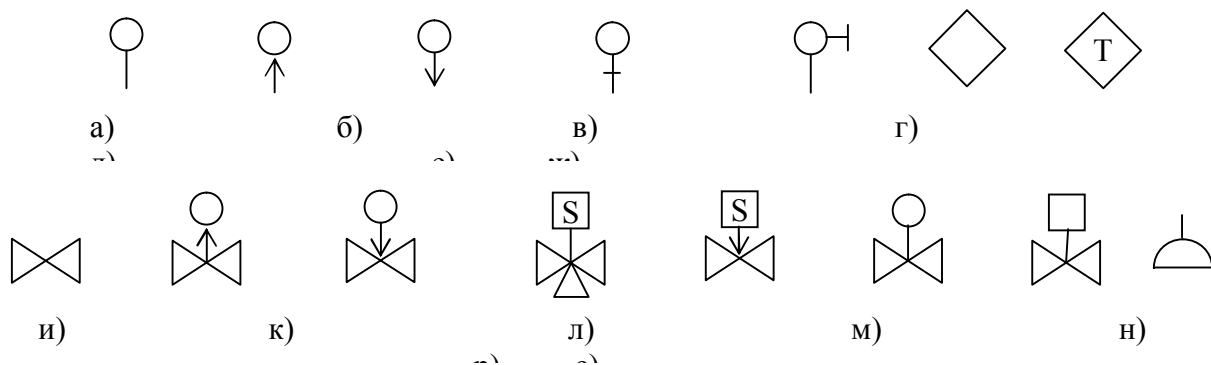


Рис. 27 Условные обозначения исполнительных устройств
Основной технологических устройств (объектов управления) в нефтегазовой
области являются [СТП-01-002-97]:

- Технологические устройства насосного и компрессорного типов.
- Мерные технологические устройства (узлы учета, резервуары, скважины).
- Отстойники, сепараторы, электрогидраторы.
- Нагревательные агрегаты.
- Устройства дозирования химреагентов.
- Трансформаторные подстанции и распределительные устройства.

Большинство управляющих воздействий в нефтепереработке, нефтедобыче и нефтехимии реализуется путем *изменения расходов веществ* (например, сырья, топлива, кубового остатка колонны и т.д.).

На практике находят применение *три способа регулирования расхода* исполнительным устройством насосного типа.

1) Дросселирование потока на линии нагнетания (рис. 28).

На рис. 25 обозначено:

- *НС*- насос (компрессор),

- *Кл* - рабочий орган с исполнительным механизмом,

- *FE* (измерительные действия)-*FT* (сигнализирующие действия)-*FC* (управляющее действие)-*FY* (действие исполнительного органа)- *FZ* (отсечное, завершающее действие) – «*FE-FT-FC-FY-FZ*»- контур регулирования расхода (*F*).

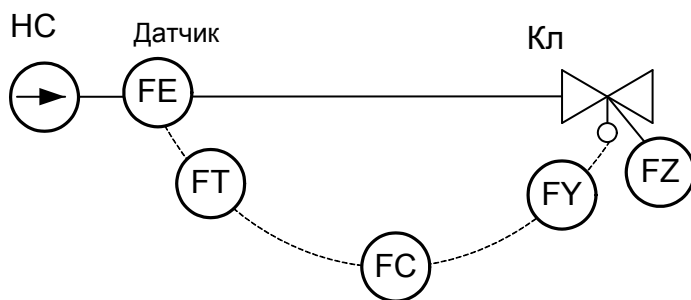


Рис.28 Управление расходом посредством дросселирования

Данный способ является наиболее простым. Известно, что каждая насосная установка НС на выходе всегда должна иметь запорную задвижку. При полностью закрытой запорной задвижке может осуществляться пуск в работу насосной установки. Однако эта задвижка может использоваться как регулирующая для изменения подачи и напора в процессе эксплуатации. В случае открытия задвижки подача (Q) растет, но растет и потребляемая мощность, величина которой ограничена мощностью привода. При закрытии задвижки ухудшается гидравлический рабочий процесс самого насоса, в нем появляются (при малых расходах) обратные токи жидкости, вибрация и шум, а также нагрев всего агрегата и проточного тракта. Естественно, все эти отклонения, вызванные дросселированием выходной задвижки, влекут за собой потери энергии. Поток дросселируется именно на линии

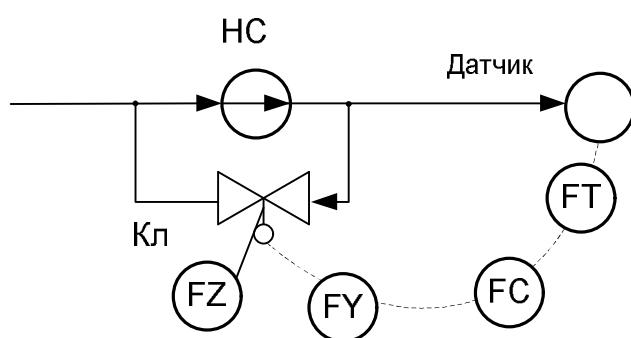


Рис.29 Управление расходом посредством байпасирования

нагнетания, поэтому дросселирование потока на линии всасывания может привести к кавитации (срыву) потока и разрушению насоса.

2) Байпасирование осуществляется перепуском перекачиваемой жидкости из напорного трубопровода во всасывающий (так называемый обратный переток) (рис.29) по спиральному трубопроводу с задвижкой, манипулирование которой позволяет менять подачу насоса. При этом режим работы и параметры самого насоса не изменяются. Недостатком этого способа является потеря энергии на перепуск по байпасу "оборотной" жидкости и небольшое усложнение при обслуживании насосной установки. Этот способ применяется для насосов с большим внутренним сопротивлением, производительность которых мало зависит от проходного сечения линии нагнетания (например, поршневых, шестерёнчатых насосов). Для таких насосов закрытие регулирующего органа на линии нагнетания приводит к повышению давления в трубопроводе, что может привести к его разрыву.

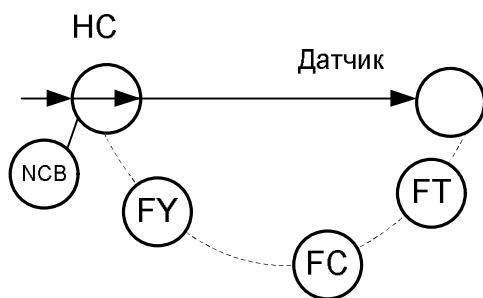


Рис.30 Управление расходом посредством изменения режима работы технологического агрегата

3) Третьим способом регулирования параметрами насосного агрегата (NCB) является изменение числа оборотов вала насоса, что достигается путем применения специальных устройств (типа теристорных преобразователей частоты), позволяющих менять число оборотов вала электродвигателя. Этот способ значительно удорожает и усложняет обслуживание установки, но позволяет при регулируемых числах оборотов изменять подачу, напор и мощности насоса.

Способы регулирования давления аналогичны способам регулирования уровня жидкости. При наличии в технологической установке нескольких сообщающихся аппаратов достаточно стабилизировать давление в одном из них (как правило, в оконечном), а в остальных оно устанавливается само в соответствии гидравлическим сопротивлением линии аппаратов.

На практике находят применение следующие способы *регулирования уровня*.

1) Изменение расхода жидкости на входе в аппарат – регулирование на притоке (рис. 30).

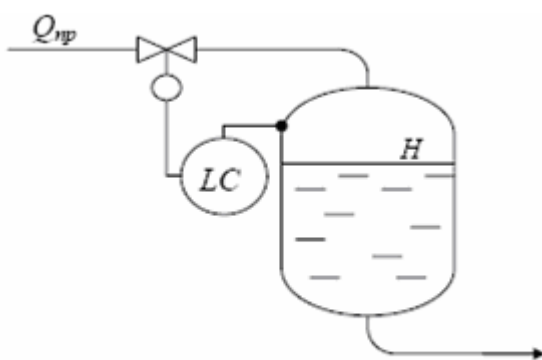


Рис.31 Управление уровнем на притоке
Здесь LC – регулятор уровня.

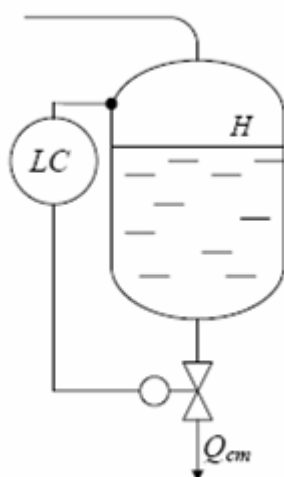


Рис.32 Управление уровнем на стоке

2) Изменение расхода на выходе аппарата – регулирование на стоке (рис. 32).

Очевидно, что указанные два способа применимы, когда по условиям работы аппарата в технологической схеме имеется возможность изменения расходов на притоке или стоке.

3) Соотношение расходов на притоке и стоке (рис. 33).

В данном случае для регулирования уровня используется каскадная АС с промежуточной величиной – соотношением расходов на притоке и стоке (*FFC* – стабилизирующий регулятор соотношения расходов). Каскадная АС позволяет повысить качество регулирования уровня по сравнению с одноконтурными.

Исполнительные устройства в зависимости от используемой энергии можно подразделять на следующие виды:

- пневматические (с пневматическим ИМ);
- электрические (с электрическим ИМ);
- гидравлические (с гидравлическим ИМ);
- электропневматические (пневматический ИМ с электропневматическим преобразователем);
- электрогидравлические (гидравлический ИМ с электрогидравлическим преобразователем);
- пневмогидравлические (гидравлический ИМ с пневмогидравлическим преобразователем).

Помимо общеизвестных и широкоупотребляемых регулирующих органов для целей регулирования технологических процессов используются:

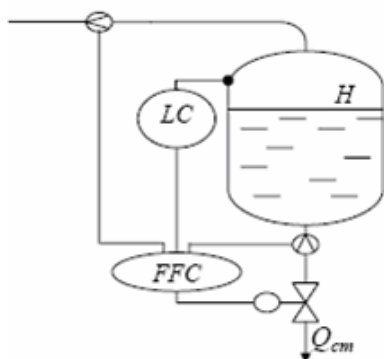


Рис.33 Комбинированное управление уровнем

- задвижки, шиберы, вентили, краны, посредством которых изменяют расходы технологических сред для поддержания заданного значения регулируемой величины;
- направляющие аппараты, позволяющие изменять производительность тягодутьевых агрегатов;
- плужковые сбрасыватели, воздействующие на изменение направления потока сыпучих веществ;
- реостаты, изменение электрического сопротивления которых вызывает изменение силы тока в электрических цепях, что обеспечивает регулирующее воздействие на процесс (например, регулирование температуры при помощи электронагревателей);
- специальные приспособления и устройства, обеспечивающие тем или иным путем получение необходимого регулирующего воздействия.

Кроме того, в качестве РО может быть использовано технологическое оборудование, а именно: насосы, компрессоры, транспортерные механизмы, шнековые, пластинчатые и дисковые питатели, позиционеры.

При выборе ИУ, прежде всего, следует оценить его основные характеристики:

- Пропускную способность (K_v) - расход ($m^3/ч$), с плотностью, равной $1000 \text{ кг}/m^3$, пропускаемой регулирующим органом при перепаде давления в нем в $1 \text{ кгс}/cm^2$ и температуре $+20^\circ C$.
- Пропускную характеристику - зависимость пропускной способности от перемещения затвора h : $K_v = f(h)$.
- Условный проход D_u , мм – диаметр входного патрубка клапана;
- Расходная характеристика регулирующего органа это зависимость расхода через ИУ от степени его открытия:

$$q = f(h),$$

где $q = Q/Q_{max}$ - относительный расход, $h = H/H_{max}$ – относительный ход затвора регулирующего органа.

Решающим значением для оптимального регулирования и достижения желаемой производительности исполнительного органа (клапана) являются:

- правильный выбор пропускной способности, который в значительной степени определяется сечением клапана;
- хорошее согласование сечение клапана с давлением и учетом гидравлических сопротивлений.

В зависимости от предварительно заданных параметров при выборе, например, клапана обычно имеет место случай, когда известны значения давления до и после клапана, при которых должно быть достигнуто максимальное желаемое значение расхода Q_{\max} (м³/час).

В этом случае при выборе клапана рассчитывают его пропускную способность K_v (м³/час) по формуле:

$$K_v = Q_{\max} \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p}} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}},$$

где

Δp_0 - потеря давления на клапане (ее принимают равной 1 кгс/см²);

Δp - изменение давления в трубопроводе до и после клапана;

ρ - плотность среды (кг/м³);

$\rho_0 = 1000$ кг/м³ - плотность воды (в соответствии с определением значения K_v).

При выборе присоединительного размера клапана можно воспользоваться таблицей 2.

Таблица 2 Выбор диаметра трубопровода в зависимости от расхода

D_y , мм	Расход воды Q , м ³ /ч, при перепаде Δp , кгс/см ²								
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	3,0	5,0	6,0
15	0,16	0,28	0,35	0,43	0,50	0,56	0,68	0,90	1,00
20	0,25	0,44	0,56	0,66	0,75	0,85	0,90	1,15	1,30

При выборе типа привода рекомендуется проводить сравнительный анализ двух вариантов энергопотребления: электрического и пневматического.

Поскольку расходная характеристика регулирующего органа зависит от гидравлического сопротивления трубопроводной сети, в которой он установлен, необходимо иметь возможность корректировать эту характеристику. Регулирующие органы имеют сплошные или пустотелые цилиндрические плунжеры, допускающие изменение профиля для получения требуемой расходной характеристики. Для облегчения корректировки расходной характеристики выпускают клапана с различными видами пропускной характеристики: линейной и равнопроцентной.

У клапанов с линейной характеристикой увеличение пропускной способности пропорционально ходу плунжера, т.е.

$$dK_v = a \cdot dh,$$

где: a – коэффициент пропорциональности.

У клапанов с равнопроцентной пропускной характеристикой увеличение пропускной способности пропорционально ходу плунжера и текущему значению пропускной способности, т.е.

$$dK_v = a \cdot K_v \cdot dh.$$

Различие между пропускной и расходной характеристиками тем больше, чем больше гидравлическое сопротивление трубопроводной сети. Отношение пропускной способности клапана K_{vy} к пропускной способности сети K_{vT} – гидравлический модуль системы:

$$n = K_{vy} / K_{vT}.$$

При значениях $n > 1.5$ клапана с линейной пропускной характеристикой становятся непригодными из-за непостоянства коэффициента пропорциональности a на протяжении всего хода. Для регулирующих клапанов с равнопроцентной пропускной характеристикой расходная характеристика близка к линейной при значениях n от 1,5 до 6. Поскольку диаметр технологического трубопровода D_t обычно выбирается с запасом, может оказаться, что регулирующий клапан с таким же или близким диаметром условного прохода D_u имеет избыточную пропускную способность и, соответственно, гидравлический модуль. Для уменьшения пропускной способности клапана без изменения его присоединительных размеров заводы-изготовители выпускают клапаны, отличающиеся только диаметром седла D_c .

При выборе исполнительных устройств в пояснительной записке проекта рекомендуется привести следующие сведения:

- физическую величину регулирования (P , F , L , T и др.);
- единицы регулируемого параметра (мм, МПа, г/м³, др.);
- тип исполнительного устройства, значение K_v и D_u ;
- способ регулирования;
- информацию о процессе (температура, вязкость, жидкий, газ, сыпучий материал, плотность, давление, электропроводность);
- требования к источникам питания, (мощность, напряжение, ток, (не)автономное, тип кабельного ввода);
- подсоединение к процессу (стандарт ANSI/ASME (американские размеры), DIN (европейские размеры), номинал фланца DN/PN (размер подсоединения к процессу / номинал давления для фланца), резьбу: G3/4A, G1A, G1,5A, способ монтажа: камера, патрубков, др.)
- точность (погрешность) регулирования;
- диапазон регулирования;
- индикация (по месту/нет, выносная, др.);
- диапазон входного сигнала;
- условия эксплуатации (открытый воздух, помещение, физическая IP-защищенность, виброустойчивость, температурный диапазон измеряемой среды и электроники, срок службы);
- интерфейсы связи с компьютерной средой (RS 232, Ethernet, RS485/422 и др.);

- *электробезопасность (защита от короткого замыкания, защита от неправильного подключения, электромагнитная EN 61326- совместимость, искробезопасность);*
- *примерная стоимость (в том числе расходы в процессе их эксплуатации);*
- *положительный опыт их применения (в том числе техническая поддержка, показатель применяемости, и др.).*

Лекция 11. Состав SCADA системы

Задача регистрации информации в реальном времени и последующего командного управления может 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) 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.

В настоящее время основным программным средством АС в нефтегазовой отрасли является ПО SCADA. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – это система супервизорного управления и сбора данных.

Управление в АСУТП может быть реализовано с использованием SCADA-систем как отечественных, так и зарубежных производителей, например:

- Trace Mode (AdAstra, Россия);
- Infinity (Elesy, Россия);
- GENIE (Advantech, Тайвань);
- Genesys (Iconics, США);
- Real Flex (BJ, США);
- FIX (Intellution, США);
- Factory Suite, InTouch (Wanderware, США);
- Citect (CiTechnologies, США) и др.

К SCADA-системам предъявляются особые требования :

- соответствие нормативам "реального времени" (в т.ч. и "жесткого реального времени");
- способность адаптироваться как к изменениям параметров среды в темпе с этими изменениями, так и к условиям работы информационно-управляющего комплекса;
- способность работать в течение всего гарантийного срока без обслуживания (бесперебойная работа годами);
- установка в отдаленных и труднодоступных местах (как географически - малообжитые районы, так и технологически - колодцы, эстакады).

Основные возможности SCADA-систем:

- сбор первичной информации от устройств нижнего уровня;

- архивирование и хранение информации для последующей обработки (создание архивов событий, аварийной сигнализации, изменения технологических параметров во времени, полное или частичное сохранение параметров через определенные промежутки времени);

- визуализация процессов;

- реализация алгоритмов управления, математических и логических вычислений (имеются встроенные языки программирования типа VBasic, Pascal, C и др.), передача управляющих воздействий на объект;

- документирование, как технологического процесса, так и процесса управления (создание отчетов), выдача на печать графиков, таблиц, результатов вычислений и др.;

- сетевые функции (LAN, SQL);

- защита от несанкционированного доступа в систему;

- обмен информацией с другими программами (например, Outlook, Word и др. через DDE, OLE и т.д.).

Аппаратная открытость устройств SCADA это поддержка или возможность работы с оборудованием различных производителей с использованием OPC технологии.

Современная SCADA не ограничивает выбор аппаратуры нижнего уровня, т.к. предоставляет большой набор драйверов или серверов ввода-вывода.

Если для программной системы определены и открыты используемые форматы данных и процедурный интерфейс, то это позволяет подключить к ней внешние, независимо работающие компоненты, в том числе разработанные отдельно программные и аппаратные модули сторонних производителей.

Для подсоединения драйверов ввода-вывода к SCADA используется стандартный динамический обмен данными OLE (Object Linking and Embedding), включение и встраивание объектов.

Типичная последовательность действий при программировании SCADA-системы:

- 1) Разработать алгоритм связи SCADA с аппаратной частью АС.
- 2) Разработать и отладить программную поддержку этих алгоритмов связи.
- 3) Сформировать статические изображения рабочих окон экранов диспетчерского управления: фон, заголовки, мнемосхема процесса и т.д.
- 4) Сформировать динамические объекты для каждого окна. Как правило, динамические объекты создаются с помощью специализированного графического редактора самого SCADA-пакета по жестко заданному алгоритму или на основе набора библиотечных элементов с последующим присвоением параметров (например, рукоятка на экране).
- 5) Реализовать алгоритмы отображения, управления, архивирования, документирования в модулях проектирования экранных форм, архивирования, аварийного управления и базе данных.

Структурная схема связи аппаратной и программной частей АС показан на рис.34

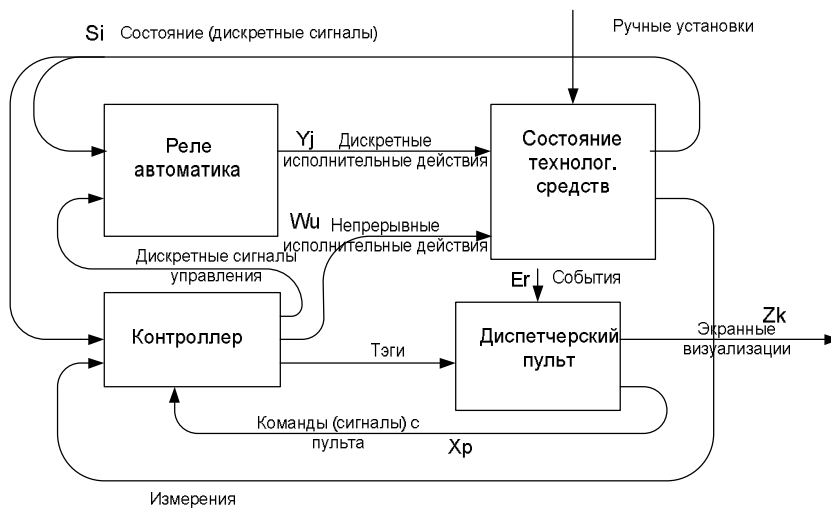


Рис.34 Структурная схема связи аппаратной и программной частей АС

Здесь показана связь переменных Y , S , W , E , X , Z с их наименованием и отдельными устройствами АС.

На рисунке 35 показана взаимосвязь программного обеспечения различных частей АС с использованием RS-485 на полевом и Ethernet-коммуникационном уровнях и SCADA.

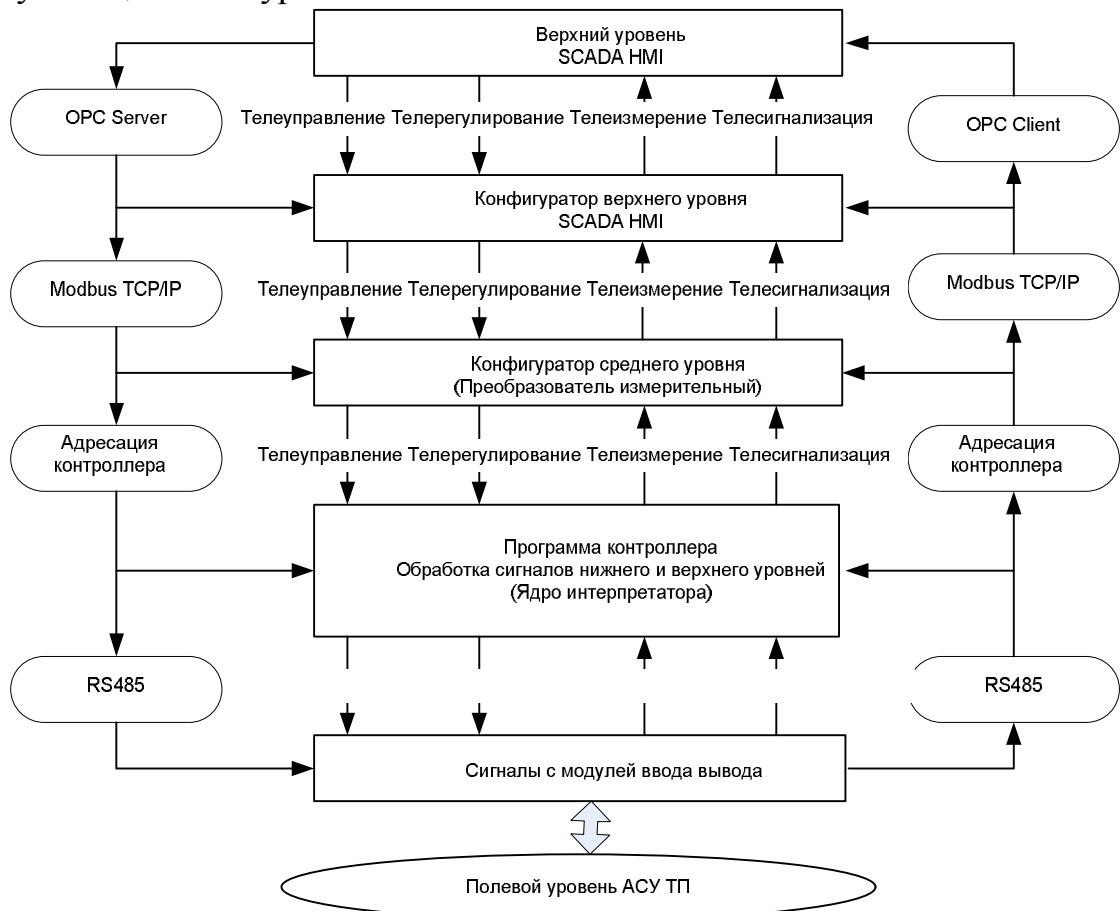


Рис. 35 Взаимосвязь программного обеспечения различных частей АС

Данные технологических процессов в нефтегазовой отрасли специфичны. Они, как правило, могут быть представлены в виде временных рядов «значение – время». Для их сбора и хранения практически любой SCADA-пакет должен иметь в своем составе подсистему регистрации исторических данных (архив) с возможностью последующей выборки требуемых для анализа данных и их представления в виде трендов. Основное отличие SCADA друг от друга в том, что одни работают лучше с каким то видом (типом) оборудования, другие с другим типом. В данном курсе в качестве программной основы АС для нефтегазовой отрасли рассматривается система InfinityLite ЗАО ЭлеСи. Его полнофункциональная конфигурация включает в себя :

1. InfinityServer.
2. InfinityHistoryServer.
3. InfinityReports.
4. InfinityTrends.
5. InfinityArmsю
6. InfinityHMI.

InfinityServer обеспечивает непрерывный мониторинг технологического процесса и передачу сигналов телеуправления в системы автоматике в режиме реального времени. Его основные характеристики:

1. Сбор данных. Это поддержка широко распространенных стандартных протоколов для использования в системах автоматике и телемеханики, таких как: Modbus, Modbus+, Modbus Ethernet, МІЕС 870.5, CAN, RP-570, TM120. Управление качеством входящих значений обеспечивает контроль актуальности и достоверности предоставляемой информации, наличия связи с источниками данных, исправности систем автоматике и коммуникационных устройств.

2. Предоставление данных. Это уведомление клиентских приложений об изменениях выбранных сигналов обеспечивает отображение информации в реальном времени по стандарту OPC DA 2.05, а также возможность подачи команд управления, ввода данных нетелемеханизированных измерений, изменения пороговых и контрольных значений, уставок технологического процесса.

3. Телеуправление. Эта функция обеспечивает немедленную отправку значения при изменении сигнала в сервере, высокую скорость доставки команд. Контроль качества отправляемых значений исключает передачу недостоверных команд и уставок.

4. Математическая и логическая обработка включает в себя встроенный пересчет значений из физических в инженерные. Процедуры вычисления сигналов при изменениях дают возможность расчета вычисляемых параметров технологического процесса и реализации алгоритмов управления, вычисления по расписаниям и таймеру обеспечивают возможность проведения регламентных расчетов, ведения счетчиков, вычисления учетных данных.

5. Оперативный контроль обеспечивает генерацию сообщений о событиях и авариях и уведомление клиентских приложений путем рассылки пакетов по протоколу OPC AE.

6. Контроль доставки значений телерегулирования гарантирует передачу команд управления технологическим оборудованием. Сервер уведомляет пользователя о результатах доставки через специальные сигналы ответа на телеуправление/телерегулирование

7. Производительность. Количество тегов (каналов измерений и /или вычислений), обслуживаемых одним сервером: 1 024. Количество каналов автоматики и телемеханики, обслуживаемых одним сервером: 16. Выполнение элементарных логических операций: 80 000 в секунду. Максимальное количество входящих значений: 80 000 в секунду. Максимальное количество тегов и групп, обслуживаемых по OPC: 1 024. Минимальная частота обновления значений: 100 мс.

InfinityHistoryServer обеспечивает сбор и хранение истории технологического процесса, и доступ клиентских приложений к архиву исторической информации, аккумуляцию исторических данных. Точность хронологии процесса — 100 наносекунд. Применение алгоритмов фильтрации данных по их составу, интервалу времени и порогу чувствительности, оптимизирует объем хранимых данных без потери информации о состоянии технологического процесса. *InfinityHistoryServer* поддерживает набор стандартных интерфейсов доступа к историческим технологическим данным, реализуя все преимущества открытых технологий. Поддержка протокола OPC HDA обеспечивает быстрый и удобный доступ к истории изменения технологических параметров для любого OPC-клиента. Запрос истории с использованием SQL обеспечивает доступ к архиву истории для программ, поддерживающих протоколы OLE DB, ODBC. Это дает возможность использования исторических технологических данных в MES системах (системах управления производственным процессом) для контроля производственных процессов, при формировании отчетов, в аналитических задачах оптимизации и планирования. Одновременное хранение исторических данных в нескольких исторических архивах обеспечивает возможность быстрого доступа к оперативной истории за последние сутки и длительное хранение архивированной информации.

Среднее количество операций чтения/записи: 40000 в секунду.

Максимальная скорость чтения: до 70000 значений в секунду.

Средний размер записи: 85 байт.

Размер исторической базы данных: до 15 ГБ.

InfinityOPCReports предназначен для подготовки сводок и отчетов на основе оперативных и исторических технологических данных для анализа состояния автоматизированной системы в режиме реального времени, а также хранение и предоставление сформированных отчетов пользователю. Оперативные отчеты автоматизируют процесс создания отчетов о состоянии системы на основе оперативных данных, полученных от одного и более OPC DA серверов. Это позволяет специалистам и руководителям, принимающим

решения, получать точную и полную информацию о состоянии автоматизированной системы в удобной форме, как на текущий, так и на прошедшие моменты времени.

Отчеты формируются на основе шаблонов, определяющих их стилевое оформление и содержание. Шаблоны создаются в формате Microsoft Excel. Для удобства предоставляется надстройка в Microsoft Excel позволяет пользователю просматривать адресное пространство OPC DA серверов и выбирать используемые теги.

Отчеты формируются как по запросу пользователя, так и автоматически, в соответствии с заданным расписанием. При этом для каждого шаблона может быть задано свое расписание. Отчеты сохраняются на диске в виде файлов в формате Microsoft Excel. Для каждого шаблона определяется срок хранения. Исторические отчеты автоматизируют процесс создания сводок и отчетов на основе исторических технологических данных.

InfinityHMI — это управление технологическим процессом и отображение в режиме реального времени информации о ходе выполнения технологического процесса. *InfinityHMI* базируется на OPC DA, является полноценным графическим редактором и RunTime — средой исполнения мнемосхем. Он обеспечивает визуальное проектирование и редактирование мнемосхем, анимацию графических объектов, имеет развитую библиотеку графических символов и динамических объектов.

Механизм «всплывающих» подсказок обеспечивает быстрое и наглядное получение уточняющей информации о технологическом процессе.

Инструмент «Таблица» делает удобным процесс создания и корректировки табличного представления информации на мнемосхеме. Функция «Drag&Drop» выполняет копирование графических и динамических объектов из одной мнемосхемы в другую, обеспечивает взаимодействие с другими приложениями.

Графический объект «стрелка» обладает свойством «приклеивания» (автоматической привязки) к границам других объектов. Динамический объект «Кнопка с экраном» обеспечивает загрузку мнемосхемы, содержит уменьшенное графическое изображение загружаемой мнемосхемы.

Динамический объект «Значение параметра» обеспечивает ручной ввод значений источников данных. Динамический объект «Кнопка» обеспечивает обработку действий пользователя и содержит набор сценариев; Встроенная система контекстно-ориентированной помощи. Возможность подключения в *InfinityHMI* языка программирования Microsoft VBA 6.3. Редактор выражений обеспечивает выполнения математических, логических, функциональных и других операций с данными. Функция экспорта мнемосхемы в формат *.html позволяет просматривать мнемосхемы в Веб-браузере.

Характеристики производительности:

- Период обновления значений сигналов OPC — от 100 мс.

- Дискретизация имитации сигналов — от 50 мс.
- Время перерисовки — от 50 мс.
- Количество объектов на мнемосхеме не ограничено.

InfinityTrends используется для построения трендов на основе оперативных, исторических данных, а так же для представления трендов в табличном виде.

Функциональные возможности:

- Отображение нескольких графиков в одном трендовом поле.
- Возможность работы в многооконном режиме.
- Автоматическое и ручное масштабирование графиков.
- Одновременное отображение нескольких реперных линий.
- Настройка без перезапуска параметров тренда, добавления, удаления и редактирования отображаемых сигналов.
- Визуализация точек перегиба тренда обеспечивает показ момента смены динамики изменения сигнала.
- Вычисление статистических характеристик контролируемых параметров.
- Представление тренда в табличном виде.
- Сохранение таблицы значений тренда в формате *.xls.
- Экспорт трендов в графический файл *.emf.
- Вывод графиков на принтер.
- Возможности настройки:
 - вида и состава панелей инструментов;
 - цветов и стилей отображения графиков;
 - количества реперных линий;
 - состава и степени точности выводимых данных;
 - интервала и периода обновлений данных в оперативном режиме.

Запуск приложения с определением параметров в командной строке позволяет осуществлять:

- конфигурацию пользователя;
- запуск в оперативном режиме;
- автоматическую загрузку списка сигналов;
- скрытие панелей инструментов.

InfinityAlarms — это отображение сообщений о событиях и авариях, отображение оперативных сообщений в режиме реального времени и просмотр истории сообщений за произвольный период.

Функциональные возможности:

- Отображение и квитиование оперативных сообщений.
- Выделение различными цветами текста сообщений разных типов и важности.
- Речевое оповещение о получении сообщения. Текст голосового сообщения формируется автоматически и зависит от структуры ОРС-тэга.

- Построковая печать оперативных сообщений на матричный принтер обеспечивает ведение объективного протокола событий SCADA.
- Фильтрация и сортировка исторических сообщений по назначению, объектам, типам и важности.
- Доступ к исторической информации.
- Гибкий механизм настроек отображения.

Лекция 12. Проектирование программного обеспечения ПЛК

Стандарт IEC 61131-3 описывает синтаксис и семантику пяти языков программирования ПЛК:

1. **SFC** (Sequential Function Chart) - графический язык, который используется для описания алгоритма в виде набора связанных пар: шаг (step) и переход (transition). Шаг представляет собой набор операций над переменными. Переход - набор логических условных выражений, определяющий передачу управления к следующей паре шаг-переход. По внешнему виду описание на языке SFC напоминает хорошо известные логические блок-схемы алгоритмов. SFC имеет возможность распараллеливания алгоритма. Однако, SFC не имеет средств для описания шагов и переходов, которые могут быть выражены только средствами других языков стандарта. Происхождение этого языка – Grafset (Telemecanique-Groupe Schneider).

2. **LD** (Ladder Diagram) - графический язык программирования, являющийся стандартизованным вариантом класса языков релейно-контактных схем. Логические выражения на этом языке описываются в виде реле, которые широко применялись в области автоматизации в 60-х годах. Ввиду своих ограниченных возможностей язык дополнен привнесенными средствами: таймерами, счетчиками и т.п. Происхождение: различные варианты языка релейно-контактных схем (Allen-Bradley, AEG Schneider Automation, GE-Fanuc, Siemens).

3. **FBD** (Functional Block Diagram) - графический язык по своей сути похожий на LD. Вместо реле в этом языке используются функциональные блоки, по внешнему виду - микросхемы. Алгоритм работы некоторого устройства на этом языке выглядит как функциональная схема электронного устройства: элементы типа "логическое И", "логическое ИЛИ" и т.п., соединенные линиями. Происхождение: вариант G- языка программирования LabView.

4. **ST** (Structured Text) - текстовый высокоуровневый язык общего назначения, по синтаксису ориентированный на Паскаль. Самостоятельного значения не имеет: используется только совместно с SFC. Происхождение: Grafset (Telemecanique-Groupe Schneider).

5. **IL** (Instruction List) - текстовый язык низкого уровня. Выглядит как типичный язык Ассемблера, что объясняется его происхождением: для некоторых моделей ПЛК фирмы Siemens является языком

Ассемблера. В рамках стандарта ИЕС 1131-3 к архитектуре конкретного процессора не привязан. Самостоятельного значения не имеет: используется только совместно с SFC. Происхождение - STEP 5 (Siemens).

Этот стандарт имеет очевидные преимущества: получение качественного программного продукта, сопрягаемость отдельных программных подсистем на уровне исходных текстов, независимость от типа операционной системы и от субъективных особенностей программиста, использование общего языка общения в среде разработчиков и пользователей программного обеспечения (ПО) и, наконец, сокращение финансовых затрат на разработку проектов в целом за счет сокращения времени разработки ПО.

Языки стандарта используются ведущими фирмами изготовителями ПЛК, достаточно распространены и известны специалистам АС. Набор средств разработки обычно выполняется на компьютере проектировщика, например, компьютере типа IBM PC, и состоит из редактора, отладчика и препроцессора, который подготавливает описанный проектировщиком алгоритм к формату, "понятному" ядру-интерпретатору программы проектирования. Этот набор имеет современный пользовательский интерфейс, позволяет тестировать алгоритм в режиме эмуляции и получать листинг алгоритма на языках его описания. В результате проектирования пользовательская программа совместно с ядром-интерпретатором загружается в целевой ПЛК для исполнения. Ядро-интерпретатор, как следует уже из его названия, транслирует пользовательский алгоритм в «машинные команды» во время исполнения. Это позволяет сконцентрировать машинно-зависимый код и таким образом снизить накладные расходы при переходе на другой ПЛК.

Для исполняющей системы контроллер с загруженной программой может быть представлен в виде, показанном на рисунке 36:

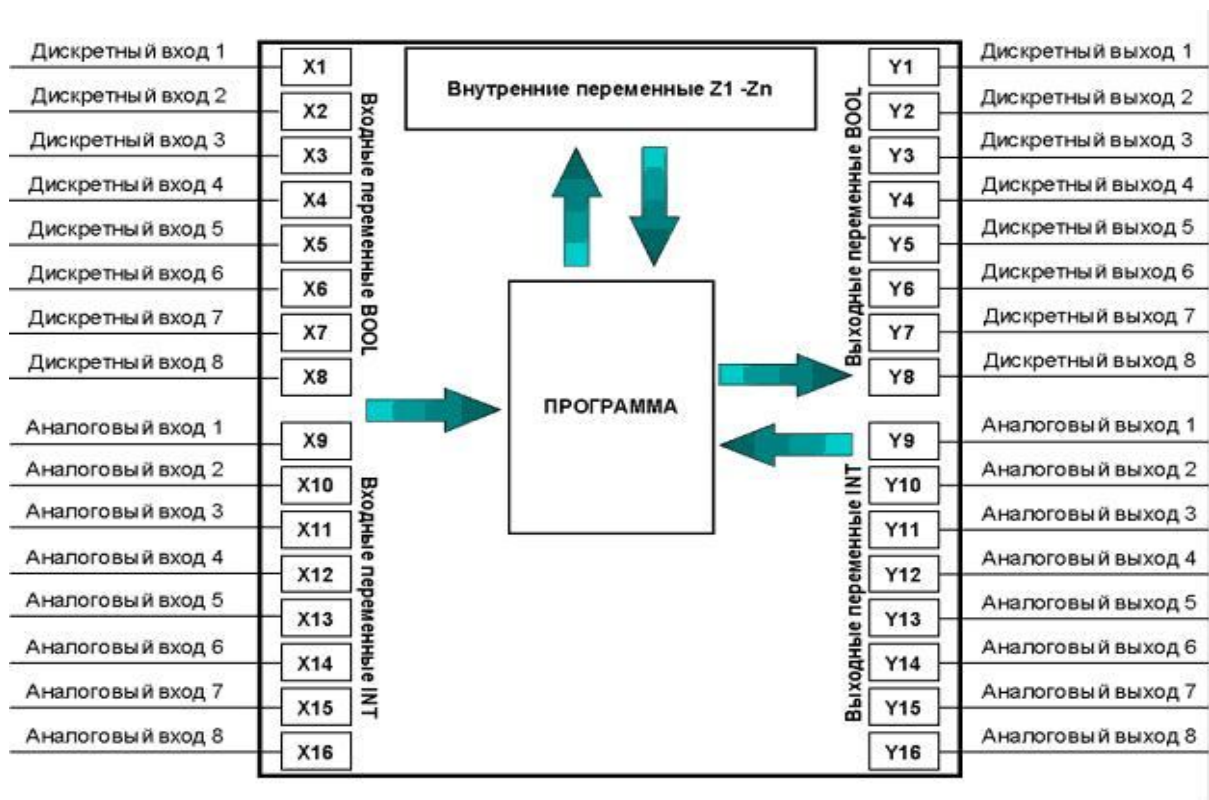


Рис.36 Контроллер с загруженной программой

Как только сформулирована задача программирования логики контроллера, то сразу встает вопрос о соответствующем программном инструментарии для решения этой задачи.

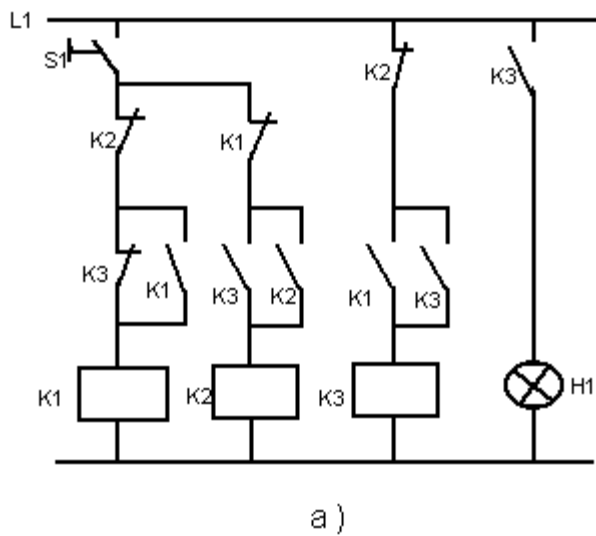
Считается, что для специалистов КИПиА наиболее понятен язык LD-релейных диаграмм (Ladder Diagrams). Программа контроллера, написанная на этом языке, представляет собой релейную диаграмму в виде двух вертикальных «шин питания», между которыми располагают горизонтальные цепи, образованные контактами и средством возбуждения исполнительного устройства (обмоткой реле, спиралью лампы и др.). Количество контактов в цепи произвольно, средство возбуждения исполнительного устройства одно. Соответствие операторов программы и элементов релейной логики приведено в таблице 3

Таблица 3 Соответствие ЕСКД обозначений и LD операторов.

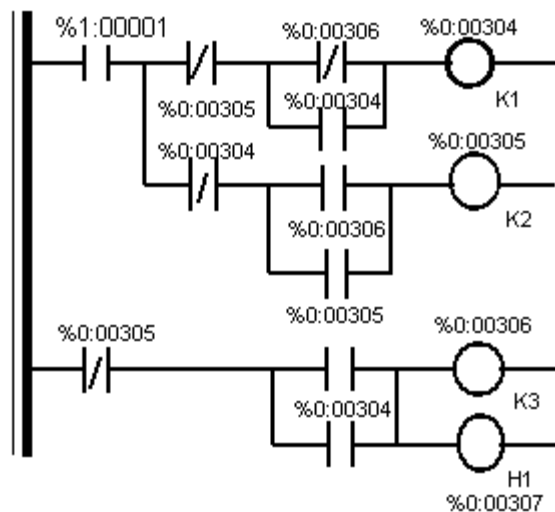
LD	ЕСКД	Обозначение
		Нормально разомкнутый контакт
И		Нормально замкнутый контакт
()		Обмотка реле, исп. устройство

Простая релейно-контактная схема представлена на рисунке, Кнопкой S1 включается контактор K1, который остается включенным своими блок - контактами. Его контактами включается контактор K3, который отключает K1 и включает сигнальную лампочку H1. При повторном нажатии кнопки S1

включается контактор К2. При этом контактор К3 отключается и лампочка Н1 гаснет.



а)



б)

Рис. 37 LD- программа релейной схемы

На рис 37б приведена программа, написанная на языке LD. Эта программа вместе с ядром-интерпретатором загружается в целевой ПЛК для исполнения. Ядро-интепретатор во время исполнения протранслирует эту программу в машинные команды. Эти команды будут управлять сигналами ввода/вывода ПЛК и тем самым лампочка Н1 будет включаться или выключаться.

Лекция 13. Моделирование и симуляция АС

Имитационное моделирование на цифровых вычислительных машинах является одним из наиболее мощных средств исследования, в частности, сложных динамических систем. Как и любое компьютерное моделирование, оно дает возможность проводить вычислительные эксперименты с еще

только проектируемыми системами и изучать системы, натурные эксперименты с которыми, из-за соображений безопасности или дороговизны, нецелесообразны. В тоже время, благодаря своей близости по форме к физическому моделированию, это метод исследования доступен более широкому кругу пользователей. В настоящее время, на рынке ПО предлагаются разнообразные средства моделирования. Любой квалифицированный инженер, технолог или менеджер должен уметь уже не просто моделировать сложные объекты, а моделировать их с помощью современных технологий, реализованных в форме графических сред или пакетов визуального моделирования.

Пакеты визуального моделирования позволяют пользователю вводить описание моделируемой системы в естественной для прикладной области и преимущественно графической форме (например, в буквальном смысле рисовать функциональную схему, размещать на ней блоки и соединять их связями), а также представлять результаты моделирования в наглядной форме, например, в виде диаграмм или анимационных картинок. Примером такого пакета является LabVIEW ф. National Instruments (США). Программа LabVIEW называется и является виртуальным прибором (англ. Virtual Instrument) и состоит из двух частей:

1. Блочной диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора.
2. Лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора.

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов.

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода-вывода, такие как кнопки, переключатели, светодиоды, шкалы, информационные табло и т. п. Они используются человеком для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными.

Блочная диаграмма содержит функциональные узлы, являющиеся источниками, приемниками и средствами обработки данных. Также компонентами блочной диаграммы являются терминалы («задние контакты» объектов лицевой панели) и управляющие структуры (являющиеся аналогами таких элементов текстовых языков программирования, как условный оператор «IF», операторы цикла «FOR» и «WHILE» и т. п.). Функциональные узлы и терминалы объединяются в единую схему линиями связей.

LabVIEW поддерживает огромный спектр оборудования различных производителей и имеет в своём составе (либо позволяет добавлять к базовому пакету) многочисленные библиотеки компонентов:

- для подключения внешнего оборудования по наиболее распространённым интерфейсам и протоколам (RS-232, GPIB 488, TCP/IP и пр.);
- для удалённого управления ходом эксперимента;
- для управления роботами и системами машинного зрения;

- для генерации и цифровой обработки сигналов;
- для применения разнообразных математических методов обработки данных;
- для визуализации данных и результатов их обработки (включая 3D-модели);
- для моделирования сложных систем;
- для хранения информации в базах данных и генерации отчетов;
- для взаимодействия с другими приложениями.

Вместе с тем LabVIEW — очень простая и интуитивно понятная система. Неискушённый пользователь, не являясь программистом, за сравнительно короткое время (от нескольких минут до нескольких часов) способен создать сложную программу для сбора данных и управления объектами, обладающую красивым и удобным человеко-машинным интерфейсом.

Данный программный пакет обеспечивает симуляцию максимально приближенного к реальным сигналам КИПиА технологического процесса с наложенным на него возмущающими воздействиями с различными законами распределения. На рис. 38 показаны лицевая панель управляемого резервуара (верхний слайс) и программа, подготовленная на функциональном языке, которая симулирует процесс управления (нижний слайс).

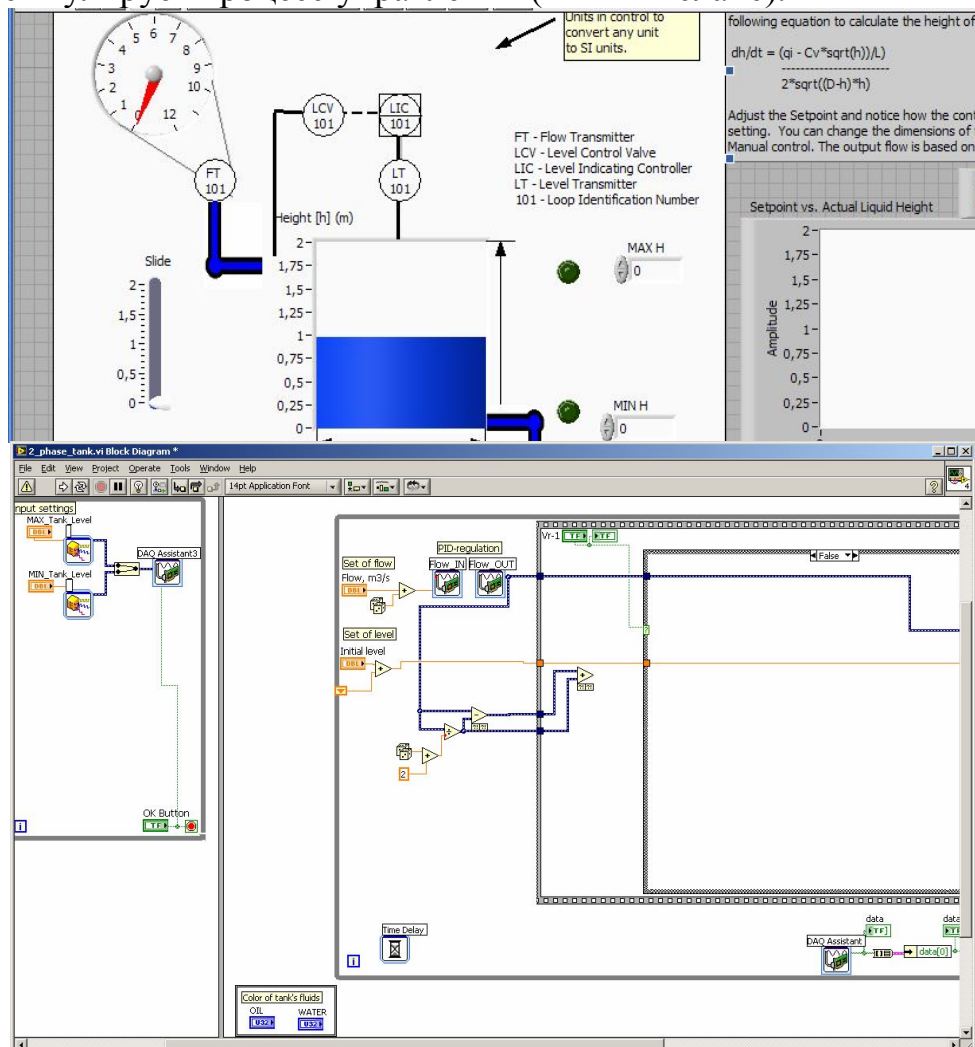


Рис. 38 Лицевая панель и блок-диаграмма ВП

Одним из главных достоинств систем визуального моделирования является то, что они позволяют пользователю не заботиться о программной реализации модели, как о последовательности исполняемых операторов, и тем самым создают на компьютере некоторую чрезвычайно удобную среду, в которой можно создавать виртуальные, "квазиаппаратные" параллельно функционирующие системы и проводить эксперименты с ними. Графическая среда становится похожей на физический испытательный стенд, только вместо тяжелых металлических ящиков, кабелей и реальных измерительных приборов, осциллографов и самописцев пользователь имеет дело с их образами на экране дисплея. Образы можно перемещать, соединять и разъединять с помощью мыши. Кроме того, пользователь может видеть и оценивать результаты моделирования по ходу процесса проектирования.

При создании ответственных технологических объектов, таких как объекты нефтегазовой отрасли, одной из важнейших составляющих процесса их проектирования является выбор решений АС, позволяющих наиболее эффективно использовать технологическое оборудование. Для этого исполнителю проекта важно:

- однозначно и просто понимать, что для этого должно быть сделано, что делается и что сделано в программно реализуемом проекте;
- формально и изоморфно переходить от алгоритма к программам на различных языках программирования, используя минимальное число внутренних (управляющих) переменных в программах, так как эти переменные затрудняют понимание программ;
- легко и корректно вносить изменения в разработанные алгоритмы и в построенные по ним программы;
- корректно проводить сертификацию программ.

Однако при формировании общих подходов к созданию алгоритмического и программного обеспечения возникают трудности, связанные с необходимостью достижения их наглядности, структурированности, наблюдаемости и управляемости. Эти трудности усугубляются тем, что при создании различных систем управления объектами нефтегазовой отрасли обычно используются и различные технологии алгоритмизации и программирования. Спектр таких технологий широк: от технологий на основе алгоритмических языков высокого уровня для промышленных компьютеров до технологий на основе специализированных языков для программируемых логических контроллеров (например, функциональных и лестничных схем).

Поэтому алгоритмизация и программирование систем управления техническими средствами, должны основываться на единой методологии, позволяющей строить, читать, проверять, верифицировать алгоритмы и программы. В качестве такой методологии может быть рекомендована технология автоматного программирования. Базовым понятием автоматного программирования является «состояние». Это понятие, в том смысле, как оно

используется в описываемой парадигме, было введено А. Тьюрингом и с успехом применяется во многих развитых областях науки, и в частности, в теории управления.

Основное свойство состояния системы в момент времени t_0 заключается в «отделении» будущего ($t > t_0$) от прошлого ($t < t_0$) в том смысле, что текущее состояние несет в себе всю информацию о прошлом системы, необходимую для определения ее реакции на любое входное воздействие, формируемое в момент времени t_0 .

Реакция объекта со сложным поведением на входное воздействие может зависеть, в том числе, и от предыстории. Однако, при использовании понятия «состояние» знание предыстории более не требуется. Состояние можно рассматривать как особую характеристику, которая в неявной форме объединяет все входные воздействия прошлого, влияющие на реакцию сущности в настоящий момент времени. Реакция зависит теперь только от входного воздействия и текущего состояния.

Понятие входное воздействие также является одним из базовых для автоматного программирования. Чаще всего, входное воздействие – это вектор. Его компоненты подразделяются на события и входные переменные в зависимости от смысла и механизма формирования. Совокупность конечного множества состояний и конечного множества входных воздействий образует (конечный) автомат без выходов. Такой автомат реагирует на входные воздействия, определенным образом изменяя текущее состояние. Правила, по которым происходит смена состояний, называют функцией переходов автомата.

То, что в автоматном программировании собственно и называется (конечным) автоматом (рис. 39) получается, если соединить понятие автомата без выходов с понятием «выходное воздействие». Такой автомат реагирует на входное воздействие не только сменой состояния, но и формированием определенных значений на выходах. Правила формирования выходных воздействий называют функцией выходов автомата.

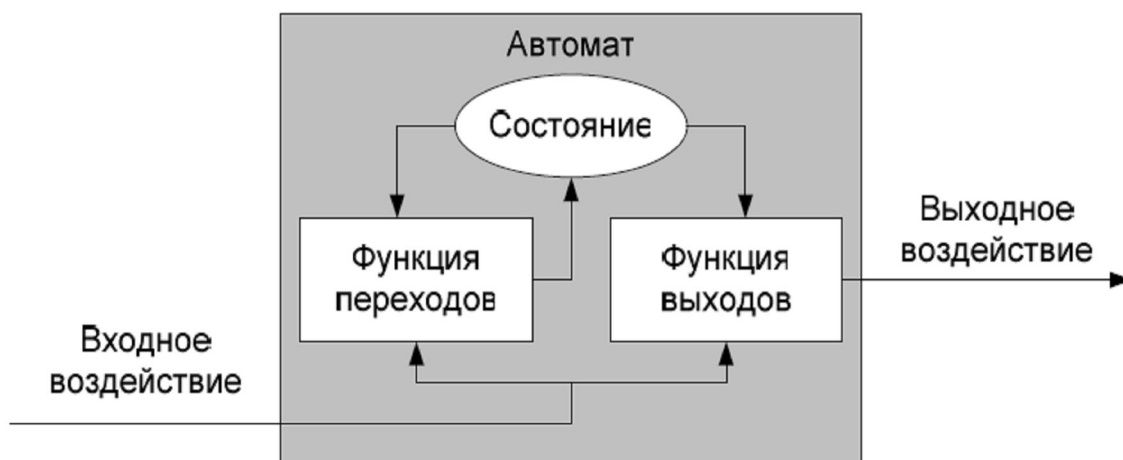


Рис.39 Конечный автомат

Таким образом, конечный автомат – это устройство управление, которое взаимодействует и с внешней средой, и с объектом управления. От внешней

среды автомат получает входные воздействия, тогда как взаимодействие объекта управления с внешней средой имеет двунаправленный характер (рис. 40).

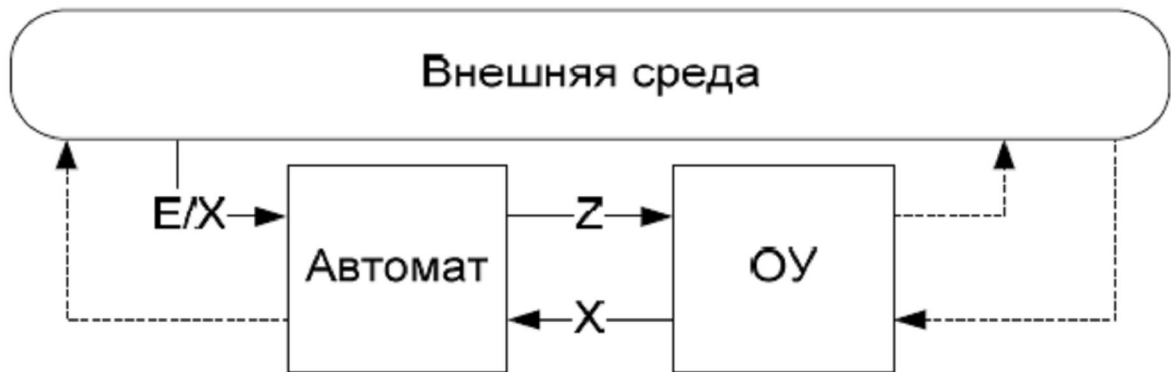


Рис.40 Взаимодействие компонентов модели автоматизированного объекта

На этом рисунке сплошными стрелками обозначены традиционные и наиболее типичные для программных реализаций виды взаимодействия между автоматом, объектом управления и внешней средой.

При автоматном программировании нет ограничений на тип входных и выходных воздействий: это могут быть символы, числа, строки, множества, последовательности, произвольные объекты – все зависит от специфики поставленной задачи и инструментов, используемых для ее решения. Кроме того, могут различаться способы передачи входных воздействий автомату и интерпретации выходных воздействий в объекте управления.

В соответствии с этим формальное определение автоматизации объекта управления выглядит следующим образом.

Пара $\{A, O\}$, состоящая из управляющего автомата A и объекта управления O , называется автоматизированным объектом управления.

Управляющий автомат представляет собой шестерку $\{X, Y, Z, y_0, \varphi, \delta\}$, где

$X = X_E \times X_O$ - множество входных воздействий, причем каждое входное воздействие X состоит из компоненты x_E , порождаемой внешней средой, и компоненты x_O , порождаемой объектом управления; Y – конечное множество управляющих состояний; Z – конечное множество выходных состояний; y_0 – начальное состояние; $\varphi = \varphi' \times \varphi''$ – функция выходов (выходных воздействий), состоящая, в общем случае, из двух компонент: функции выходных воздействий в состояниях $\varphi' : Y \rightarrow Z$ и функции выходных воздействий на переходах $\varphi'' : X \times Y \rightarrow Z$; $\delta : X \times Y \rightarrow Y$ – функция переходов.

Объект управления – это тройка $\{V, f_g, f_c\}$, где V – потенциально бесконечное множество вычислительных состояний (или значений),

$f_q : V \rightarrow X_o$ - функция, сопоставляющая входное воздействие вычислительному состоянию, $f_c : Z \times V \rightarrow V$ - функция, изменяющая вычислительное состояние в зависимости от выходного воздействия.

Функции f_q и f_c являются математическими эквивалентами набора запросов и набора команд соответственно.

Графическое представление описанной модели приведено на рис. 41.

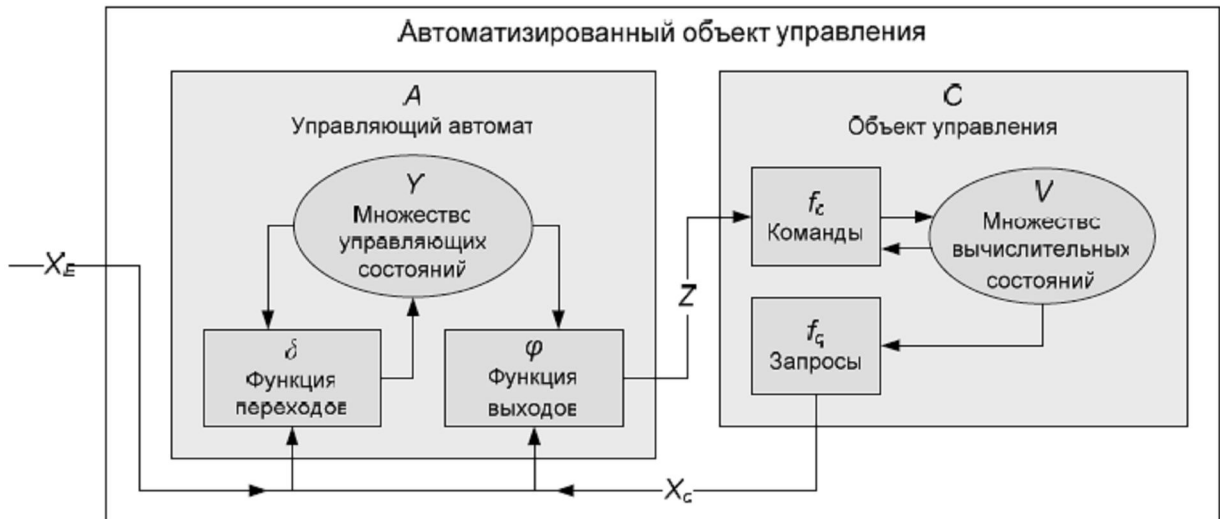


Рис. 41 Автоматизированный объект управления, управляемый автоматом

Правило перехода в новое состояние можно описать так. В общем случае, после получения события автомат в зависимости от своего текущего состояния реагирует (или никак не реагирует) на событие, опрашивает параметры объекта управления, учитывает состояния вложенных автоматов, затем производит последовательность выходных воздействий, включая и те выходные воздействия, которые необходимо совершить при попадании в новое состояние, и только после этого переводится в новое состояние (которое может быть тем же самым в случае петли).

Выходное воздействие первого типа, направленное на объект управления, считается сразу же осуществлённым после его применения. Выходное воздействие второго типа, представляющее собой передачу управления с событием вложенному автомату, считается выполненным только лишь после реакции вложенного автомата на это событие, которая заключается в том, что либо автомат переходит в новое состояние (срабатывает один из переходов вложенного автомата), либо событие игнорируется вложенным автоматом (ни один из переходов сработать не может). До тех пор пока выходное воздействие второго типа не осуществится, работа (процесс перехода в новое состояние) главного автомата приостанавливается.

На рис в качестве примера рассматривается система, состоящая из следующих составных элементов установки предварительного сброса воды: емкости канализационной (Е-6) с погружным насосом для откачки воды, резервуара-отстойника (Р) с автоматически регулируемой задвижкой на входе, насосов перекачки воды. В резервуаре-отстойнике предусмотрен контроль как общего, так и межфазного (вода - нефть) уровней. Логика

работы системы в этом примере для большей наглядности выбрана простейшей. Так при достижении контролируемым параметром уставки срабатывает соответствующий механизм, и система извещает об этом сигнализацией. В системе предусмотрено также дистанционное управления с пульта диспетчера и механизм маскирования измерительного канала, который применяется при диагностике или пуско-наладочных работах. Для погружного насоса предусмотрена возможность ручного управления.

Моделирование данной системы может быть проведено с использованием программных сред StateFlow и Simulink программного пакета MatLab. В начале моделирования методом конечных автоматов необходимо определить все конечные автоматы, т.е. все возможные состояния системы. Далее определяются все переходы между состояниями, характеризующиеся различными событиями и действиями. Для каждого объекта создается отдельный автомат (на рисунке показана структура выделенного автомата). Автоматы могут быть вложенными (рис. 42).

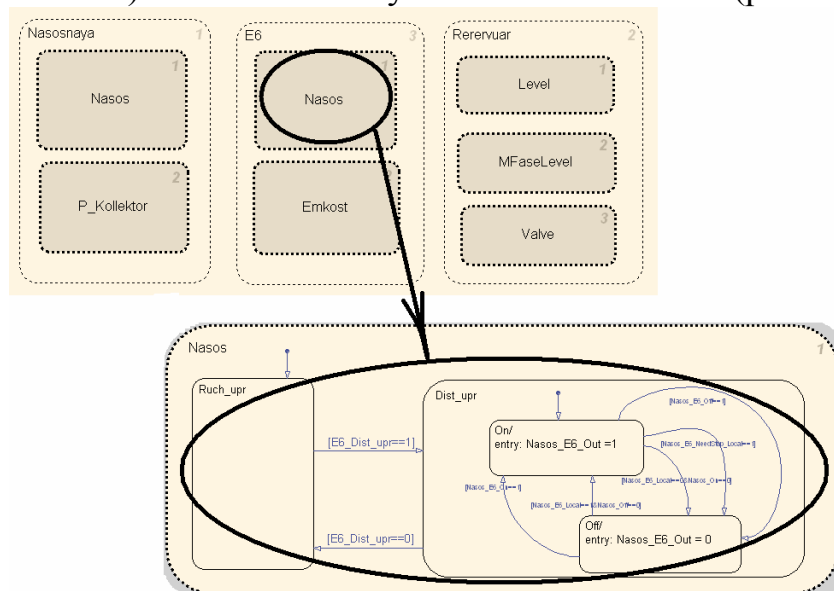


Рис.42 Реализация автоматной модели в StateFlow

В этом примере автомат управления емкостью Е-6 содержит в себе два вложенных автомата. Один автомат управляет погружным насосом. Другой – следит за состоянием уровня воды в емкости. Вложенные автоматы могут включать в себя другие вложенные автоматы, которые являются ниже по уровню в иерархии. Так, автомат погружного насоса включает в себя автоматы ручного и дистанционного управления и т.д.

С помощью этого средства моделирования алгоритмы логического управления АС могут быть отлажены уже на начальном этапе ее проектирования.

Лекция 14. Проектирование алгоритмического обеспечения

Документ *"Описание и логические схемы алгоритмов"* в зависимости от специфики АС допускается разрабатывать как документ *"Описание алгоритмов"*, или как документ *"Логические схемы алгоритмов"*.

По каждому алгоритму документ *"Описание алгоритмов"* содержит разделы:

- Цели управления;
- Стратегия управления (математическое описание);
- Алгоритм решения.

В разделе *"Цели управления"* приводится:

1. Назначение алгоритма;
2. Обозначение документа "Описание алгоритма", с которым связан данный алгоритм (при необходимости);
3. Ограничения на возможность и условия применения алгоритма и характеристики качества решения (точность, время решения и т.д.);
4. Общие требования к входным и выходным данным (форматам, кодам и т. д.), обеспечивающие правильность работы алгоритма.

В разделе *"Стратегия управления (Математическое описание)"* приводится:

1. Перечень принятых допущений и оценки соответствия принятой стратегии управления реальному процессу в различных режимах и условиях работы (например, стационарные режимы, режимы пуска и останова агрегатов, аварийные ситуации и т. д.);
2. Математическое описание процесса;
3. Сведения о научно-исследовательских работах, если они использованы для разработки алгоритма.

В разделе *"Алгоритм решения"* следует приводить:

1. Пошаговое описание логики алгоритма и способа формирования результатов решения с указанием последовательности выполнения функциональных блоков или шагов, расчетных или логических формул, используемых в алгоритме;
2. Правила контроля достоверности входных данных и вычислений;
3. Описание связей между частями и операциями алгоритма;
4. Ссылки на соответствующие схемы автоматизации и блок-схемы;
5. Распечатку детальной конфигурации функциональных блоков, либо текста программы.

Алгоритмом должны быть предусмотрены все ситуации, которые могут возникнуть в процессе решения задачи.

При изложении алгоритма следует использовать условные обозначения реквизитов, сигналов, граф, строк со ссылкой на соответствующие массивы и перечни сигналов.

В расчетных соотношениях (формулах) должны быть использованы обозначения реквизитов, приведенные при описании в других разделах документа.

Алгоритм представляется одним из следующих способов:

1. Графический, в виде схемы;
2. Табличный;

3. Текстовый;

4. Смешанный (графический или табличный) с текстовой частью.

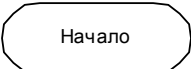
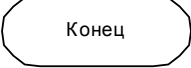
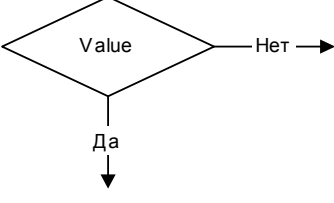
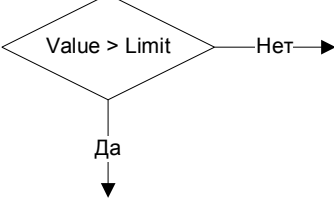
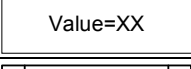
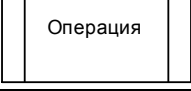
Способ представления алгоритма выбирает Разработчик, исходя из сущности алгоритма, своей собственной квалификации и возможности её формального описания.

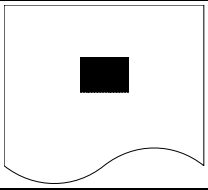


В АС на разных уровнях управления используются различные алгоритмы:

- Алгоритмы пуска (запуска)/ останова технологического оборудования (релейные пусковые схемы).
- Релейные или ПИД алгоритмы автоматического регулирования технологическими параметрами технологического оборудования (управление положением рабочего органа, регулирование расхода, уровня и т.п.).
- Алгоритмы управления сбором измерительных сигналов (алгоритмы в виде универсальных логически завершённых программных блоков помещаемых в ППЗУ контроллеров).
- Алгоритмы автоматической защиты (ПАЗ).
- Алгоритмы централизованного управления АСУ ТП и др..

При представлении алгоритмов пуска (запуска)/ останова технологического оборудования, сбора данных измерений в КП должны использоваться схемы, составленные по правилам ГОСТ 19.002, фрагменты которой представлены в таблице.

Таблица 4

	Точка начала выполнения алгоритма (точка входа)
	Точка завершения выполнения алгоритма (точка выхода)
	Проверка Value: Да - Value не равно нулю Нет - Value равно нулю
	Сравнение Value со значением Limit: Да - условие выполняется Нет - в противном случае
	Присвоение Value определенного значения
	Предопределенная операция, блок алгоритма

	Генерация сообщения оператору (информационное, предупредительное или аварийное)
	Перенаправление на следующую страницу схемы
	Назначение перенаправления с предыдущей страницы схемы

Управление сбором данных

Рассмотрим в качестве примера управление сбором данных и генерацией сообщений о работе насоса. Алгоритм должен обеспечивать:

- сбор данных измерений давления во всасывающем коллекторе с предупредительной сигнализацией значения ниже минимального допустимого;
- генерацию сообщений:
 - «Минимальное предельное давление во всасывающем коллекторе»; «Минимальное допустимое давление во всасывающем коллекторе».
 - По данным контроля осуществляется «Остановка или блокировка пуска насоса».

При выполнении алгоритма используется следующая информация:

- Nasos_P min- Насос. Всасывающий коллектор. Давление минимальное предельное;
- Nasos_P_TE - Насос. Всасывающий коллектор. Давление текущее;
- Reg_Nasos_P_TE- Регистр состояния канала измерения параметра "Насос воды. Всасывающий коллектор. Давление текущее":
 - Reg_Error_ Обрыв питания или К.З.;
 - Reg_L1 - Превышение порога предаварийной сигнализации (минимального допустимого давления во всасывающем коллекторе);
 - Reg_Mask - Маскирование (разрешение/запрещение) сигнала блокировки пуска насоса .

В результате реализации алгоритма формируются следующие данные:

- Nasos_NeedStop- «Останов насоса».

Алгоритм управления может быть описан в виде следующей блок-схемы (рис. 43).

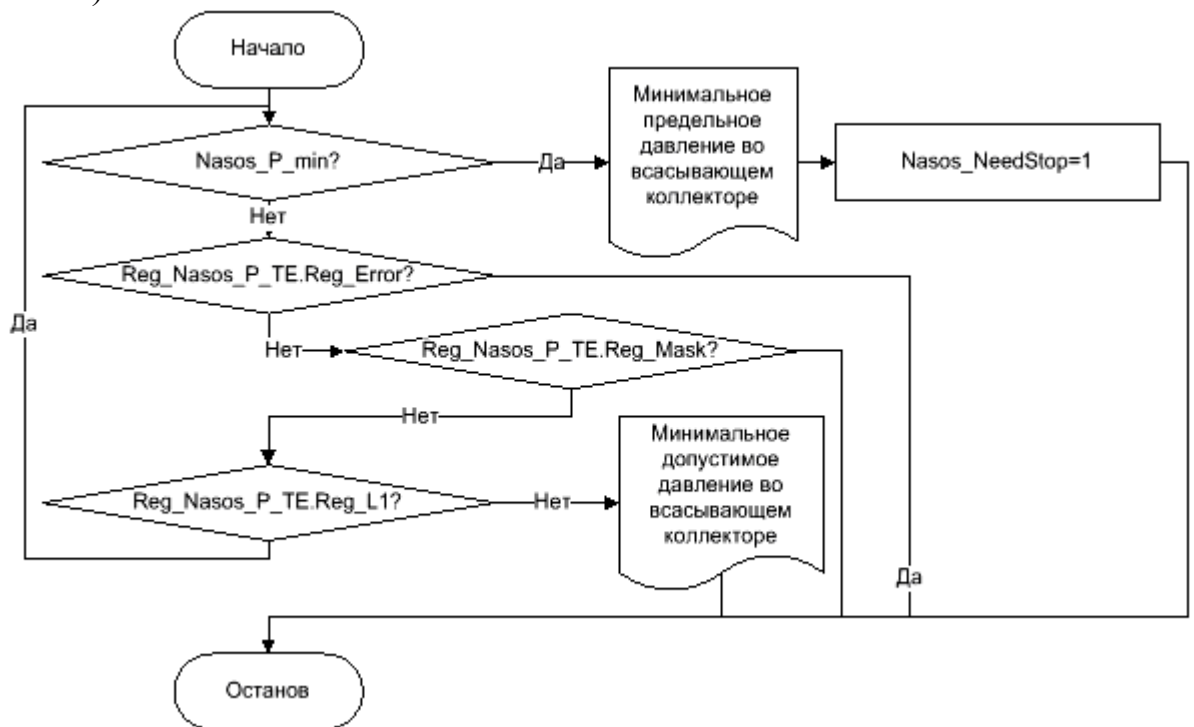


Рис.43 Алгоритм управления насосом

Выбор параметра и канала регулирования. Одним и тем же выходным параметром объекта можно управлять по разным входным каналам.

Например, температуру в печи можно регулировать двумя путями - изменением расхода *воздуха* или *газа* в печь.

Задача состоит в том, какой из входных параметров (каналов) следует выбирать. При выборе нужного канала управления исходят из следующих соображений:

1) Из всех возможных регулирующих воздействий выбирают такой поток вещества или энергии, подаваемый в объект или отводимый из него, минимальное изменение которого вызывает максимальное изменение регулируемой величины, т. е. коэффициент усиления по выбранному каналу должен быть по возможности максимальным. Тогда, по данному каналу, можно обеспечить более точное регулирование.

2) Диапазон допустимого изменения управляющего сигнала должен быть достаточен для полной компенсации максимально возможных возмущений, возникающих в данном технологическом процессе, т. е. должен быть запас по мощности управления в данном канале.

3) Выбранный канал должен иметь благоприятные динамические свойства, т. е. запаздывание τ_d и отношение τ_d / T , где T - постоянная времени объекта, должны быть по возможности меньшими. Кроме того, изменение статических и динамических параметров объекта по выбранному каналу при изменении нагрузки или во времени должны быть незначительными.

4) Выбранный канал регулирования должен быть согласован с технологическим регламентом ведения процесса.

Регулирование параметра технологического процесса

К основным технологическим параметрам, подлежащим контролю и регулированию в технологических процессах нефтегазовой отрасли, относят расход, уровень, давление, температуру, значение рН, показатели качества (концентрация, плотность, вязкость и др.). Рассмотрим в качестве примера *регулирование расхода*. Необходимость регулирования расхода возникает при автоматизации практически любого непрерывного процесса. Поэтому система автоматического регулирования (САР) расхода, предназначенные для стабилизации возмущений по материальным потокам, являются неотъемлемой частью многих систем автоматизации технологических процессов. Часто САР расхода используют как внутренние контуры в каскадных системах регулирования других параметров. Так для обеспечения заданного состава смеси или для поддержания материального и теплового балансов в аппарате применяют системы регулирования соотношения расходов нескольких веществ в одноконтурных или каскадных САР.

Системы регулирования расхода характеризуются двумя особенностями: малой инерционностью собственно объекта регулирования; наличием высокочастотных составляющих в сигнале изменения расхода, обусловленных пульсациями давления в трубопроводе (последние вызваны работой насосов или компрессоров или случайными колебаниями расхода при дросселировании потока через сужающее устройств). Для регулирования этих параметров применяются различные структурные способы. Так в системах регулирования расхода обычно применяют один из трех способов изменения расхода:

- дросселирование потока вещества через регулирующий орган, устанавливаемый на трубопроводе (клапан, шибер, заслонка);
- изменение напора в трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии (например, изменением числа оборотов двигателя насоса или угла поворота лопастей вентилятора);
- байпасирование, т. е. переброс избытка вещества из основного трубопровода в обводную линию.

На рис. 44 приведена схема объекта при регулировании расхода. Обычно таким объектом является участок трубопровода между точкой измерения расхода и регулирующим органом. Длина этого участка определяется правилами установки датчика (сужающих устройств) и регулирующих органов и составляет обычно несколько метров. Динамика канала «расход вещества через клапан — расход вещества через расходомер» приближенно описывается апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием. Время чистого запаздывания обычно составляет доли секунд для газа и несколько секунд — для жидкости; значение постоянной времени — несколько секунд. Воспользовавшись типовой передаточной функцией трубопровода согласно [] для схемы управления насосом посредством дросселирования потока на линии нагнетания передаточная функция участка регулируемого объемного расхода жидкости трубопровода будет:

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{1}{TP + 1} e^{-\tau_0 p},$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \quad \tau_0 = \frac{Lf}{Q}, \quad c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p g}}.$$

Где

$Q_k(p)$ - объемный расход жидкости после клапана;

$Q(p)$ – измеряемый объемный расход жидкости;

γ - удельный вес жидкости ;

L - длина участка трубопровода между точкой измерения и точкой регулирования;

d - диаметр трубы;

f - площадь сечения трубы;

Δp - перепад давления на трубопроводе;

τ_0 - запаздывание;

T - постоянная времени;

Пусть жидкость, перекачиваемой насосом в трубопроводе - нефть.

Удельный вес нефти - 800 кг/с.

Длина трубопровода 2 м.

Диаметр трубы- 40 мм

Расход 40 л/мин.

Перепад давления -1 МПа

В соответствии с расчетами будет: $f = 0,001256$, $c^2 = 0,0043$, $T = 0,0146$ сек, $\tau_0 = 2$ сек.

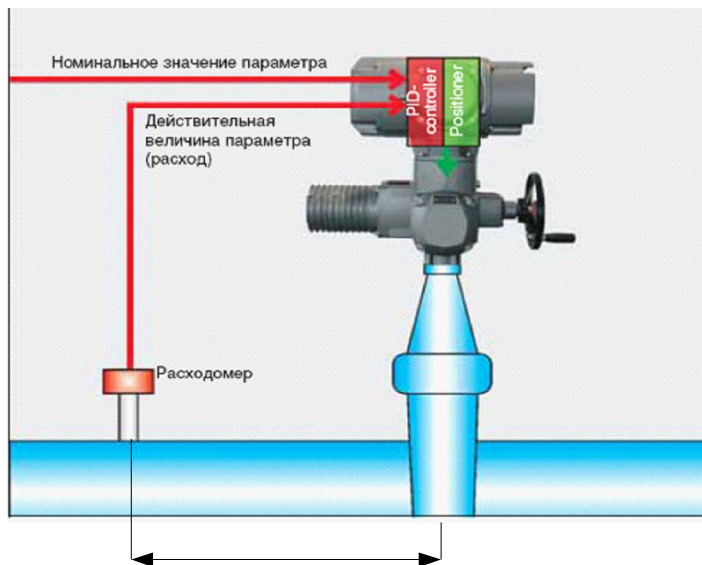


Рис.44 Схема объекта управления (часть трубы)

Приближенная оценка чистого запаздывания и постоянных времени элементов контура регулирования расхода показывает (рис. 45):

- современные первичные преобразователи расхода, построенные на принципе динамической компенсации, можно рассматривать как усилительные звенья (2);
- исполнительное устройство (5) может быть описано апериодическим звеном первого порядка, постоянная времени которого составляет несколько секунд;
- динамика импульсных трубок регулятора (4), связывающих средства контроля и регулирования, может быть описана апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием, параметры которого определяются длиной трубок и обычно лежат в пределах секунд.

Структурная схема САР регулирования расхода приведена на рис.46

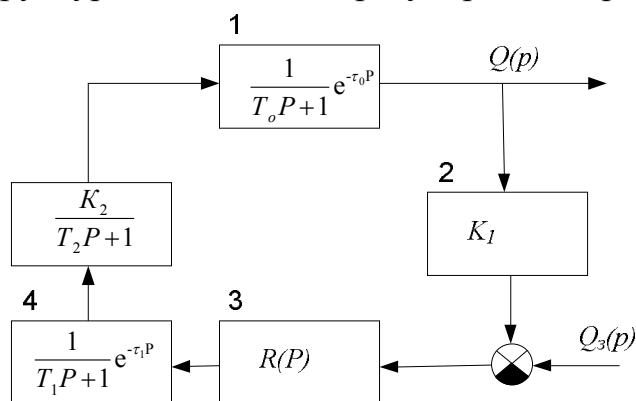


Рис.45 Структурная схема автоматического регулирования расходом:

1-объект управления, 2-датчик, 3- регулятор, 4- импульсные линии пневмопривода, 5- исполнительное устройство.

В проектных документах необходимо обосновать и выбрать такой тип алгоритм регулятора (двухпозиционный, трехпозиционный, многопозиционный релейный регулятор, аналоговый, цифровой ПИД, самонастраивающийся регулятор), который при минимальной стоимости и максимальной надежности обеспечивал бы заданное качество регулирования технологического параметра (показатель колебательности, точность позиционирования, поддержания заданной температуры, уровня и т.п.).

Для того, чтобы выбрать и обосновать выбор типа алгоритма регулятора, определить его настройки необходимо знать:

- статические и динамические характеристики объекта управления, датчика и исполнительного органа;
- требования к качеству процесса регулирования;
- характер возмущений, действующих на регулируемый процесс.

Для регулятора следует задаться его статической характеристикой. Регулирующие клапаны выпускаются с линейной (рис.46,а), и равнопроцентной (рис.46,б) пропускными характеристиками.

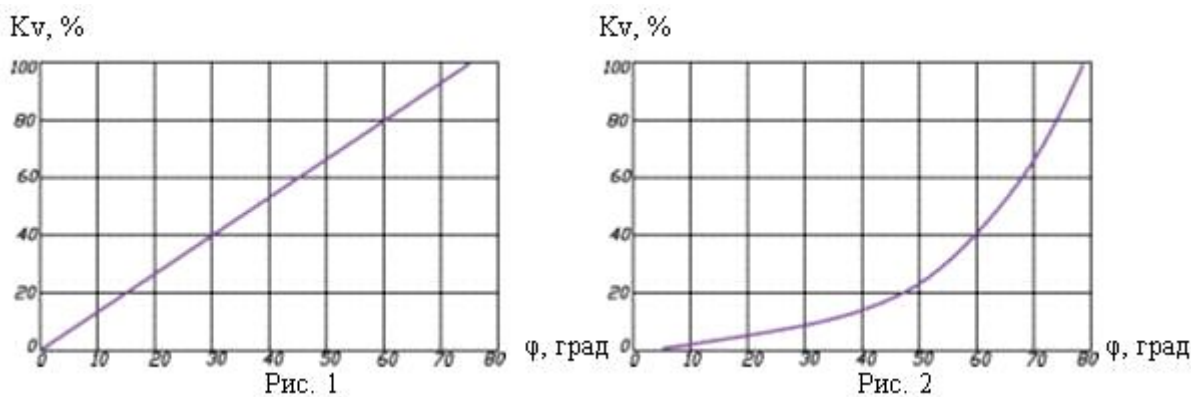


Рис. 46 Статическая характеристика регулирующего клапана

При линейном - приращение пропускной способности dK_v пропорционально сумме угла поворота $d\varphi$:

$$\frac{dK_v}{d\varphi} = h.$$

При равнопроцентном - отношение приращения пропускной способности dK_v к текущему значению пропускной способности пропорционально сумме угла поворота $d\varphi$:

$$\frac{dK_v}{d\varphi} = K_v \cdot h.$$

Выбор типа алгоритма регулятора обычно начинается с простейших двухпозиционных алгоритмов и может заканчиваться самонастраивающимися алгоритмами.

Примечание. Перед выбором закона регулирования необходимо уточнить сведения по объекту управления. Так, например, по требованиям технологического регламента некоторые объекты не допускают применения релейного управляющего воздействия.

На этапе предварительных расчетов считается, что в системе с запаздыванием, минимальное время регулирования $t_{p\min} = 2\tau$.

Известно, что на динамику регулирования (в частности, на время регулирования t_p) наибольшее влияние оказывает величина отношения запаздывания к постоянной времени объекта τ/T . Эта величина часто характеризует собой степень трудности регулирования объекта.

При определении минимально возможного времени регулирования t_p для различных законов регулирования и типов регуляторов при их настройке можно руководствоваться рекомендациями для выбора закона регулирования, приведенными в таблице выбора регулятора (табл. 4).

В этой таблице приведены рекомендации, исходя из величины отношения запаздывания τ к постоянной времени объекта T .

Если $\tau/T < 0,2$, то можно выбрать релейный, непрерывный или цифровой регуляторы.

Если $0,2 < \tau/T < 1$, то рекомендуется непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор.

Если $\tau/T > 1$, то выбирают специальный цифровой регулятор с упреждением, который компенсирует запаздывание в контуре управления. Однако этот же регулятор рекомендуется применять и при меньших отношениях τ/T .

Таблица 5. Таблица выбора регулятора

Пределы отношения τ/T	Соотношение t_p/τ	Характеристика объекта		Закон регулирования и тип регулятора
		по запаздыванию и инерционности	по степени регулируемости	
$0 < \tau/T < 0,05$		Без запаздывания	Очень хорошо регулируемый	Релейный, непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,05 < \tau/T < 0,1$		С большой инерционностью и с малым запаздыванием	Очень хорошо регулируемый	Релейный, непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,1 < \tau/T < 0,2$		С существенным транспортным запаздыванием	Хорошо регулируемый	Релейный, непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,2 < \tau/T < 0,4$		С существенным транспортным запаздыванием	Еще регулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,4 < \tau/T < 0,8$		С существенным транспортным запаздыванием	Трудно регулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,8 < \tau/T < 1$		С большим транспортным запаздыванием	Очень трудно регулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$\tau/T > 1$		С большим транспортным запаздыванием	Очень трудно регулируемый	Цифровой регулятор с упредителем
	$t_p/\tau \geq 6,5$			Непрерывный или цифровой П-регулятор
	$t_p/\tau \geq 12$			Непрерывный или цифровой ПИ-регулятор
	$t_p/\tau \geq 7$			Непрерывный или цифровой ПИД-регулятор

Существуют объекты с самовыравниванием и объекты без самовыравнивания. Объекты регулирования с отношением $t_p/\tau < 0,2$ устойчивы и обладают самовыравниванием.

На параметры объекта (в частности, на величину запаздывания) значительное влияние оказывает взаимное расположение исполнительных органов (например, нагревательного элемента) и первичного преобразователя (датчика). Наличие запаздывания объекта резко ухудшает динамику замкнутой системы.

Для каждого объекта управления необходимо применять регуляторы с соответствующим алгоритмом и законом регулирования.

В ПИД-алгоритмах наиболее часто используются П- ПИ- ПИД- законы регулирования.

Передаточная функция П-алгоритма: $W_{\text{П}}(s) = K_1$.

Модуль, реализующий этот тип алгоритма, вырабатывает управляющий сигнал пропорционально величине ошибки (чем больше ошибка E , тем больше сигнал Y).

Исходя из соотношения t_p/τ , наибольшее быстродействие обеспечивает П-закон регулирования. Однако, если коэффициент усиления П- алгоритма K_1 оказывается небольшим, а это чаще всего это наблюдается в системах с запаздыванием, то такой регулятор не обеспечивает высокой точности регулирования, так как в этом случае велика величина статической ошибки.

Если $K_1 \geq 10$, то П-алгоритм приемлем, а если $K_1 < 10$, то рекомендуется введение в закон управления интегральной составляющей.

ПИ-алгоритм – это пропорционально-интегральный тип. Он представляет собой сочетание П- и И- составляющих.

Передаточная функция ПИ-алгоритма: $W_{\text{ПИ}}(s) = K_1 + K_2 / s$. Он является наиболее распространенным на практике алгоритмом. Он обладает следующими достоинствами:

- 1) обеспечивает нулевую статическую ошибку регулирования;
- 2) достаточно прост в настройке, т.к. настраиваются только два параметра (коэффициент усиления K_1 и постоянная времени интегрирования $T_i = 1/K_2$). При таком алгоритме управления имеется возможность оптимизации величины отношения $K_1/T_i \rightarrow \min$, что обеспечивает управление с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования;
- 3) обладает малой чувствительностью к шумам в канале измерения (в отличие, например, от ПД-типа).

ПИД-алгоритм – это пропорционально-интегрально-дифференциальный тип.

Передаточная функция ПИД- алгоритма: $W_{\text{ПИД}}(s) = K_1 + K_2/s + K_3s$.

Этот алгоритм используется довольно часто, поскольку он сочетает в себе достоинства всех трех типов. Однако следует учитывать то, что эти достоинства реализуются только при его оптимальных настройках, когда настраиваются все три параметра K_1 , K_2 и K_3 .

С увеличением запаздывания в САР резко возрастают отрицательные фазовые сдвиги, что снижает эффект действия дифференциальной составляющей алгоритма.

Кроме этого, наличие шумов в канале измерения в системе с ПИД-регулятором приводит иногда к значительным случайным колебаниям управляющего сигнала регулятора, что увеличивает дисперсию ошибки регулирования и износ исполнительного механизма.

Поэтому общие рекомендации таковы: для объектов регулирования с относительно малым уровнем шумов и величиной запаздывания $\tau > 0,2T$ следует выбирать ПИД- алгоритм. Для таких объектов ПИД- алгоритмы позволяют обеспечить хорошее качество регулирования, достаточно малое время выхода на режим и невысокую чувствительность к внешним возмущениям.

Однако следует принимать во внимание то, что при неточном задании коэффициентов настройки ПИД- алгоритм может давать худшие показатели, чем двухпозиционный релейный регулятор и даже перевести объект управления в режим автоколебаний.

Для типовых модулей (программ ПЛК), реализующим П-, ПИ-, ПИД- алгоритмы, известны простейшие аналитические и табличные методы настройки.

Лекция 15. Проектирование информационного обеспечения

Схема информационных потоков в АС в проектной документации может быть представлена в виде, показанном на рис.47.

Здесь выделены основные уровни хранения информации в АС. На верхнем уровне информация поступает из БД (базы данных) КИС (корпоративной информационной системы) и БД АСУ ТП. Эта информация для специалистов структурируется наборами экранных форм АРМ. Экранные формы должны быть сориентированы на информационные потребности конкретных пользователей (логистов, технологов, мастеров и др.).

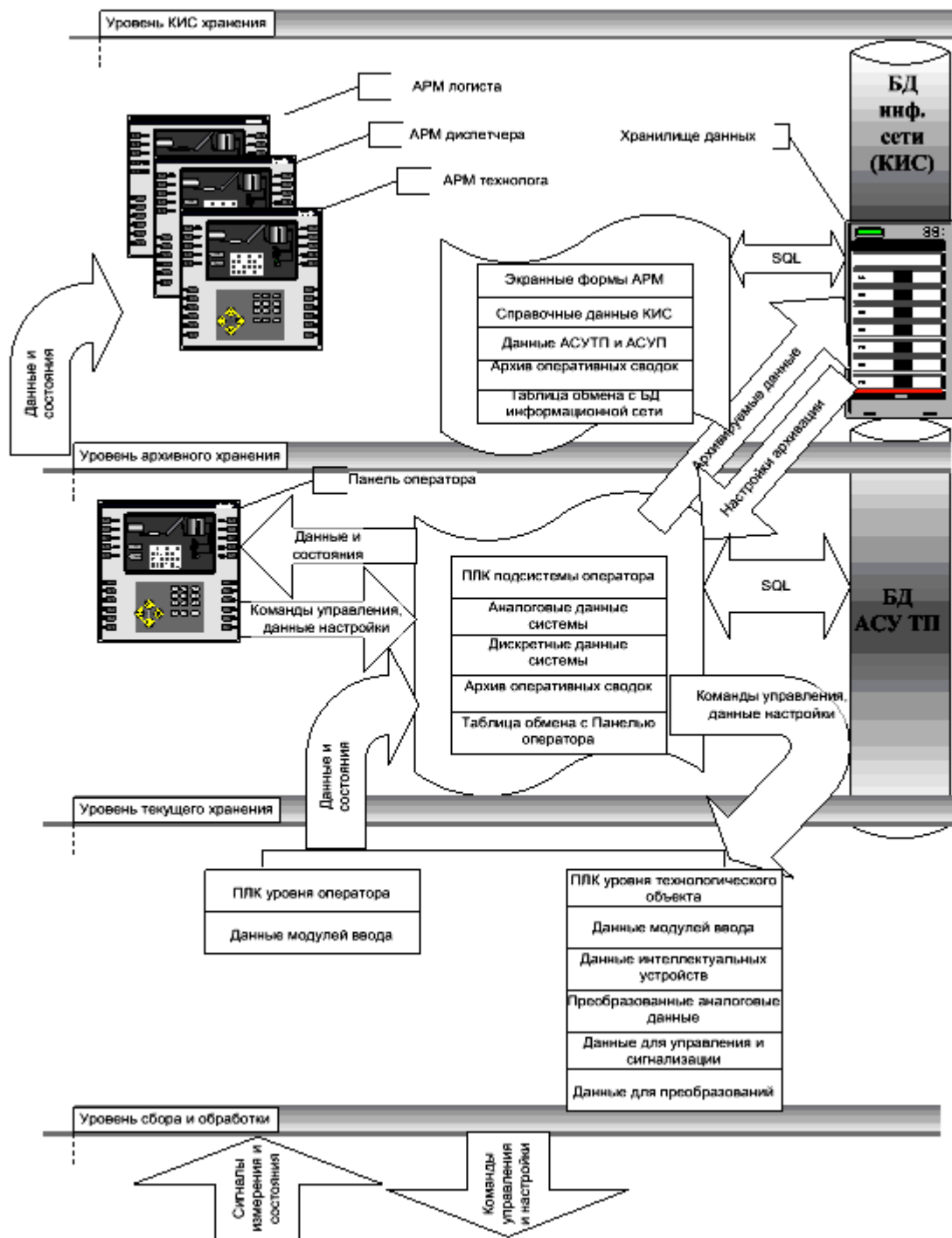


Рис.47. Схема информационных потоков в АС

Историческая подсистема АС должна сохранять информацию изменений технологических параметров для сигналов, с заранее определенной детальностью, например:

- все поступающие события – за 3 месяца;
- сжатую историю – за 6 месяцев;
- события – все в течение 6 месяцев.

Сохранение данных в базе данных происходит при помощи модуля истории. Данные, хранящиеся более 3 месяцев, прореживаются для обеспечения необходимой дискретности.

Буферная база данных между КИС и АСУ ТП используется как в качестве приемника, запрашивающим данные от внешних систем, так и их пассивным источником. Можно сказать, что она выполняет роль маршрутизатора информационных потоков от систем автоматики и телемеханики к графическим экранным формам АРМ-приложений, системам коммерческого учета и планирования производства КИС. При этом возникают общие для систем хранения и обработки информационных данных задачи: выполнение функциональных операций; поддержание целостности и эквивалентности данных, а также специализированные – взаимодействие с подсистемой информационного обмена и т.п.

Для решения этих задач на проектном этапе выполнения работ широко применяются концептуальное (инфологическое) проектирование базы данных. Цель такого проектирования заключается в представлении данных в понятном виде для всех участников проекта. Так АС среднего размера может насчитывать сотни, тысячи точек взаимодействия с техническим процессом. Обычно это измеряемые величины или бинарные входные-выходные данные типа «включено/ выключено» или «норма/ авария». Измеряемые данные объединяются в сущности. Атрибутное описание этих сущностей и графическое представление связей между сущностями придают прозрачность и структурированность данных обрабатываемых в SCADA- системе.

Так проектируемая база данных для АСУ ТП должна содержать структуру для обработки, прежде всего, следующей информации:

- параметры всех датчиков и исполнительных механизмов;
- параметры для расчета производных величин;
- возможные события и соответствующие им реакции управляющих воздействий.

Для регуляризации этой информации в БД используются таблицы и поля записи. Так поля записей канала измерений обычно содержат:

- код источника информации;
- название/описание источника информации;
- тип;
- адрес (канал/сообщение);
- код события;
- код аварии;
- интервал выборки;
- первичное (необработанное значение контролируемого параметра);
- преобразованное значение.

Для преобразования первичной информации от объектов с аналоговыми сигналами в рабочие значения необходимы дополнительные параметры:

- масштабные коэффициенты;
- единицы измерения;
- минимальные/максимальные значения.

Эти поля в проекте могут быть сведены в таблицу, пример которой приведен ниже (табл. 6).

Таблица 6. Таблица и поля записей источника информации АСУ ТП

Имя поля	Значение	Коментарий
code	T439	Код
description	Primary circuit Temp.in	Описание (первичная цепь, входная температура)
type	AI	Тип: аналоговый сигнал
address	7_1_221	Адрес
Event code	0	Код события
Alarm code	3	Код аварий
Sample (sec0	30	Интервал выборки
Raw value	3228	Первичное значение
Converted value	78.8	Преобразованное значение °C
Alarm state	yes	Аварийное состояние
coefficient	0.0244	Коэффициент преобразования
units	°C	Единица измерения
min	50.0	МИН значение
max	75.0	МАКС значение

В первой колонке таблицы указано имя поля. Системы управления базами данных, применяемые в SCADA, требуют, чтобы имя полей представлялось латинскими буквами. Каждое поле в зависимости от идентификатора имеет свое значение.

Код используется для однозначной идентификации объекта в БД. Он служит как ключ и указатель соответствующей записи.

Название (описание) – это мнемонический текст, который применяется для идентификации устройства при выводе на экран монитора.

Тип показывает, является ли объект входом или выходом и определяет характер информации (аналоговая, дискретная, счетчик и т.п.).

Адрес. Объект должен быть привязан к определенному входному каналу и позиции во входящих сообщениях от периферийных устройств (7_1_221). Это может означать 7 – канал, 1 – устройство, 221 – точка измерения.

Код события показывает, инициирует ли рассматриваемый объект запуск некоторой автоматизированной функции при изменении значения.

Код аварии показывает, должно ли некоторое состояние пониматься как аварийное. Код аварии структурируется для индикации степени серьезности аварийной ситуации.

Аварийные сообщения могут быть просто предупреждениями или могут указывать на нештатную ситуацию, требующую немедленного внимания и реакции.

Интервал выборки, масштабные коэффициенты, предельные и аварийные значения необходимы для первичной обработки сигналов.

Для расчета коэффициента преобразования можно использовать следующую методику. Если считать, что максимальное значение температуры равно 100 °С и этот сигнал преобразуется 12-разрядным АЦП, у которого 0 в двоичном исчислении соответствует 0 °С, а 100 °С соответствует 4095 бит, то коэффициент пересчета будет равен $100/4096 = 0.0244$ °С/бит.

Абстрактное описание и отделение результатов измерений от методов, с помощью которых они получены, полезны в тех случаях, когда некоторые характеристики этих величин могут меняться. В результате нет необходимости модифицировать систему управления. Достаточно лишь переопределить параметры преобразования, хранящиеся в БД.

Производные величины. Для любой АС идеальной является ситуация когда все параметры технологического процесса можно непосредственно измерять с помощью датчиков. На практике это часто бывает затруднительным или просто невозможно измерять некоторые из необходимых переменных. Поэтому в АС могут вычисляться производные переменные на основе тех, которые измеряются непосредственно. Как только поступают новые данные хотя бы для нескольких измеряемых величин, производные величины необходимо пересчитывать заново.

Доступ к информации, содержащейся в БД, выполняется с помощью трех основных операций, которые могут комбинироваться операциями выбора, проекции и сортировки. Операция по извлечению информации из БД называется запросом. Обычно для каждой конкретной ситуации интерес может представлять лишь очень ограниченное число выборок из БД. Поэтому заранее можно определить небольшой набор стандартных запросов. Такие запросы называются протоколами (это обычные запросы, в которых предопределены операции проекции и сортировки и перед запуском требуется указать только конкретные параметры). Примерами протоколов могут быть аварийные запросы. Они позволяют быстро фиксировать в специальном файле журнале аварий с указанием времени события. Другим протоколом является протокол технического обслуживания (замена изношенных инструментов, калибровка, контроль смазки и др.)

1. *Разработка экранных форм АС.*

При разработке графических решений экранных форм АС в нефтегазовой отрасли используются следующие нормативные документы:

2. РД 50-34.698-90. ЕСПД. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.
3. Руководства по дизайну пользовательского интерфейса от компании Microsoft.
4. РД 153-39.4-087-01 «Автоматизация и телемеханизация

магистральных нефтепроводов. Основные положения».

5. РД 153-39.4-056-00 «Правила технической эксплуатации МН».

6. Регламент по технологическому управлению и контролю за работой МН, 2003.

7. Регламент «Организации контроля за нормативными параметрами МН и НПС в операторных НПС, диспетчерских пунктах РНУ (УМН) и ОАО МН», 2002.

8. Регламент расчета полезной емкости, емкости для товарных операций и разработки технологических карт на резервуары и резервуарные парки, 2004.

9. Регламент по подключению объектов нефтедобычи к магистральным нефтепроводам.

Экранные формы можно считать масками, через которые пользователь рассматривает поля непрерывной записи технологических точек наблюдения и управления. Маска скрывает от пользователя ненужные ему в данный момент поля. При проектировании следует создавать экранные формы, в которых поля размещены по полю экрана в удобном ему порядке. На рабочем экране могут быть интегрированы такие элементы управления/мониторинга как надписи, командные кнопки, селекторные кнопки, контрольные индикаторы, списки, иллюстрации и т.д. Формы можно раскрасить любыми доступными красками, использовать для оформления растры и графические элементы (линии и прямоугольники).

Дерево экранных форм АС может быть представлено в виде, показанном на рис.48.

Представленные в этом дереве экранные формы системы управления выполняют следующие общие функции:

- вход в систему;
- рабочий режим экрана;
- вызов окна системных сообщений;
- навигацию экранных форм;
- обработку сигнализации;
- формирование динамических атрибутов экранной формы;
- управление графическими объектами окон (мнемосхем, технологического оборудования и др.);
- настройку режимов работы;
- представление трендов технологических параметров;
- руководство действиями оператора;
- печать экрана;
- поддержку действий диспетчера при управлении и контроле таких как
 1. отчет о процессе;
 2. отчет исторических сообщений;
 3. отчет защит;
 4. голосовые сообщения;

5. поддержку одновременной работы нескольких мониторов и экранных форм;
6. отчет о техобслуживании системы;
7. обзор состояния технологического процесса в целом;
8. поддержку работы одновременных сигнализаций нескольких объектов;
9. поддержку опций помощи.

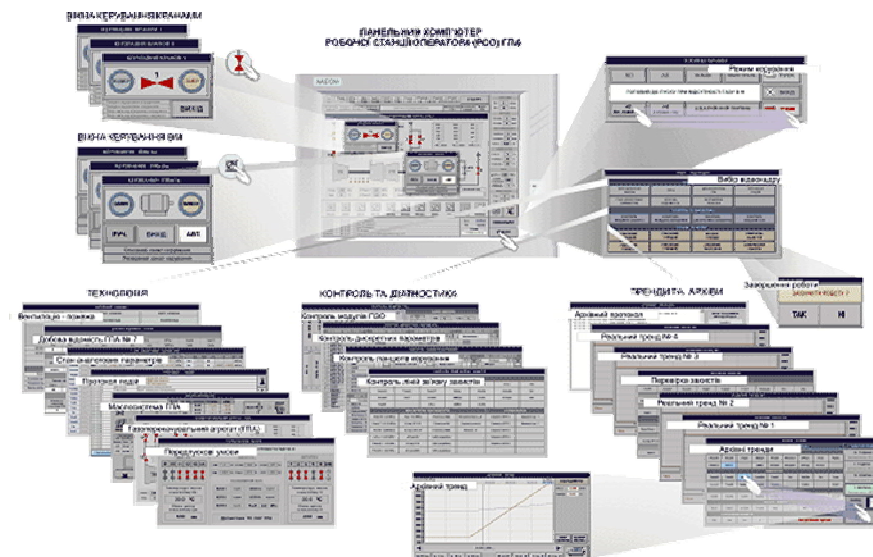


Рис. 48 Дерево экранных форм АС

Самый важный вопрос проектирования экранных форм — как сделать, чтобы они были интуитивно понятными и могли, не утомив пользователя, провести его по тому, или иному рабочему процессу.

Общие принципы проектирования экранных форм:

- Все экранные формы должны иметь уникальные и информативные заголовки.
- Все поля необходимо снабдить надписями; при вызове справочной с системы должны быть доступны подробные описания полей.
- Курсор по умолчанию, как правило, должен перемещаться слева направо, а затем сверху вниз.
- Обязательные элементы должны находиться в верхней части экрана. Элементы на экране необходимо упорядочить по степени важности.
- Экранная форма должна обнаруживать ошибочно введенные данные и сообщать о них как можно раньше, а не откладывать проверку (если речь не идет об экранных формах, работающих по низкоскоростной сети, например по коммутируемой линии).
- Экранная форма должна использовать непротиворечивые методы блокировки, обнаруживать и разрешать конфликты.

- Экранная форма не должна состоять из множества страниц.
- Пользователи должны вводить код только один раз и не должны ничего запоминать или записывать при переходе от одной экранной формы к другой.
- Использование специальных эффектов следует свести к минимуму.
- Если в проекте предусмотрено придание экранным формам и отчетам профессионального вида, необходимо обратиться к специалисту-дизайнеру. Дизайнер может выполнить эту работу лучше, чем проектировщики, аналитики и пользователи, и гораздо лучше, чем программисты (даже если этот дизайнер не может писать рекурсивные структуры на C++).
- Размещение на экранной форме дополнительных элементов за счет уменьшения размера символов допустимо только в ограниченной степени.
- Большинство пользователей гораздо лучше справляются с вертикальной, а не с горизонтальной прокруткой, особенно если при прокрутке вправо из левой части экрана исчезают важные данные и условные обозначения.

Для отображения сигнальной информации могут использоваться специальные цвета (таблица)

Таблица 7 Цвета сигнальных световых индикаторов (ламп) и их значение в зависимости от режима работы (состояния) оборудования

Цвет	Значение	Пояснение	Действие оператора	Примеры применения
Красный	Срочный	Опасные условия	Немедленное действие для разбора опасной ситуации (например, срочная остановка)	Давление (температура) вне пределов безопасности. Падение напряжения. Отключение. Перерегулирование срочной остановки
Желтый	Ненормальный	Ненормальный режим. Неминуемая критическая ситуация	Наблюдение и/или вмешательство	Давление (температура) сверх нормального предела. Срабатывание защитного устройства
Зеленый	Нормальный	Нормальный режим	По усмотрению	Давление (температура) в пределах нормы
Голубой	Обязательный	Сигнал о ситуации, которая	Обязательное действие	Запрос о вводе предварительно

Цвет	Значение	Пояснение	Действие оператора	Примеры применения
		требует действий оператора		выбранных значений
Белый	Нейтральный	Другие ситуации могут использоваться, если есть сомнение в применении цветов кр., жел., зел., голуб.	Наблюдение	Общая информация

Для представления элементов управления используются шаблоны []. Так для насосно- перекачивающей станции шаблон управления может выглядеть так как это показано на рис.49.

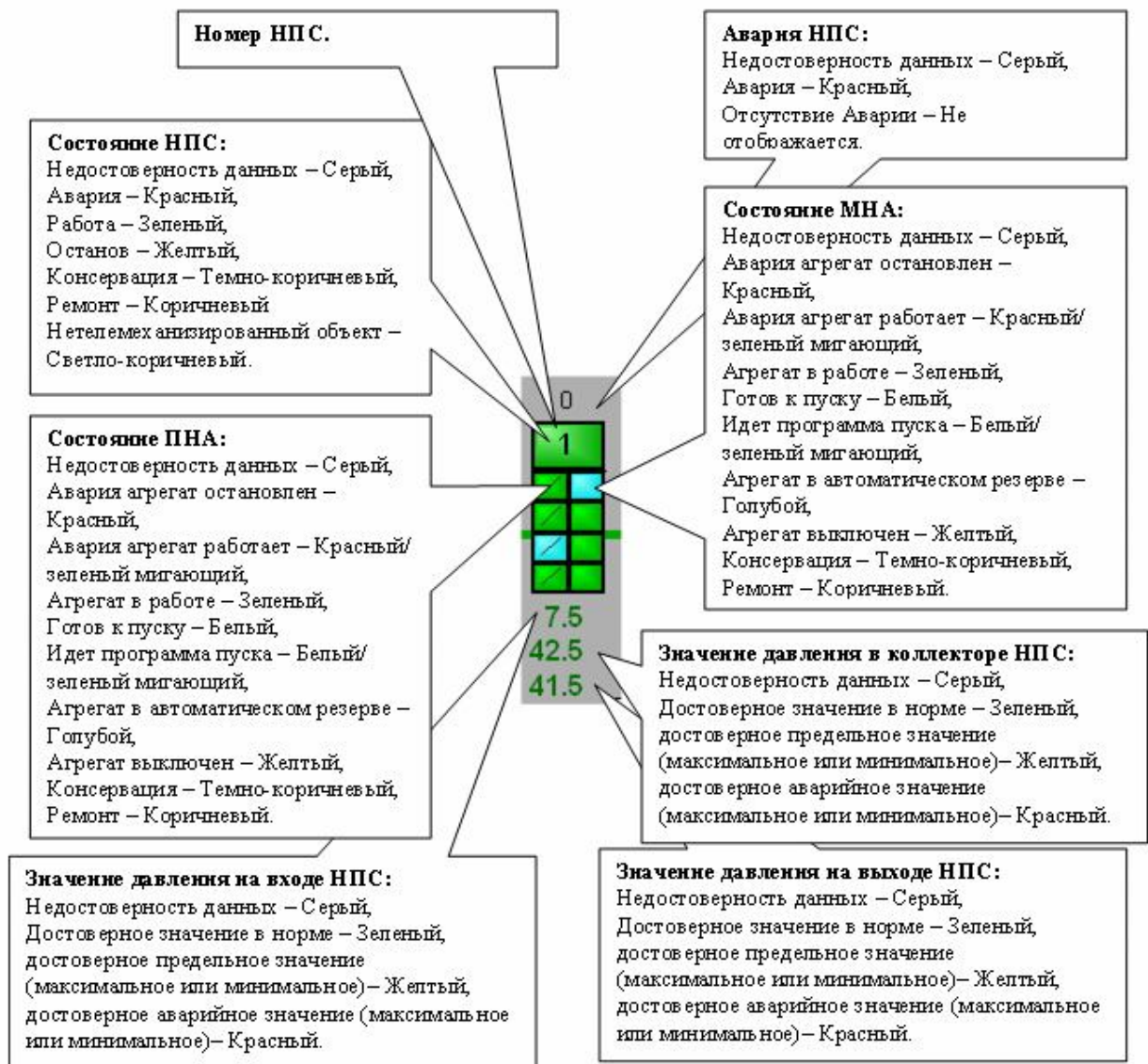


Рис. 49 Шаблон экрана управления насосной станцией

Лекция 16. Принципиальные схемы автоматизации

Принципиальные электрические схемы (ПЭС) определяют полный документированный состав приборов, аппаратов и устройств, а также связей между ними, которые обеспечивают решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Они служат для изучения принципа действия системы и необходимы как при выполнении наладочных работ, так и в эксплуатации. Кроме того, на основании принципиальных схем разрабатываются другие документы проекта: монтажные схемы щитов и пультов, схемы внешних соединений и т. п.

На принципиальных электрических схемах все аппараты (реле, пускатели, переключатели) изображают в отключенном состоянии. При необходимости изображения какого-нибудь аппарата во включенном состоянии это оговаривается на поле чертежа.

Электрические схемы выполняют в соответствии со стандартами ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.702-85 на отдельные установки и участки автоматизированной системы (например, схема управления насоса, схемы регулирования температуры реактора и др.). В эти схемы включают элементы схемы, устройства и взаимосвязи между ними.

Элемент схемы - составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части (реле, трансформатор, резистор, диод и т. д.).

Устройство - совокупность элементов, выполняющая определенную функцию и представляющая собой единую конструкцию (блок, прибор, плата и т. д.). Линия взаимосвязи - отрезок линии, указывающий на наличие связи между элементами и устройствами.

Условные графические обозначения элементов электрических схем регламентируются рядом стандартов и обычно совпадают с условными обозначениями, принятыми в мировой практике. Однако иногда, особенно в электросхемах на импортное оборудование, встречаются графические изображения, отличные от российских стандартов. Устройства (за исключением исполнительных механизмов) показывают упрощенно в виде прямоугольников. При этом в кружках, располагаемых по контуру прямоугольника, показывают обозначения входных и выходных линий связи и питания. Допускается не приводить на принципиальных схемах обозначения выводов электроаппаратов, если они приведены в технической документации на щиты пульты. Буквенно-цифровые обозначения элементов и устройств на электрических схемах регламентированы ГОСТ 2.710-81.

Все технические средства, отображенные на принципиальной схеме, должны быть однозначно определены и записаны в перечень элементов и устройств по форме в соответствии с ГОСТ 2.702-75.

Перечень может быть выполнен либо на поле чертеже, либо отдельным документом. Часто элементы записывают группами, соответственно местам их установки.

Чтение схемы обычно начинают с основной надписи, располагаемой в нижнем правом углу листа. Здесь указывается наименование объекта,

название изделия, дата выпуска чертежа и др. Затем необходимо ознакомиться с таблицей перечня элементов, отраженных на схеме, с различными пояснениями и примечаниями. Все это позволяет установить вид и тип данной схемы, ее построение и связь с другими документами.

В принципиальных электрических схемах элементы могут изображаться двумя способами: совмещенным и разнесенным.

При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу.

При разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.

При совмещенном способе все части каждого прибора, технические средства автоматизации и электрического аппарата располагают в непосредственной близости и заключают в прямоугольный, квадратный или круглый контур, выполненный сплошной тонкой линией.

Разнесенный способ изображения является преимущественным при выполнении схем автоматизации, т.к. при этом способе отчетливо видны все электрические цепи, что облегчает чтение схем. В этом случае составные части приборов, аппаратов, технические средства автоматизации располагают в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи были изображены наиболее наглядно. Принадлежность изображаемых контактов, обмоток и других частей к одному и тому же аппарату устанавливается по позиционным обозначениям, проставленным вблизи изображений всех частей одного и того же аппарата.

Для облегчения чтения принципиальных электрических схем используются следующие приемы:

- а) нумеруются все возможные цепи;
- б) под обозначением реле помещается табличка с указанием мест расположения контактов;
- в) вблизи позиционных обозначений у изображения контакта указывается номер цепи, в которую включена соответствующая обмотка.

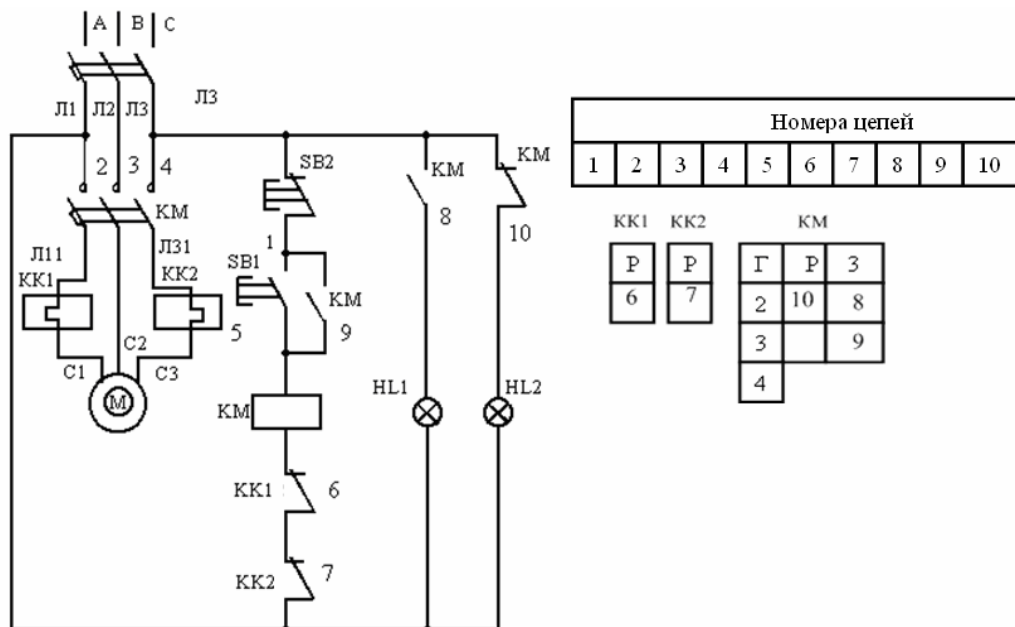


Рис. 50 Принципиальная схема, выполненная разнесенным способом

На схеме (рис.50), выполненной разнесенным способом, приведены три таблички, которые размещены под обозначением реле КК1, КК2, КМ. В табличках под КК1 и КК2 нет столбцов Г (главные) и З (замыкающие), т.к. ни главных, ни замыкающих контактов тепловые реле не имеют, а в столбцах Р (размыкающие) указано 6 и 7, т.к. контакты КК1 и КК2 введены в цепь 6 и 7 соответственно. В табличке под обмоткой КМ в столбце Г имеются цифры 2, 3 и 4. Это говорит о том, что магнитный пускатель своими главными контактами разрывает силовые цепи 2,

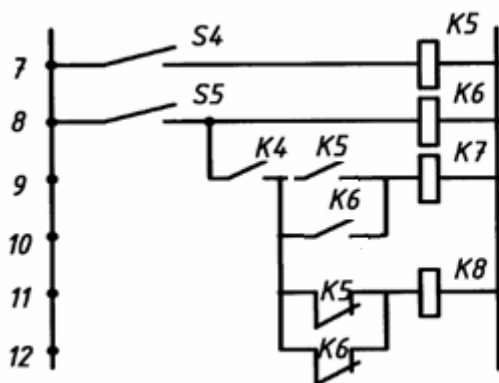


Рис. 51 Схема релейной автоматики

3 и 4. В столбце З два адреса: 8 и 9, в столбце Р – адрес 10 и одна свободная клетка. Это означает, что пускатель имеет два замыкающих и два размыкающих контакта, причем один размыкающий контакт свободен. Схемы релейной автоматики рекомендуется выполнять строчным способом: условные графические обозначения устройств и их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – рядом, в виде параллельных горизонтальных или вертикальных строк. Строки нумеруют арабскими цифрами (рис. 51).

Иногда на ПЭС показывают такие устройства, как приборы, регуляторы и т.п., имеющие собственные принципиальные схемы. В этом случае на ПЭС

эти устройства изображаются упрощенно, т.е. показываются только входные и выходные цепи и цепи подачи питающего напряжения.

В ПЭС условные графические обозначения составных частей электрических аппаратов, приборов и ТСА, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – либо одну под другой (при этом образуются параллельные строки), либо вертикально одну за другой.

Линии связи между аппаратами показывают полностью, но в некоторых случаях они могут быть оборваны; обрывы линий в этом случае заканчиваются стрелками.

Автоматизация большинства объектов неразрывно связана с управлением технологическими механизмами с электроприводами. Такими механизмами являются насосы, вентиляторы, задвижки, клапаны и т.п., а в качестве электроприводов используются в основном реверсивные и нереверсивные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Схемы управления таких устройств обычно строятся на базе релейно-контактных элементов.

Как правило, схема управления технологическим оборудованием (электроприводом исполнительного устройства) предусматривает местное, дистанционное и автоматическое управление.

Местное управление осуществляется оператором с помощью органов управления, например, кнопочных постов, расположенных в непосредственной близости от механизма. Дистанционное управление осуществляется со щитов и пультов объекта автоматизации. При этом технологические механизмы находятся вне поля зрения оператора и их положение контролируется по сигналам “Включено” – “Отключено”, “Закрыто”– “Открыто”. Автоматическое управление обеспечивается с помощью регуляторов, а также различных программных устройств, предусматривающих автоматическое управление электроприводом с соблюдением заданных функциональных зависимостей (одновременности или определенной последовательности включения).

Вид управления (ручной или дистанционный) электроприводом выбирается с помощью переключателя цепей управления (переключателя вида управления).

Для получения начальных навыков по проектированию принципиальных схем выберем типовую принципиальную схему (рис. 52) управления электродвигателем насоса и перечень элементов к ней. Все элементы рассматриваемой схемы имеют одно- или двухбуквенные коды. Например, двигатель М, контактор КМ1, переключатель 1SA1, сигнальная лампочка 1HL1 и т. д.

Соединительные провода обозначены арабскими цифрами, при этом номера проводов, имеющие общую точку, одинаковы. Так, кнопка 1SB1 соединена с 1SB2 и замыкающим дополнительным контактом КМ 1.1 контактора КМ1 проводами, обозначенными числом 102. При этом

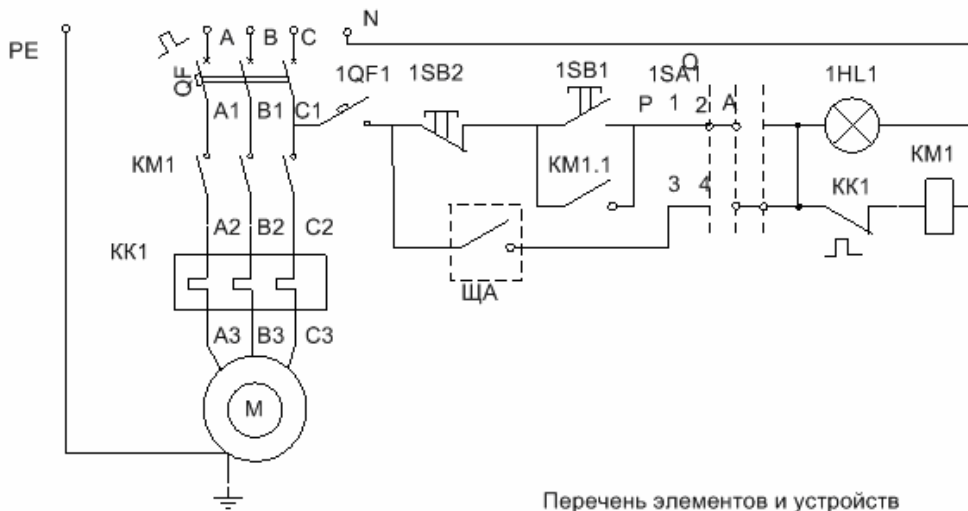
собственные маркировки аппаратов не обозначены, что необходимо в последующем учесть при составлении монтажных схем.

Анализируя выбранную схему управления двигателем насоса, можно сделать заключение, что катушка магнитного пускателя КМ1 будет замыкать рабочие контакты, а, следовательно, и подавать напряжение на двигатель М при нажатии кнопок 1SB2. Причем это можно осуществить только в ручном режиме, когда переключатель 1SA1 находится в положении Р. При этом контактор КМ1 через свой собственный контакт КМ 1.1 заблокируются. Выключается двигатель М в этом режиме при нажатии на кнопку 1SB1.

В положении А переключателя 1SA1 (автоматизированный режим управления) электрический двигатель насоса будет включаться автоматически с помощью контакта ЩА, который управляется контроллером и показан в другом месте принципиальной схемы. На это указывает пунктирная линия вокруг контактов и ссылка на определенный номер листа принципиальной схемы (ЩА).

При перегрузке двигателя вентилятора срабатывает тепловое реле КК1, размыкающий контакт которого прекращает подачу напряжения на катушку контактора КМ1.

Связь принципиальной схемы с перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения. При этом в таблице «Перечень элементов и устройств» в графе «Наименование», кроме названия типа и марки, приводятся основные технические характеристики элемента или устройства. Например, для двигателя М указывается номинальные мощность, частота вращения, напряжение и ток. В отдельных случаях допускается все сведения об элементах помещать около условных графических обозначений (например, параметры реле, резисторов).



Перечень элементов и устройств

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
На механизме			
М	Двигатель асинхронный 3ф., тип MDXMA90, 1,5кВт.1410 мин ⁻¹ , 380В, 3,5А	1	
На щите местного управления (ЩМУ)			
QF	Выключатель автоматический ТемDin 3С, I=10 А; U=380В	1	
KM1	Контактор типа 11МС6.10 I=6 А, U=220В, 1зам.доп контакт	1	
KK1	Реле тепловое, тип 11RF9.5, I=3-5А	1	
1QF1	Выключатель автоматический, тип ТемDin 1С, I=1 А; U=220В	1	
1SB1	Кнопка управления, тип 8LM2ТВ104.1 размерный контакт, толкатель красного цвета	1	На двери ЩМУ1
1SB2	Кнопка управления, тип 8LM2ТВ102.1.1 зам контур, толкатель черного цвета	1	На двери ЩМУ1
1SA1	Переключатель 3-поз, стабильный, тип 8LM2TS130		На двери ЩМУ1
1HL1	Арматура светосигнальная зеленая, тип 8LP2TIL223.1 с лампой накаливания 220В переменного тока	1	На двери ЩМУ1

Рис. 52 Пример принципиальной электрической схемы

Лекция 17. Схемы внешней проводки

Схема соединений внешних проводок (ГОСТ 21.409-93, РМ 4-6-92) это комбинированная схема, на которой изображаются электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом, инженерном оборудовании и коммуникациях (трубопроводах, воздухопроводах и т.п.), вне щитов и на щитах, а также связи между щитами, пультами, комплексами или отдельными устройствами комплексов. Эта схема показывает соединения составных частей изделия (установки) и определяет провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.). Схематическими (монтажными) пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь, чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов,

жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии (установке), а также для осуществления присоединений и при контроле, эксплуатации и ремонте изделий (установок).

В отличие от чертежей общих видов схемы соединений щитов и пультов выполняют без соблюдения масштабов. На схеме соединений изображают все элементы и устройства, входящие в состав щита или пульта. При этом их расположение должно примерно соответствовать действительному размещению в изделии. Устройства изображают в виде прямоугольников или условных графических обозначений с отображением всех выводов (контактов) для подключения проводников. На схеме указывается: для проводов - марка, сечение и, при необходимости, расцветка; для кабелей - марка, количество и сечение жил. Схемы соединений выполняют различными способами, но во всех случаях должны быть обозначены все контактные элементы, через которые осуществляются электрические соединения, и отходящие от них проводники. На простых схемах полностью показывают все проводники, которыми соединяются аппараты, приборы и другие элементы, и чтение таких схем не вызывает трудностей.

В случае сложных устройств для упрощения выполнения и чтения схем соединений рядом с обозначением каждого аппарата или прибора в пределах схемы проставляют его порядковый номер (в числителе), начиная с первого, и позиционное обозначение (в знаменателе), соответствующее принципиальной схеме. Концы проводников маркируют, то есть наносят адресное обозначение второго конца провода: первое число - порядковый номер аппарата; второе - номер его вывода, к которому подключен его конец. Кроме того, для лучшего понимания схемы и ее связи с принципиальной схемой рядом с проводником ставят обозначение цепи.

Технические средства, для которых на схемах приводят подключения электропроводок, изображают упрощенно внешними очертаниями или в виде прямоугольников. Входные и выходные элементы (контакты) устройств показывают в виде кружков (для круглых штепсельных разъемов) или прямоугольников (например, для сборок колодок зажимов, рейки с набором зажимов).

Схемы соединений в общем случае должны содержать:

- 1) первичные приборы;
- 2) внешние приборы, групповые установки приборов;
- 3) щиты (распределительная колодка, DIN –рейка в шкафу), комплексы;
- 4) внешние электрические и трубные проводки;
- 5) защитное заземление и зануление систем автоматизации;
- 6) технические требования (указания);
- 7) перечень элементов.

Внешние электрические проводки выполняют отдельными сплошными толстыми линиями. При этом проводки, проложенные в коробах, изображают двумя параллельными тонкими линиями на расстоянии 3-4 мм друг от друга. Для каждой проводки над изображающей ее линией указывают техническую

характеристику (тип, марка кабеля, провода, трубы и т. д.) и длину проводки. Кабелям и жгутам проводов присваивают порядковые номера. Порядковые номера кабелей в коробах присваивают с добавлением буквы «К».

Маркировку жил кабелей и проводов на схемах соединений и подключения проставляют в соответствии с принципиальными электрическими схемами и указаниями руководящего материала РМ4-106.

Для каждой внешней электрической проводки приводят ее техническую характеристику и длину: для проводов - марку, сечение и, при необходимости, расцветку, а также длину [14]. Длину указывают один раз на линии проводки, отходящей непосредственно от первичного прибора, при этом указывают полную длину провода или жгута до места его подключения к зажимам щитов, коробок, приборов. При прокладке в одной защитной трубе нескольких проводов перед маркой проставляют их количество, например 4ПТВ 2×2,5М; для кабелей - марку, количество и сечение жил и, при необходимости, количество занятых жил, которые указывают в прямоугольнике, помещаемом справа от обозначения данного кабеля, а также длину кабелей, для трубы – диаметр и длину.

Около графических обозначений соединительных, протяжных коробок над полкой линии-выноски указывают их обозначения и порядковый номер, например: КСК-8 №1. Под полкой линии-выноски соединительных коробок указывают обозначения чертежей их установки.

Провода и их соединения, расположенные снаружи должны быть уложены в короба (например, трубы, каналы, лотки) за исключением надежным способом защищенных кабелей, которые могут прокладываться без защитного короба с использованием или без использования открытых кабельных трасс или опорных конструкций. Короба должны обеспечивать минимальную степень защиты IP33 (ГОСТ 14254).

Номера проводок указывают в окружностях, помещаемых в разрыве линий. Пример схемы подключения внешних проводок управления электроприводом, приведенным на рис. 33, показан на рис. 37. Здесь подвод питания осуществляется от электросети кабелем №1 марки ВВГ, пятижильным, сечением 1,5 мм², проложенным в пластмассовой трубе длиной 5 м. Электродвигатель М1 связан со щитом местного управления ЩМУ1 трассами 2К и 3К, каждая из которых выполнена 4 медными проводами марки ПВ сечением 1,5 мм, уложенными в пластмассовом коробе длиной 4м. Дистанционное управление двигателями от центрального щита управления ША осуществляется с помощью 4-жильного контрольного кабеля КВВГ сечением 1,0 мм, проложенного в пластмассовой трубе длиной 7м.

Схемы соединений следует выполнять, отдельными документами для каждого блока автоматизируемого объекта, монтаж которого может быть осуществлен независимо от других блоков. При этом в наименовании документа дополнительно указывают наименование блока.

Схемы соединений и подключения внешних проводок выполняется на основании следующих материалов:

- схем автоматизации технологических процессов;
- принципиальных электрических, пневматических, гидравлических схем;
- технических описаний и инструкций по эксплуатации на приборы и средства автоматизации, примененные в проекте;
- таблиц соединений и подключения проводок щитов и пультов, выполняемых в соответствии с указаниями по РМ4-107;
- чертежей расположения технологического, сантехнического, энергетического и т.п. оборудования и коммуникаций с отборными и приемными устройствами, а также строительных чертежей со всеми необходимыми для прокладки внешних проводок закладными и приварными конструкциями, эстакадами, туннелями, каналами, проемами и т.д.

Обязательным предварительным этапом работы по выполнению схем соединений и подключения должны быть: проверка наличия на чертежах технологии производств и инженерных систем всех *закладных и отборных устройств*, необходимых для установки первичных измерительных преобразователей на коммуникациях и оборудовании.

При этом следует учитывать рекомендации руководящего материала РТМ 36.22.13.

Схемы соединений и подключения выполняется без соблюдения масштаба на одном или нескольких листах формата не более А1 (594×841) по ГОСТ 2.301.

Действительное пространственное расположение устройств и элементов схем либо не учитывается вообще, либо учитывается приближенно.

Толщина линий, изображающих устройства и элементы схем, в том числе кабели, провода, трубы, должна быть от 0,4 до 1 мм по ГОСТ 2.303.

На схемах должно быть наименьшее количество изломов и пересечений проводок.

Расстояние между соседними параллельными проводками, а также между соседними изображениями приборов и средств автоматизации, должно быть не менее 3-х мм.

На схемах соединений в верхней ее части, а при большой насыщенности схемы приборами в верхней и нижней частях, в зеркальном изображении, размещают таблицу с поясняющими надписями в соответствии с рис.53.

Наименование параметра	Давление	
	Место отбора импульса	Разделитель жидкости
Тип датчика	Метран 3051С	Метран
Позиция	8а	24а

Рис. 53 Таблица с поясняющими надписями схем внешней проводки

Размеры строк таблицы следует принимать исходя из размещаемых в этих графах текстов надписей.

В строку "Позиция" вносятся позиции приборов по схеме автоматизации и позиционные обозначения электроаппаратуры, присвоенные ей по принципиальным электрическим схемам. Для элементов систем автоматизации, не имеющих самостоятельной позиции (отборные устройства и т.п.), указывают позицию прибора, к которому они относятся, с предлогом "к". Пример: к 1а.

Под таблицей изображают приборы и средства автоматизации, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании и коммуникациях (первичные приборы, исполнительные механизмы).

Для приборов, не имеющих номеров электрических внешних выводов (например, соединительные коробки) на схеме соединений изображают упрощенно в виде прямоугольника, без сборок зажимов и без сальников в соответствии.

В лотках для прокладки кабеля, соединительных и ответвительных коробках могут допускаться отверстия диаметром 6 мм для удаления воды, если предполагается ее скопление в этих кабельных конструкциях.

Открытые короба и лотки для прокладки кабеля должны жестко закрепляться на достаточном удалении от подвижных частей технологического оборудования, чтобы уменьшить опасность повреждения или износа. В местах, где необходим проход людей, открытые короба и лотки должны монтироваться на высоте как минимум 2 м над рабочей площадкой.

Кабельные короба должны использоваться только в качестве механической защиты.

Ввиду того, что кабельные подводы (лотки), которые защищены лишь частично, не рассматриваются в качестве коробов или кабельных несущих систем, то используемые кабели должны быть пригодны для установки на кабельных лотках.

Жесткие металлические каналы и арматура должны быть изготовлены из гальванизированной стали или материала, устойчивого к коррозии, и приспособлены к условиям эксплуатации. Не рекомендуется использовать различные материалы, которые при контакте могут являться источником гальванической коррозии.

В промышленных машинах предполагаются следующие классические способы проводки между кожухами и отдельными элементами (используемые обозначения соответствуют МЭК 60364-5-523; рисунок 54):

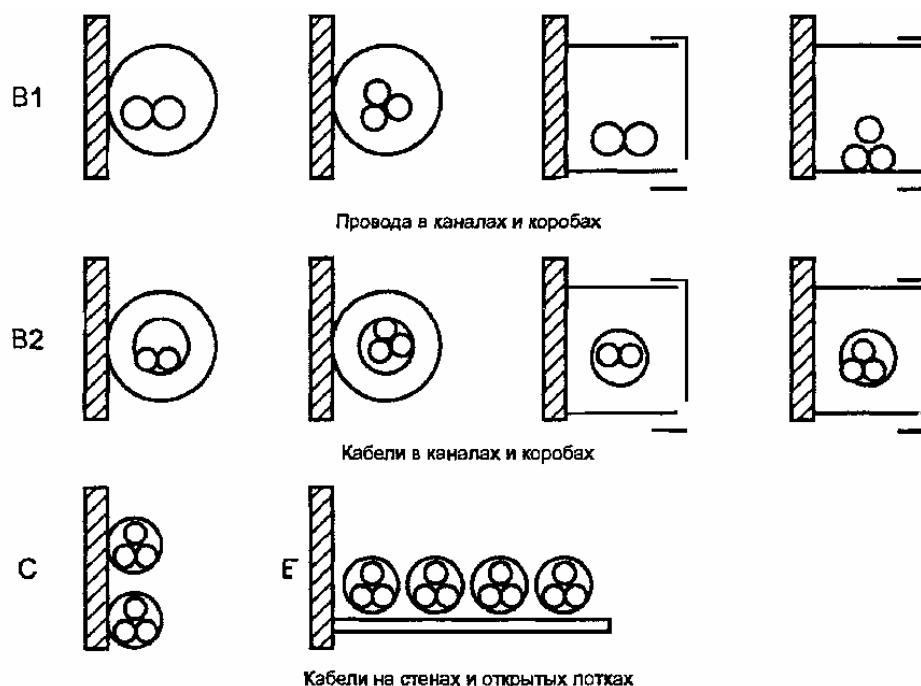


Рис. 54 Методы укладки кабелей и проводов

Здесь показаны:

B1 - коробка и кабель-несущие каналы для поддержки и защиты проводов (одножильные кабели);

B2 - то же, что B1, но с многожильными кабелями;

C - кабели, прокладываемые на стенах без коробов и каналов;

E - кабели, прокладываемые в открытых горизонтальных или вертикальных трассах (шинопроводах)

Для преобразователей термоэлектрических, термопреобразователей сопротивления), а также для пневматических исполнительных механизмов применяют графические условные обозначения, принятые для этих приборов на схемах автоматизации (ГОСТ 21.404). В нижней части формата располагают внешитовые приборы, щиты и др. технические средства. В случае принятых проектных решений на щите показывается DIN- рейка с контактной группой (рис. 55).

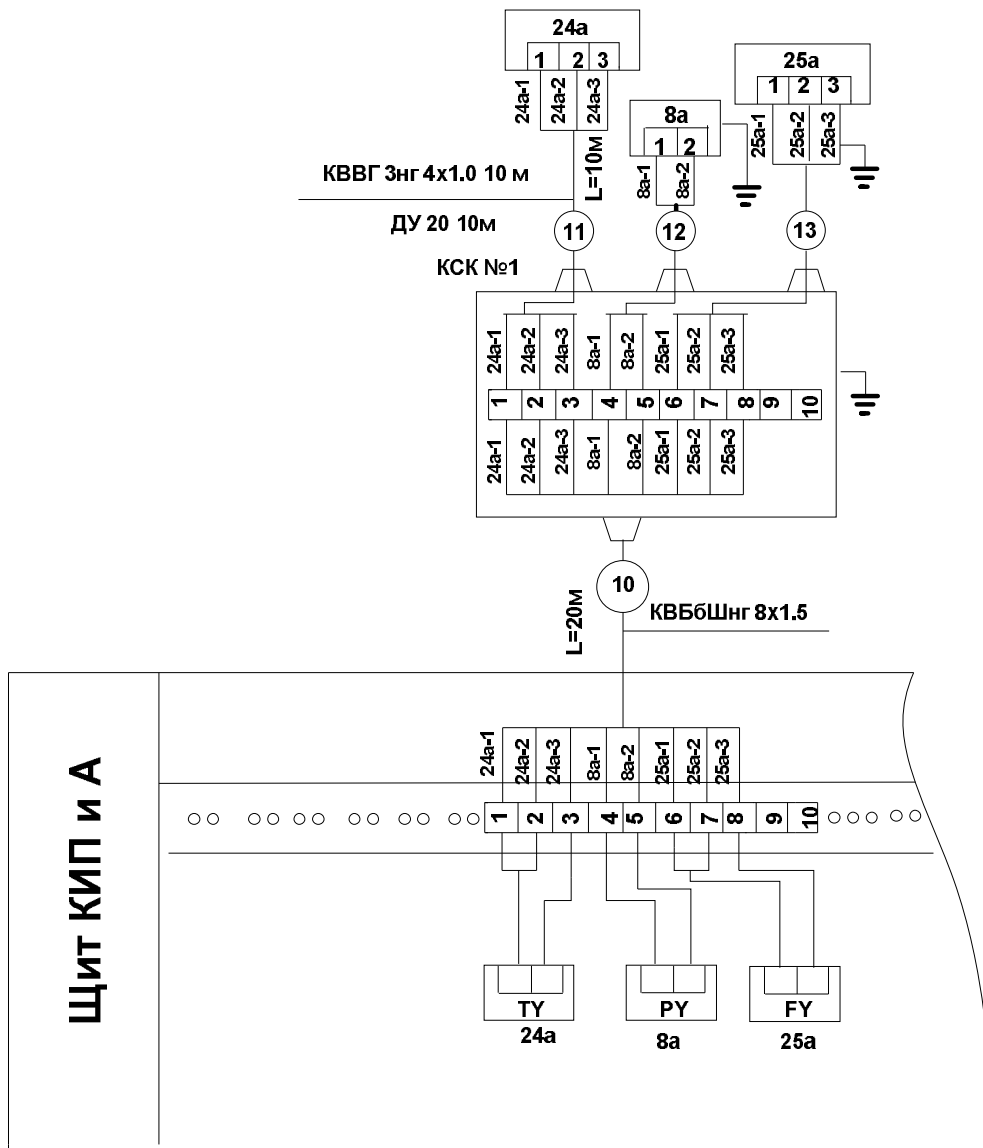


Рис.55 Фрагмент схемы внешних проводок

При расположении таблиц с поясняющими надписями в верхней и нижней частях поля чертежа шкафы местного управления изображают в виде прямоугольников в средней части чертежа. При расположении таблицы только сверху шкафы изображают в нижней части поля чертежа. Внутри прямоугольника указывается наименование шкафа. На части схемы подключения шкафа приводят и наносят:

- изображения устройств, к которым подключают проводки (например, DIN- рейку, колодки щитовых приборов);
- подключение к ним жил кабелей, проводов и труб и их обозначения;
- отрезки кабелей, труб в соответствии со схемой соединений.

Отрезки кабелей и труб, противоположные подключению, заканчивают фигурной скобкой со ссылкой на обозначение и/или номер листа основного комплекта, на котором приведена схема соединений.

Монтажные чертежи и схемы соединений показывают взаимное расположение приборов и устройств на щитах и пультах и их взаимосвязь. В АС различают схемы шкафа управления оборудованием полевого уровня (рис. 40) и внешней проводки коммуникационного шкафа (рис.56).

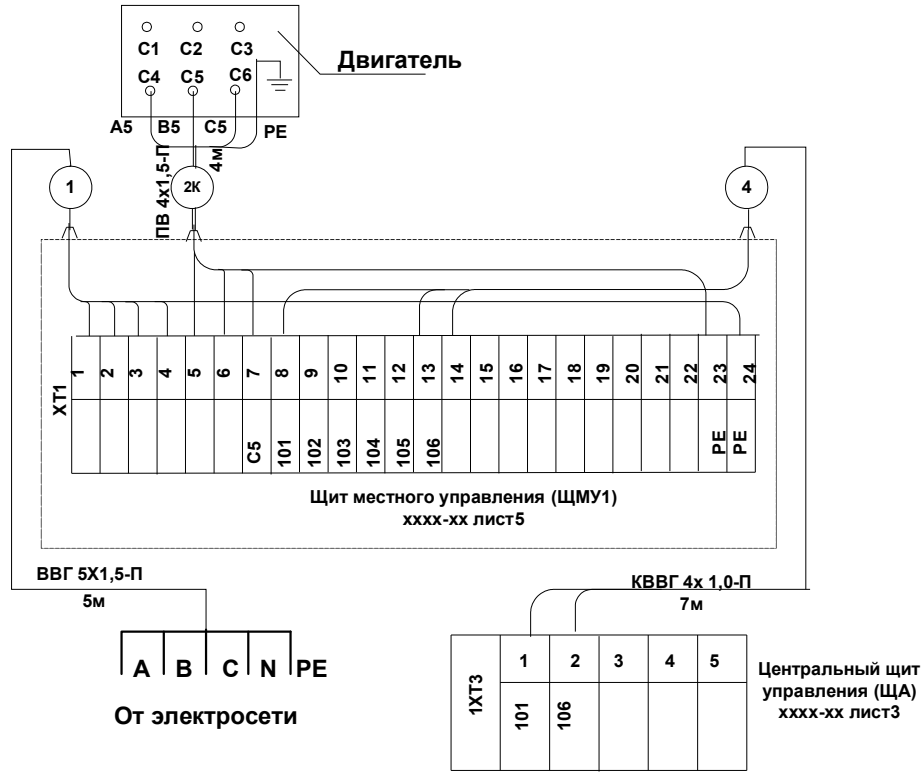


Рис. 56 Пример схемы подключения внешних проводок насоса полевого уровня АС

Здесь на рис 56 показана внешняя проводка для схемы управления двигателем для примера, рассмотренного лекции 16 (рис.52). На рис. 57 показана связь между релейной контактной группой дистанционного управления этим же двигателем и устройством дискретного вывода.

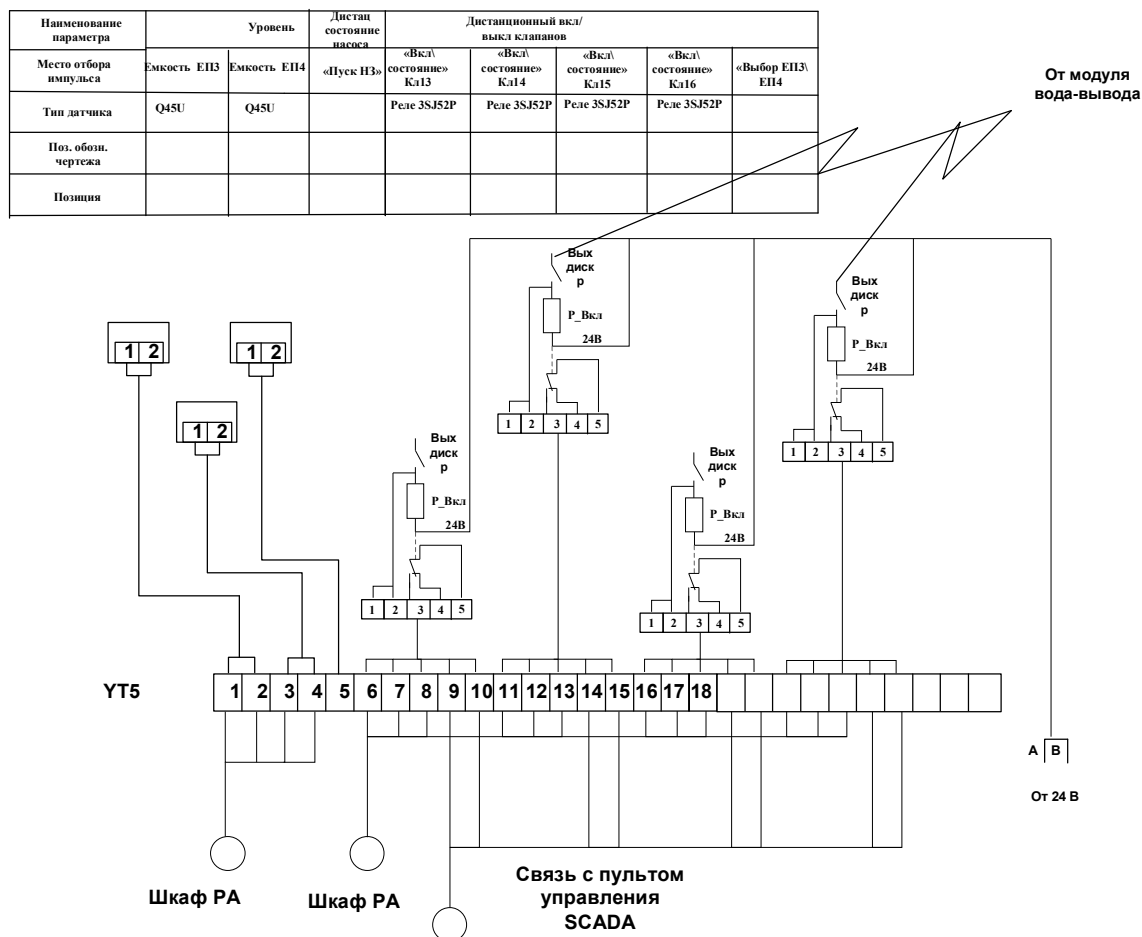


Рис. 57 Пример схемы подключения внешних проводов устройства ввода вывода SCADA
Шкафы и схемы расположения

Конструкция шкафов, а также места установок и расположения на них устройств изображаются на чертежах общих видов. Чертежи общих видов должны выполняться в строгом соответствии со стандартом ЕСКД. В зависимости от функционального назначения щита и его конструктивных особенностей эскизный чертеж шкафа содержит:

- спецификацию, в которую кроме технических средств автоматизации входят изделия для установки и монтажа, кабели и провода;
- вид спереди;
- вид на внутренние плоскости;
- таблицу надписей.

В отличие от чертежей общих видов схемы соединений шкафов и пультов выполняют без соблюдения масштабов. На схеме соединений изображают все элементы и устройства, входящие в состав шкафа или пульта. При этом их расположение должно примерно соответствовать действительному размещению в изделии. Устройства изображают в виде прямоугольников или условных графических обозначений с отображением всех выводов (контактов) для подключения проводников. На схеме указывается: для проводов - марка, сечение и, при необходимости, расцветка; для кабелей - марка, количество и сечение жил. Схемы соединений выполняют различными способами, но во всех случаях должны быть обозначены все контактные элементы, через которые осуществляются

электрические соединения, и отходящие от них проводники. На простых схемах полностью показывают все проводники, которыми соединяются аппараты, приборы и другие элементы, и чтение таких схем не вызывает трудностей.

В случае сложных устройств для упрощения выполнения и чтения схем соединений рядом с обозначением каждого аппарата или прибора в пределах схемы проставляют его порядковый номер (в числителе), начиная с первого, и позиционное обозначение (в знаменателе), соответствующее принципиальной схеме. Концы проводников маркируют, то есть наносят адресное обозначение второго конца провода: первое число - порядковый номер аппарата; второе - номер его вывода, к которому подключен его конец. Кроме того, для лучшего понимания схемы и ее связи с принципиальной схемой рядом с проводником ставят обозначение цепи.

Для выбранной принципиальной схемы управления двигателем насоса (пример лекции 16, рис.52) возможный вариант эскизной монтажной схемы пульта

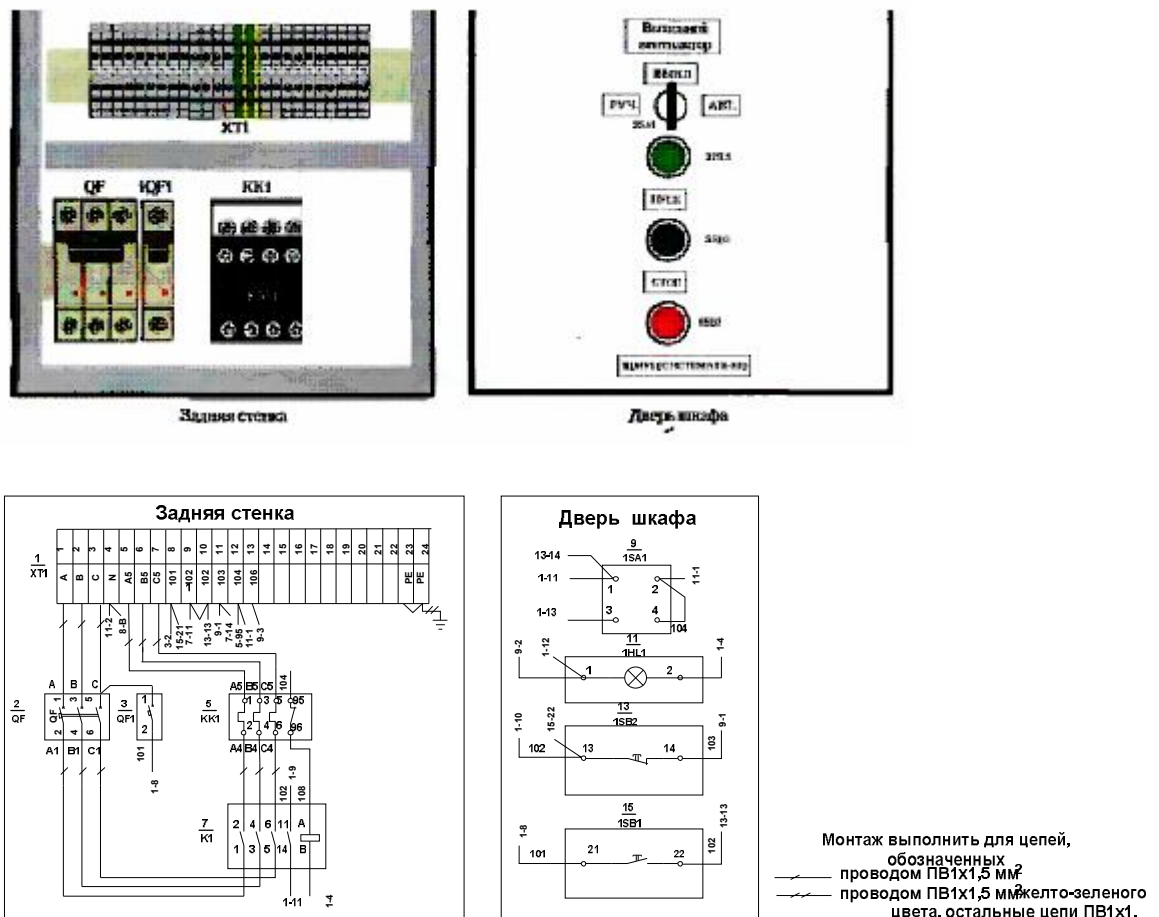


Рис. 58 Монтажная схема щита местного управления (ЩМУ)

управления местного уровня (ЩМУ1) показан на рис.58. Расположение аппаратуры на схеме примерно соответствует фактическому размещению в конструкции шкафа. Рядом с каждым аппаратом проставлен порядковый номер и позиционное обозначение. Так, возле клеммной колодки - 1/XT1, вводного автоматического выключателя - 2/QF и т. д. Внутри каждого

элемента проставлена нумерация выводов, соответствующая заводской маркировке. Монтаж силовых цепей показан прямым соединением проводников между аппаратами. Соединения цепей управления выполнены адресным методом. Так, электрическая цепь 104 (пример лекции 16, рис. 33) выполнена следующим образом. Выводы 2 и 4 переключателя 1SA1 (аппарат 9) перемкнуты между собой, а с вывода 2 выходит провод 11-1 (аппарат 11, вывод 1). Второй конец этого провода на лампочке 1HL1 (аппарат 11) имеет маркировку 9-2 (аппарат 9, вывод 2). Кроме того, с вывода 1 аппарата 11 отходит провод 1-12 (на клеммник ХТ1), который на втором конце имеет маркировку 11-1. Провод, соединяющий клеммник 12 ХТ1 с контактом теплового реле КК1, имеет маркировку 5-95 и 1-12 соответственно со стороны клеммника и реле. На поле чертежа схемы указано, какие провода каким проводом монтировать, а для защитного нулевого провода - и его цвет. На поле чертежа могут быть также указаны способы ведения монтажа. Например: «Монтаж выполнить с использованием перфорированных коробов 25x25 мм с их установкой по месту»; «Клеммные колодки устанавливать на рейки DIN», «Провода, соединяющие клеммник ХТ1 с аппаратурой на двери шкафа, выполнить в виде жгута в спиральной трубке диаметром 10 мм», и т. п. Если по техническим условиям на аппаратуру прокладка проводов в жгутах недопустима (например, компенсационные провода), или необходимо применение экранированного провода, то такие проводки на схеме изображают пунктиром. При этом концы экранов должны быть соединены с нулевым защитным проводником РЕ.

Правильное взаимодействие всех элементов автоматики и нормальная работа всей системы возможна только при соединении их в соответствии со схемами подключения внешних проводов.

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей АС, а при необходимости также жгутов, проводов, кабелей, трубопроводов и т.п. Схематическими расположениями пользуются при разработке других конструкторских документов, а также при эксплуатации и ремонте АС.

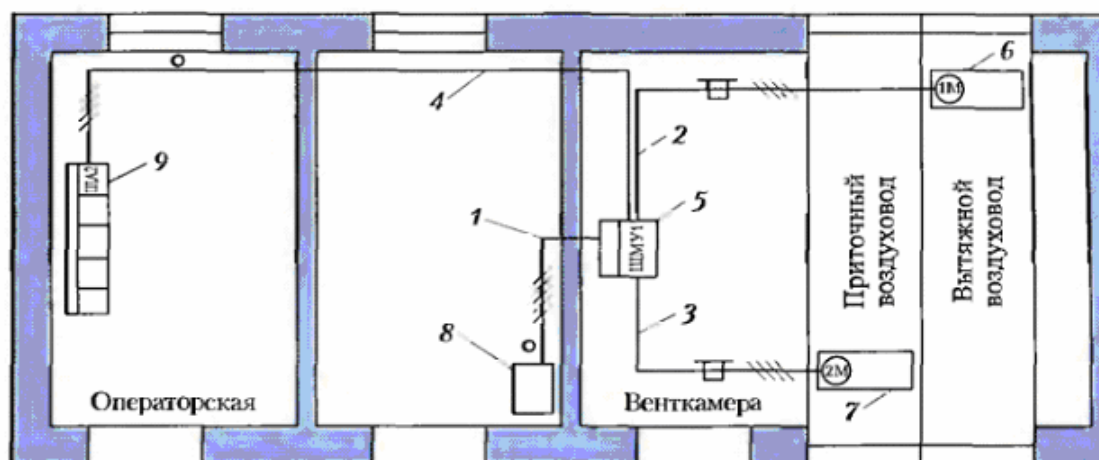


Рис. 59 Схема расположения

На рис. 59 показан схема расположения и проводок подключения электроприводов. Питание щита местного управления 5 осуществляется проводной линией 1, проложенной в трубе вводного щитка 8. Проводные линии 2 и 3 проложенные в закрытых коробах соединяют ЩМУ1 с двигателями 6 и 7. Проводная линия 4 обеспечивает через ЩМУ1 автоматическое дистанционное управление двигателями от щита автоматики 9, расположенного в операторном помещении.

Список литературы

1. Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Ключев А. А.; под ред. А.С. Ключева. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
2. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с..
3. А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; Под ред. А.С. Ключева, Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1990.- 464 с.
4. ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. /Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Информационная технология. - М.. 1991.-С. 3-15.
5. Андреев Е.Б. Попадько В.Е. Программные средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности Уч пособие М: Нефть и газ 2005,- 268 с.
6. Андреев Е.Б. Попадько В.Е. Технические средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности Уч пособие М: Нефть и газ 2005,- 270 с.
7. Веревкин А.П., Попков В.Ф. Технические средства автоматизации. Исполнительные устройства: Учеб. пособ. -Уфа.: Изд-во УНИ, 1996. -95 с.
8. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. - М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
9. Матвейкин В.Г., Фролов С.В., Шехтман М.Б. Применение SCADA-систем при автоматизации технологических процессов. М: Машиностроение, 2000. 176с.

10. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Методическое пособие. Кн.1. М: Деан. 2006.-552с
11. Алиев И.И. Кабельные изделия: Справочник. — 3-е изд., испр.— 2008. — 230 с.
12. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами: Учебник. – 2005. — 768 с
13. РМ4-4-85 Системы автоматизации технологических процессов. Проектирование систем электропитания (пособие к ВСН 205-84), ММСС СССР, Проектный институт "Проектмонтажавтоматика, 1986г
14. РМГ 62-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации, ИПК Издательство стандартов, 2004
15. Емельянов А.И. и др. Практические расчеты в автоматике. Машиностроение М: 1967, 181 с.
16. В.Ф. Комиссарчик, Автоматическое регулирование технологических процессов Учебное пособие, Тверь 2001, 247 с
17. Г.В. Иванова «Автоматизация технологических процессов основных химических производств» Методические материалы по курсу лекций. Часть 1. СПбГТИ(ТУ).-СПб., 2003.- 70с.