

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е.И. Громаков

АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия

*Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 65.011

ББК 32.965

Г

Громаков Е.И.

Автоматизация нефтегазовыми технологическими процессами: учебно-методическое пособие / Е.И. Громаков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 173 с.

В учебно-методическом пособии приведены требования к выполнению расчетно-пояснительной записки, графической части и даны методические указания по выполнению курсового проекта по Автоматизация технологическими процессами «Автоматизация нефтегазовыми технологическими процессами». Рассмотрены основные понятия, структура, классификация и методология разработки автоматизированных систем управления с использованием SCADA информационных технологий (автоматизированных систем управления), приведены примеры решений для основных разделов курсового проекта.

Пособие подготовлено на кафедре интегрированных компьютерных систем управления и предназначено для магистров, обучающихся по магистерской программе 130500.14 «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

УДК 65.011

ББК 32 965

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой компьютерных измерительных систем и метрологии ТПУ

С.В. Муравьев

Кандидат технических наук, доцент, заведующий отделом инклинометрических телесистем ООО «ТНГИ»

Д.И. Попов

© ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», 2010

© Громаков Е.И., 2010

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛОССАРИЙ	5
ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ.....	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО КУРСУ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ»	10
1.1 Цель и задачи	10
2 Методические рекомендации.....	13
2.1 Объекты автоматизации в нефтегазовой отрасли. Порядок описания функциональной схемы технологического процесса	13
2.2 Выбор архитектуры и профиля АС	18
2.3 Разработка структурной схемы АС	27
2.4 Разработка функциональной схемы автоматизации.....	33
2.5 Разработка схемы информационных потоков АС	40
2.6 Выбор средств реализации АС	46
2.6.1 Выбор контроллерного оборудования	46
2.6.2 Выбор датчиков	67
2.6.3 Выбор исполнительных механизмов.....	81
2.6.4 Выбор системы сигнализации АС	93
2.7 Разработка принципиальной схемы автоматизации.....	100
2.8 Разработка схемы соединения внешних проводок	107
2.9 Разработка шкафов, схем соединений и расположения АС.....	116
2.10 Выбор (обоснование) алгоритмов управления АС	120
2.10.1 Управление сбором данных	123
2.10.2 Регулирование параметра технологического процесса	126
2.11 Разработка ПО для ПЛК.....	135
2.12 Разработка экранных форм АС.....	138
Литература	147
<i>Приложение 1 ..</i> Ошибка! Закладка не определена.Ошибка! Закладка не определена.	
<i>Приложение 2 ..</i> Ошибка! Закладка не определена.Ошибка! Закладка не определена.	
<i>Приложение 3</i>	150
<i>Приложение 4</i>	151
<i>Приложение 5</i>	152
<i>Приложение 6</i>	153
<i>Приложение 7</i>	154
<i>Приложение 8</i>	155
<i>Приложение 9</i>	156
<i>Приложение 10</i>	158

<i>Приложение 11</i>	159
<i>Приложение 12</i>	160
<i>Приложение 13</i>	161
<i>Приложение 14</i>	162

ГЛОССАРИЙ

Термин	Определение
АС	Автоматизированная система это - комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса. Термин автоматизированная, в отличие от термина автоматическая подчеркивает сохранение за человеком-оператором некоторых функций, либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации
Интерфейс (RS-232C, RS-422, RS-485, CAN)	Совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил для обеспечения взаимодействия между различными программными системами, между техническими устройствами или между пользователем и системой
Информационное обеспечение	Совокупность форм документов, классификаторов, нормативной базы и реализованных решений по объемам, размещению и формам существования информации, применяемой в автоматизированной системе при ее функционировании
Спецификация изделия	нормативно-технический документ, регламентирующий порядок выполнения технологических операций, нормы расхода материальных, временных и трудовых ресурсов, типы исходных материалов и полуфабрикатов, поступающих на входы технологических операций
Профиль АС	Понятие «профиль» (ГОСТ Р ИСО МЭК ТО 10000-1-99) определяется как <i>подмножество и/или комбинации базовых стандартов информационных технологий, необходимые для реализации требуемых наборов функций АС</i> . Для определения места и роли каждого базового стандарта в профиле требуется концептуальная модель. Такая модель, называемая OSE/RM (Open System Environment/Reference Model), предложена в ГОСТ Р ИСО МЭК ТО 10000-3-99
Протокол (CAN, OSI, ProfiBus, Modbus, HART, Profibus DP, Modbus RTU, Modbus +, CAN, DeviceNet)	Набор правил, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включёнными в соединение программируемыми устройствами
Техническое задание на АС (ТЗ)	Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы

Технологический процесс (ТП)	Технологический процесс – последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ. Технологический процесс состоит из рабочих операций, которые в свою очередь складываются из рабочих движений (приемов)
СУБД	Система управления базами данных это – совокупность программных и языковых средств, предназначенных для управления данными в базе данных, ведения базы данных, обеспечения многопользовательского доступа к данным
Архитектура АС	Архитектура автоматизированной системы – это набор значимых решений по организации системы программного обеспечения, набор структурных элементов и их интерфейсов, при помощи которых komponуется АС
SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных)	Под термином SCADA понимают инструментальную программу для разработки программного обеспечения систем управления технологическими процессами в реальном времени и сбора данных
ФЮРА. 425280	ФЮРА это – код организации разработчика проекта (ТПУ); 425280 это – код классификационной характеристики проектной продукции по ГОСТ 3.1201-85 (в соответствии с шестизначный классификационной характеристикой ОКП этот код означает проектирование распределенного автоматизированного управления технологическим объектом)

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Аббревиатура	Краткая характеристика
OSI (Open Systems Interconnection)	Эталонная модель взаимодействия открытых информационных систем
PLC (Programmable Logic Controllers)	Программируемые логические контроллеры (ПЛК).
ESD (Emergency Shut Down)	Аварийный <i>останов</i> оборудования
ОУ	Объект управления
КП	Курсовой проект, курсовое проектирование
БД	База данных
ПО	Программное обеспечение
УСО	Устройство сопряжения (связи) с объектом, устройство ввода/вывода

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ

1. АС (ПАС) «Блочная кустовая насосная станция (БКНС)».
2. ПАС «Групповая замерная установка (ГЗУ)».
3. ПАС «Дожимная насосная станция (ДНС)».
4. ПАС «Насосная станция (НС)».
5. ПАС «Станок- качалка -насос (СКН)».
6. ПАС «Установка комплексной подготовки газа (УКПГ)».
7. ПАС «Установка комплексной подготовки нефти (УКПН)».
8. ПАС «Установка предварительного сброса воды (УПСВ)».
9. ПАС «Штанговый глубинный насос (ШГН)».
10. ПАС «Электродегидратор».
11. ПАС «Центральный пункт сбора и подготовки нефти, газа и воды (ЦПС)».
12. ПАС «Установка подготовки нефти (УПН)».
13. ПАС «Установка стабилизации нефти (УСН)».
14. ПАС «Установка предварительного сброса пластовой воды (УПС)».
15. ПАС «Газокомпрессорная насосная станция (ГКНС)».
16. ПАС «Установка для улавливания нефтяных газов, выбрасываемых из технологического оборудования».
17. ПАС «Узел сброса конденсата».
18. ПАС «Малогабаритная установка получения автомобильного топлива».
19. ПАС «Насосная станция внешнего транспорта нефти».
20. ПАС «Трансформаторные подстанции и распределительные устройства».
21. ПАС «Сеть нефтегазосборных трубопроводов и водоводов».
22. ПАС «Узлы коммерческого учета нефти и газа».
23. ПАС «Нефтеперекачивающая станция (НПС)».
24. ПАС «Головная нефтеперекачивающая станция (ГНПС)»
25. ПАС «Насосная перекачивающая станция с резервуарным парком».
26. ПАС «Промежуточная нефтеперекачивающая станция (ПНПС).
27. ПАС «Конечный пункт магистрального нефтепровода (КП)».
28. ПАС «Линейная часть магистрального нефтепровода».
29. ПАС «Резервуарный парк нефтеперекачивающих станций».
30. ПАС «Приточно-вытяжная вентиляция НПС».

ВВЕДЕНИЕ

Теоретически любой процесс в нефтегазовой отрасли можно выполнять 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.

Важным этапом подготовки специалиста по автоматизации технологических и производственных процессов в нефтегазовой отрасли является приобретение им первоначального опыта выполнения проектных работ.

Проекты автоматизации технологических процессов в нефтегазовой отрасли имеют ряд особенностей, обусловленных:

- территориально-распределенным расположением инфраструктурных объектов технологического процесса;
- использованием в системах автоматизации разнообразных измерительных и исполнительных механизмов, программируемых логических контроллеров и коммуникационных средств удаленной связи;
- использованием «коробочных, готовых для использования» программных средств управления сбором данных и формированием управляющих воздействий;
- построением систем автоматизации с учетом требований технологической, пожарной и взрывобезопасности;
- специальными технологическими требованиями к монтажу трубных и электрических проводок, усложняющими схемы и чертежи дополнительными деталями.

В ходе выполнения курсового проекта (КП) студент должен на основе анализа работы технологического процесса нефтегазовой отрасли предложить схему его автоматизации, предусмотреть конкретные меры по ее реализации и разработать проектную документацию. При этом студент должен опираться как на собственные знания, полученные в ходе изучения учебного курса «Автоматизация технологическими процессами», так и на различные литературные и Интернет-источники.

Автоматизация многих объектов нефтегазовой отрасли представляет собой автоматизированные системы (АС) 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.

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

- наиболее полное извлечение нефти и газа из продуктивных пластов и доставку их потребителю с установленными технико-экономическими показателями;
- повышение производительности нефтехимического оборудования;
- сокращение обслуживающего персонала;
- сокращение потерь всех видов ресурсов;
- улучшение качества подготовки нефти, газа, воды;
- транспортирование нефти и газа без потерь.

Задача данного пособия — дать студентам методические рекомендации по практическим приемам проектирования основных схем автоматизированного управления и технологического контроля и разработке рабочей документации проекта.

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО КУРСУ «АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВЫМИ ТЕХНО- ЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ»

1.1 Цель и задачи

Учебным планом для магистров, обучающихся по магистерской программе 130500.14 «Надежность газонефтепроводов и хранилищ» предусмотрено „ изучение дисциплины «Автоматизация нефтегазовыми технологическими процессами». Основными учебными целями ее является систематизация и углубление теоретических и практических знаний, получаемых по автоматизации нефтегазовыми технологическими процессами, развитие навыков их практического применения, теоретических знаний при решении инженерных задач автоматизированного управления технологическим процессом. Для достижения поставленной цели применительно к заданию в курсовом проектировании должны найти отражение следующие элементы обучения:

- *Умение* выполнять проект автоматизированной компьютерной системы управления, выбирать и использовать технические и программные средства, математический аппарат и программное обеспечение при проектировании автоматизированных систем управления (SCADA).

- *Знание* физических основ работы устройств АС, протоколов и интерфейсов систем автоматизации технологических процессов, требований ГОСТ по разработке технической документации проектов АС.

- *Получение* профессиональных навыков при разработке конструкторско-технологической документации в электронной форме и использовании Интернет-ресурсов для поиска проектных решений.

- *Приобретение компетенций:*

- осуществлять технический поиск и разработку новых перспективных подходов и методов решения профессиональных задач в концептуальном проектировании АС объектов нефтегазовыми технологическими процессами;

- аргументировать защиту научно-технических решений и предложений в процессе их разработки и обсуждений в коллективах разработчиков;

- применять современный инструментарий проектирования;

- разрабатывать предложения, техническую документацию и программы (в соответствии с профилем направления).

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:

- 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 технико-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 представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

Рабочая документация включает материалы технического проекта и корректировку конструкторских документов по результатам монтажных работ.

Рабочие чертежи выполняются в соответствии с ЕСКД, действующими стандартами на условные обозначения, руководящими и нормативными документами по проектированию и монтажу систем автоматизации, электрического и противопожарного проектирования. На стадии «рабочие чертежи» технико-рабочий проект включает следующую техническую документацию:

- структурные и функциональные схемы автоматических систем;
- информационное, программное и алгоритмическое обеспечения АС;

- принципиальные электрические, гидравлические, пневматические схемы управления, регулирования, блокировки, сигнализации, а также электрические схемы питания;

- общие виды и монтажные схемы щитов и пунктов;
- схемы внешних электрических и трубных проводок, а также их монтажные чертежи;

- чертежи установки аппаратуры, щитов и пультов;

- пояснительную записку и т. д.

Задачами курсового проектирования (КП) являются разработка технического задания и эскизного проекта автоматизированной системы управления технологическим процессом. В последнее время эти этапы связывают с концептуальным проектированием АС.

Курсовой проект выполняется на основе индивидуального задания, необходимые исходные данные для которого необходимо получить у преподавателя или собрать по месту работы (производственной практики). Разработка КП может осуществляться по согласованию с преподавателем на конкретных материалах предприятий.

В процессе выполнения КП студент должен использовать:

- при разработке архитектуры АС – профессиональные и типовые пакеты программного обеспечения (ПО);

- при выборе компонентов АС (датчиков, контроллеров, исполнительных органов и др.) – Интернет-источники;

- при разработке экранных форм – ПО SCADA и ПО редактора векторной графики;

- при разработке программного обеспечения контроллера – ПО инструментальных средств программирования ПЛК;

- при определении параметров регуляторов – ПО моделирования АС;

- при разработке графической документации – ПО САПР.

Курсовое проектирование открывает широкие возможности в проявлении студентами своих творческих способностей и инженерной инициативы. При выполнении КП должны найти свое отражение новизна проектных решений, совершенствование системных решений при построении АС.

По-существу, курсовой проект по АС подготавливает студентов к выполнению основных разделов выпускной квалификационной работы (ВКР) по специальности и может стать составной его частью.

Курсовой проект должен включать в себя пояснительную записку (ПЗ), графическую часть, оформленную в виде альбома схем, и результаты проектирования на электронном носителе. Пояснительная записка

и графическая часть проекта выполняются согласно стандарту ТПУ СТО ТПУ 2.5.01–2006 «Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления», утвержденному и введенному в действие приказом ректора от 12.04.06 № 22/од.

Общими требованиями к курсовому проекту являются: целевая направленность, четкость построения, логическая последовательность изложения материала, глубина разработки проектной документации и полнота освещения вопросов, убедительность аргументаций, краткость и точность формулировок, конкретность изложения результатов работы, доказательность выводов и обоснованность рекомендаций, грамотное оформление [8].

Все части курсовой работы должны быть изложены в строгой логической последовательности и взаимосвязи. Содержание работы следует иллюстрировать схемами, таблицами, диаграммами, графиками, фотографиями, рисунками и т. д. Ссылки на таблицы, рисунки, приложения берутся в круглые скобки, на литературные источники – в квадратные скобки.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

2.1 Объекты автоматизации в нефтегазовой отрасли. Порядок описания функциональной схемы технологического процесса

Основными целями и задачами автоматизации объектов нефтегазовой отрасли являются [2, 4]:

- 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 качества товарной продукции, выбросов в атмосферу и сточных вод;

- реализация дистанционного контроля и управления всем комплексом сооружений на технологических площадках нефтегазового оборудования из центрального диспетчерского пункта, т. е. превращение технологических установок в автоматизированные технологические звенья, работающие в соответствии с заданиями вышестоящего уровня управления.

В системах нефтегазодобычи и транспортировки существуют как основные, так и вспомогательные объекты автоматизации. К основным объектам относятся нефтегазоскважины, 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- и воздухоснабжения. Все эти объекты в той или иной мере автоматизированы. Однако автоматизация 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 газодобычи;
- автоматизация нефте- и газопроводов, 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.

Для конкретных нефтегазодобывающих и транспортирующих предприятий в качестве самостоятельных целей автоматизации используются один или несколько технических, технико-экономических или экономических показателей из следующего списка.

Для технологических процессов бурения скважин:

- увеличение скорости бурения;
- минимизация отклонений траектории ствола скважины от проектной;
- увеличение точности попадания забоя скважин в заданный круг допуска;
- повышение надёжности крепления скважин;
- сокращение затрат на сооружение скважин.

Для технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа и их транспортировки:

- сведение к минимуму остановки добычи нефти и газа и отправки продукции с промысла. Эта цель предполагает сокращение простоев нефтяных (газовых) скважин и другого оборудования;
- исключение необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала на удалённых объектах, что можно достичь повышением уровня автоматизации и телемеханизации объектов. Цель направлена на сокращение обслуживающего персонала;
- повышение эффективности использования персонала, направляемого на обслуживание удалённого оборудования, что можно достичь увеличением объёма информации о причинах аварийной остановки и отправкой тех специалистов, которые могут сразу устранить причину остановки. Цель направлена на сокращение транспортных расходов, трудозатрат и увеличение текущей добычи нефти и газа;
- повышение безопасности работы обслуживающего персонала, путём обнаружения отклонений режимных параметров оборудования и его отключения;
- уменьшение числа и тяжести аварий, связанных с выходом из строя технологического оборудования, путём автоматического контроля и диагностики параметров технологического процесса и отключения оборудования при их отклонении. Цель направлена на сокращение расходов по ремонту, электроэнергии и т. д.;
- повышение эффективности работы персонала, занятого сбором, анализом информации, и лиц, ответственных за принятие решений;
- уменьшение потери нефти, газа и воды путём их достоверного учёта;

- уменьшение удельного расхода реагентов, воды и электроэнергии на одну тонну добываемой нефти с учётом обводнённости продукции скважин.

Все эти цели достигаются переводом на автоматизированное (автоматическое) выполнение управляющих и вспомогательных функций технологических процессов и оборудования, которые в проекте будут называться функциями автоматизированной системы управления.

Функции автоматического учета нефти и газа, информационно-измерительных систем количества и качества перекачиваемой нефти (газа) и нефтепродуктов позволяют получать объективные оценки результативности производства; функции технологического (аварийного) отключения и автоматической диагностики оборудования позволяют получить экономию за счёт сокращения времени простоя оборудования и стоимости ремонтных работ; функции автоматического включения резерва и автозапуска насосных агрегатов при кратковременных отключениях электроэнергии позволяют получить экономию трудозатрат и увеличить коэффициент эксплуатации оборудования; функции оперативного контроля состояния оборудования позволяют через функции управления верхнего уровня уменьшить время простоя и сократить трудозатраты и транспортные расходы за счёт расшифровки причин остановок оборудования, а также путём функций интеллектуального анализа возникшей ситуации, подсказок по действиям технологическому персоналу и ведению базы знаний.

Описание технологического процесса следует вести в определенной последовательности.

Пример описанияТП

Состав объекта автоматизации. В состав установки предварительного сброса воды (УПСВ) входит следующее технологическое оборудование:

- 1.Блоки дозировки реагентов БДР-1/1,2.
 - 2.Нефтегазовый сепаратор С-1.
 - 3.Отстойник О-1.
 - 4.Установка трубная наклонная УСТН.
 - 5.Газовый сепаратор ГС.
 - 6.Резервуары нефти Р-1,2.
 - 7.Насосы внешней перекачки нефти Н-1/1...3.
- и т.д. согласно функциональной схеме...

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. Нефтяной газ после аппарата С-1 поступает в вертикальный газовый сепаратор ГС для отделения от капельной жидкости.
 6. Конденсат из газового сепаратора ГС по уровню отводится в дренажную емкость Е-1, из которой по мере накопления откачивается в линию подачи нефти в резервуары Р-1,2.
- и т.д..

Пример перечня и значений контролируемых и регулируемых параметров приведен в виде таблицы (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 02).

Задание по описанию технологического процесса

В КП необходимо привести на основе литературных и Интернет-источников описание функционального объема автоматизации. По результатам описания необходимо привести структурную схему технологического процесса (его функциональную схему). Пример такой схемы приведен в приложении 3. Не следует путать функциональную схему технологического процесса с функциональной схемой автоматизации. Конечным результатом разработки КП на этом этапе является подготовка таблицы состава (перечня) вход/выходных сигналов ТП (измерительных, сигнальных, командных и управляющих). На этом этапе разработки КП (после согласования с преподавателем его темы) студент должен:

- изучить технологический процесс (объект автоматизации) по литературным и Интернет-источникам;
- описать его, уделив особое внимание основным технологическим параметрам, подлежащим измерению, контролю, защите, сигнализации или регулированию;
- определить места, куда и откуда необходимо передавать сигналы измерительной, сигнальной, управляющей и командной информации. Такими местами являются: весь полевой уровень ТП, технологические точки мониторинга, щитовая, операторная, местный и районный диспетчерский пункт (ДП), центральный пункт управления (ЦПУ);
- выбрать, обосновать и согласовать с преподавателем точки (места) на технологической схеме, в которых будет измеряться тот или иной

технологический параметр или будут устанавливаться регулирующие органы с исполнительными механизмами;

- обосновать экономическую целесообразность затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию средств и систем автоматизации.

2.2 Выбор архитектуры и профиля АС

При разработке АС следует выделять точки зрения (взгляд) заказчика (совокупность архитектурных представлений на проект пользователя) и взгляд исполнителя. Центральной частью таких представлений у исполнителя является пользовательский интерфейс (API).

При разработке архитектуры пользовательского интерфейса проекта АС следует описать ее профиль [20]. *Профиль*— это набор стандартов, ориентированных на выполнение конкретной задачи (АС). Методологической основой для разработки профиля АС служит эталонная модель OSE RM (Open System Environment Reference Model), определяющая концептуальный базис и систематический подход к классификации интерфейсов и сервисов АС как открытой программно-технической системы.

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.

Нормативные рекомендации, 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 эталонная OSE RM-модель компьютеризированной среды управления технологическими процессами предусматривает выделение трех сущностей: прикладного программного обеспечения (SCADA), прикладной платформы сервисов ПО АС и внешнего окружения и интерфейсов между ними. Под интерфейсами понимаются определенная совокупность программно-технических средств, которые обеспечивают взаимодействие всех компонентов АС (рисунок 1).

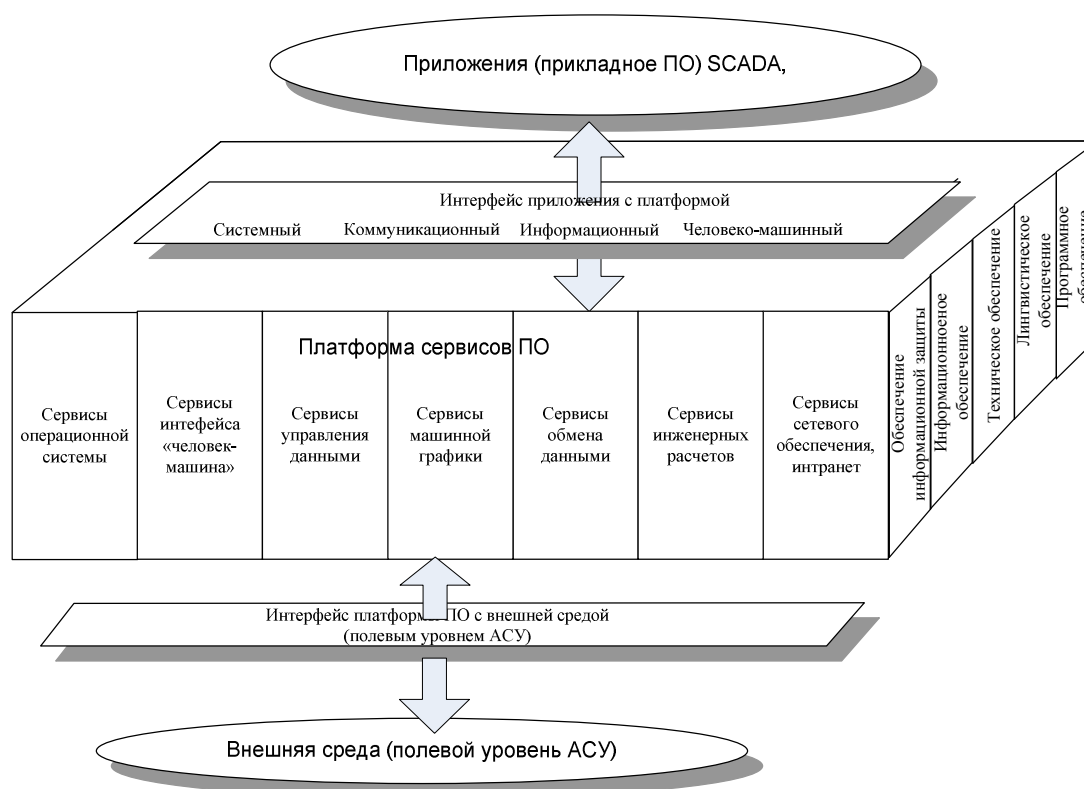


Рисунок 1. Концептуальная OSE/RM модель ПО АС

Проектные решения при построении OSE/RM выполняются с помощью следующих шагов:

1) стандарты интерфейсов открытых систем разбиваются на две основные категории в соответствии с двумя типами интерфейсов: стандарты прикладных программных интерфейсов и стандарты внешнего окружения. Следование стандартам обеих групп позволяет решить главную задачу для заказчика и разработчика: обеспечить возможность построе-

ния АС из компонентов, поставляемых различными изготовителями, и, как следствие, обеспечить независимость от поставщиков АС в целом;

2) обе группы сервисов и стандартов, разбиваются на четыре основных категории: системные или программные сервисы; коммуникационные сервисы; информационные сервисы и сервисы человеко-машинного взаимодействия;

3) для каждой категории сервисов разрабатывается ее функциональность в виде определения групп сервисов, которые в свою очередь структурируются до элементарных сервисов. Для каждой группы сервисов определяются соответствующие ей ссылки на существующие или разрабатываемые стандарты.

Конструктивно архитектура обычно определяется как набор ответов на следующие вопросы:

- что делает система;
- на какие части она разделяется;
- как эти части взаимодействуют;
- где эти части размещены.

В настоящее время архитектура информационных систем, часть из которых АС, реализуется в виде открытой «клиент-серверной» модели. Основным критерием выбора архитектуры и инфраструктуры АС является минимизация ее совокупной стоимости приобретения и эксплуатации. 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 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 др.;
- 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.

Суть OPC проста – предоставить разработчикам промышленных программ универсальный фиксированный интерфейс (т.е. набор функций) обмена данными с любыми устройствами программными компонентами АС. В свою очередь, разработчики устройств ввода-вывода данных дополняют их 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, т.к. 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 рисунке 2 показана структура OPC взаимодействий в АС.

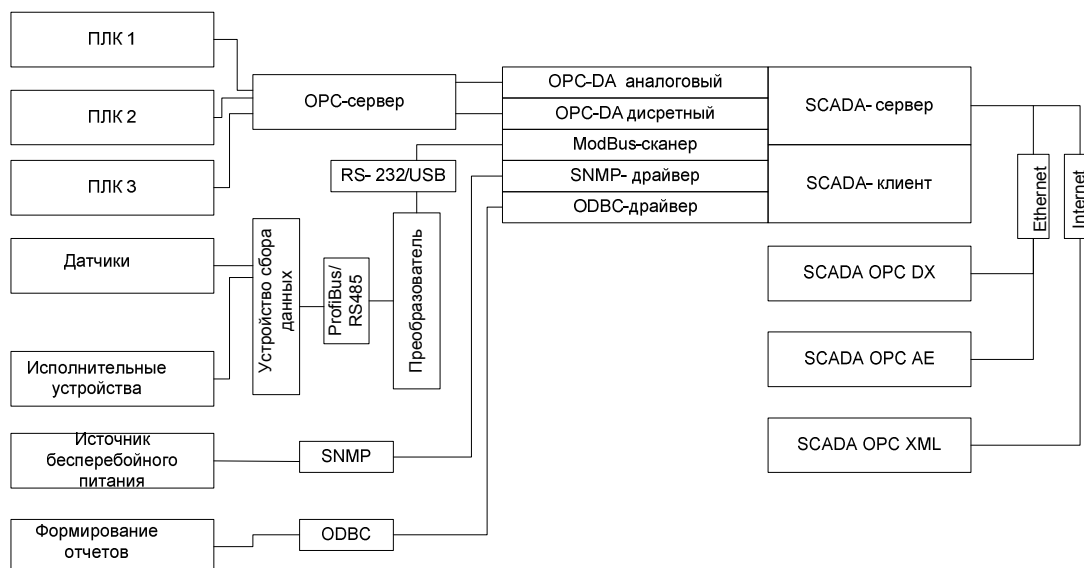


Рисунок 2. Структура OPC-взаимодействий в АС

На рисунке показаны:

- ПЛК, которые связаны посредством OPC- сервера со SCADA.
- Датчики и исполнительные уойства, которые посредством протокола ModBus, связаны со SCADA.
- Источник бесперебойного питания, который посредством протокола SNMP связан со SCADA.
- Формирователь отчетов, который реализует информационный обмен данными в АС с использованием протокола ODBC (Open DataBase Connectivity).

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

ODBC – это программный интерфейс доступа к базам данных (открытая связь с базами данных). Он позволяет единообразно оперировать с разными источниками данных, освобождая разработчика АС от сложного проектирования взаимодействия СУБД различных производителей. Как показывают зарубежные исследования, 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 также 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 u), 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 АС в масштабах предприятия и использует ИТ 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 Industrial Ethernet и использует стандарт TCP/IP (транспортный протокол/ Интернет-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.

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 АС. 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 (сейчас ИТУ-Т) в 1991 г. Подмножество указанных рекомендаций должно составлять профиль защиты информации в АС с учетом распределения функций защиты информации по уровням концептуальной модели АС и взаимосвязи функций и применяемых механизмов защиты информации.

Выбор аппаратных платформ АС связан с определением их параметров: вычислительной мощности серверов и рабочих станций в соот-

ветствии с проектными решениями по разделению функций между клиентами и серверами; степени масштабируемости аппаратных платформ; надежности.

Профиль инструментальных средств, встроенных в АС, должен отражать решения по выбору методологии и технологии создания, сопровождения и развития конкретной 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 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.

К основным задачам, решаемым инструментальными средствами, относятся также разработка, отладка и исполнение программ контроллерами с помощью специализированного программного обеспечения. SoftPLC, которое позволяет превратить встраиваемый компьютер в полнофункциональный программируемый контроллер автоматизации, способный решать задачи PID-регулирования, обработки ввода/вывода и коммуникаций по различным каналам связи.

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

Пример описания архитектуры и профиля АС.

Используя критерий минимальной стоимости владения (эксплуатации) АС, выбираем в качестве ее системообразующей компоненты SCADA-систему Infinity на основе ОС Windows, локальную вычислительную сеть Ethernet и человеко-машинный (HMI)-интерфейс, реализующий экранные формы на дисплее.

Исходя из стратегии последующего развития АС с использованием OPC функций выбираем следующий набор стандартов и OPC-модулей (рисунок 2). И далее описываются назначение и функции всех составных частей этой структуры. В КП могут использоваться не все приведенные на этом рисунке компоненты. В этом случае структуру OPC-взаимодействий следует упростить.

Профиль прикладного ПО АС должен включать в себя стандарты:

- OPC DA (Data Access), описывающий набор функций обмена данными в реальном времени с ПЛК и другими устройствами;
- OPC AE (Alarms & Events), предоставляющий функции уведомления по требованию о различных событиях: аварийные ситуации, действия оператора, информационные сообщения и др.;
- OPC DX (Data eXchange), предоставляющий 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), предоставляющий доступ к уже сохраненным данным;

- OPC Security, определяющий функции организации прав доступа клиентов к данным системы управления через OPC-сервер;

OPC XML-DA (XML-Data Access), предоставляющий гибкий, управляемый правилами формат обмена данными через интранет-среду.

Профиль среды АС должен включать в себя стандарты ...

Профиль защиты АС должен включать в себя стандарты ...

Профиль инструментальных средств АС должен включать в себя стандарты ... Для программирования ПЛК выбираем Open PCS.

Задание по разработке архитектуры и профиля АС

В КП необходимо обосновать содержательный состав OSE/RM-модели ПО АС, осуществить выбор нормативных документов, определяющих требования к функциональному обеспечению АС, к операционной системе, СУБД (если это будет необходимо), стандартам для каналов связи, к ПО инструментальных средств разработки и эксплуатации АС. В ПЗ необходимо описать структуру OPC-взаимодействия выбираемой SCADA, состав ПО АС, описать концепцию взаимодействия программных компонентов АС. Результаты занести в таблицу «Ориентировочная номенклатура базовых стандартов и ПО для профиля АС» (приложение 5). Должны быть описаны функции автоматизации (см. с.23 настоящего пособия). Описание должно включать их целевые нефункциональные характеристики. На основе описания функций должны быть перечислены технологические риски (простои, отказы, потери или искажения данных и т. п., вызванные неправильными проектными решениями, риски бизнес-потерь, связанные с вариативностью функций, которая в свою очередь вызвана тем АС должна быть способна для непрерывного развития). Каждый технологический риск студент должен оценить в терминах бизнес-потерь (примерный процент от стоимости продукции производства).

2.3 Разработка структурной схемы АС

Структурные схемы разрабатывают на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются ими для общего ознакомления с АС управления технологическим процессом.

Объектами управления в технологических процессах промысла и транспорта нефти и газа являются насосные и компрессорные агрегаты, резервуары, вспомогательное оборудование, а также линейные участки нефте- и газопроводов, газораспределительные станции и т. п. Для этих объектов характерны контроль параметров, сигнализация отклонений и дискретное управление клапанами и задвижками. Объекты управления

удалены от пунктов управления на значительные расстояния. Для таких объектов используется централизованное управление [2].

В дополнение к этим функциям при управлении процессами нефтехимической переработки реализуются 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 с взаимозависимыми параметрами, адаптивные системы, системы оптимального управления).

Исходя из этих особенностей объектов автоматизации нефтегазовой отрасли, выдвигаются и соответствующие требования к структуре, а также аппаратным и программным средствам АС, которая реализуется в виде следующих вариантов.

Вариант 1. Управление непрерывными технологическими процессами подготовки нефти и газа их транспортирования, заводскими процессами переработки нефти и газа реализуются с использованием распределенных АС структур (DCS-систем). В таких системах все известные функции автоматизации распределены между различными аппаратными средствами системы управления. Каждый компонент системы узко специализирован и «занимается своим делом». Управление технологическим процессом в целом сводится к централизованному диспетчерскому управлению оборудованием. Централизованное управление реализуется командами *открыть, закрыть, включить, выключить, остановить, запустить* (дискретное управление). Управление на полевом уровне сводится к автоматическому регулированию технологических параметров. Широко развиты функции контроля, сигнализации аварийных ситуаций, блокировок.

Вариант 2. Диспетчерское управление реализуется с помощью SCADA-систем. 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 устройствами.

На рисунке 3–5 представлены структурные схемы представлений комплекса технических средств многоуровневой системы управления технологическими процессами нефтяной и газовой промышленности с различных точек зрения: с точки зрения коммуникационных особенно-

стей; иерархии автоматизированного оборудования и задач, решаемых АС. 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.

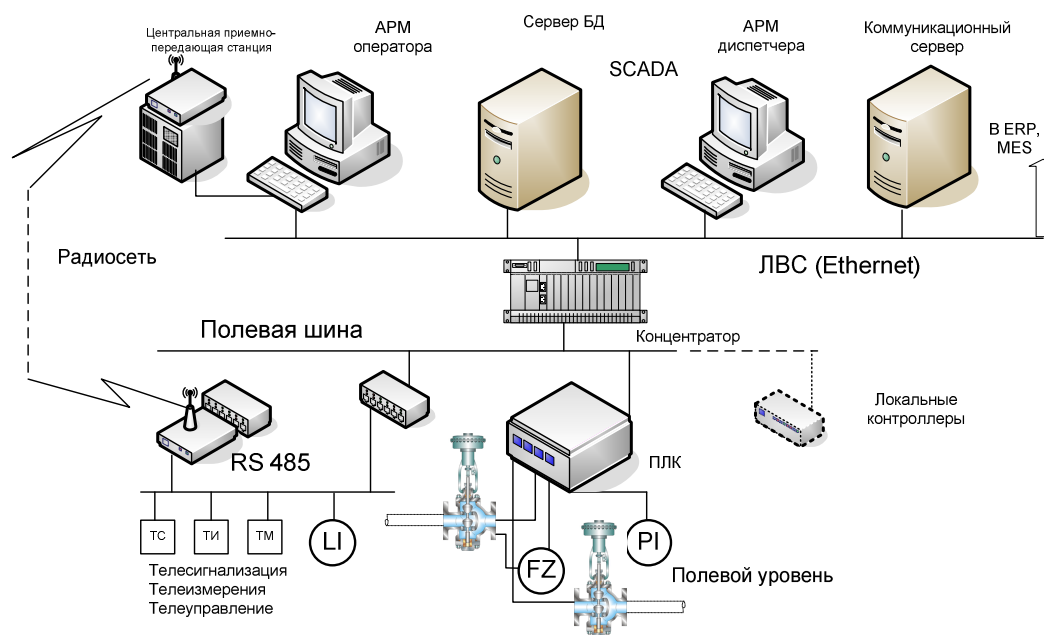


Рисунок 3. Обобщенная структура системы управления

Средний уровень (контроллерный) состоит из контроллеров и прочих устройств аналого-цифрового, цифро-аналогового, дискретного, импульсного и т. д. преобразования и устройств для сопряжения с верхним уровнем (шлюзов). Отдельные контроллеры могут быть объединены друг с другом при помощи контроллерных сетей. Контроллерные сети строятся на базе интерфейсов RS-232, RS-485 или же (при использовании соответствующих контроллеров) Profibus, HART, CAN и других совместимых с серверами OPC- и SCADA-систем.

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) оптоволокну. Протокол передачи данных – для удаленных подключений TCP IP.

Датчики с нижнего уровня поставляют информацию среднему уровню управления локальным контроллерам (ПЛК), которые могут обеспечить реализацию следующих функций:

- сбор, первичную обработку 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.

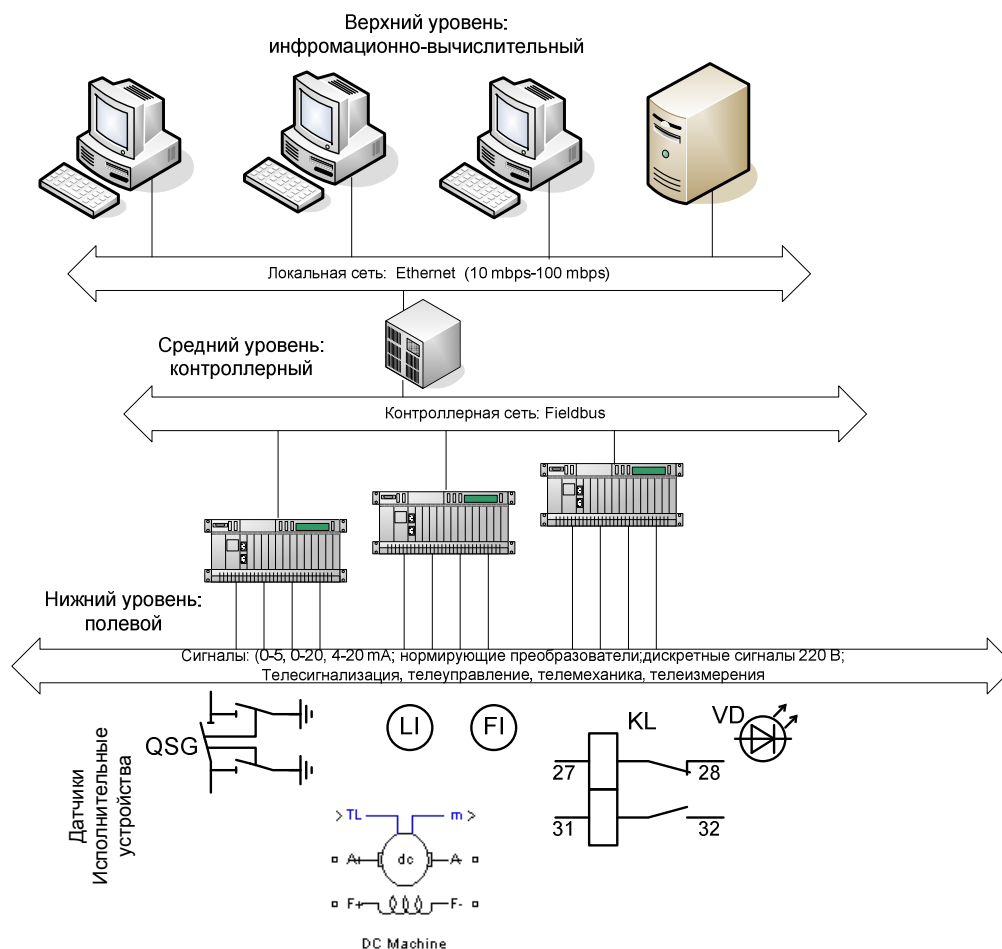


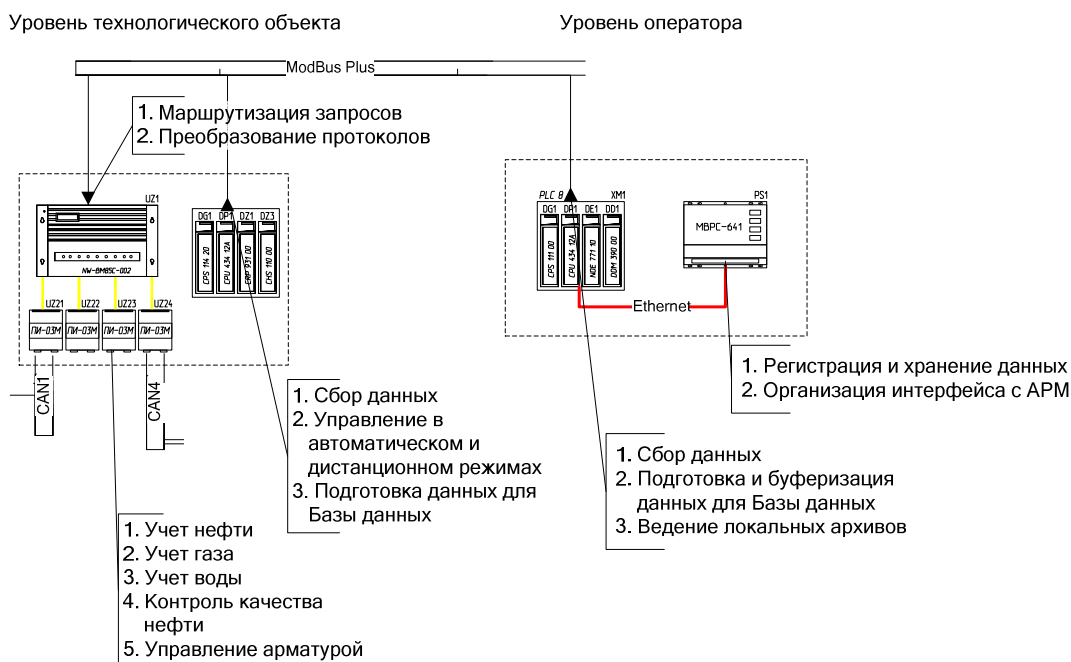
Рисунок 4. Трехуровневая структура АС

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

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

Информация с локальных контроллеров может направляться в сеть диспетчерского пункта непосредственно, а также через коммуникационные контроллеры верхнего уровня. В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, коммуникационные контроллеры) реализуют различные функции (рисунок 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 компьютеры типа IBM PC различных конфигураций.

Компьютерные экраны диспетчера предназначены для отображения хода технологического процесса и оперативного управления. 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, например, RS-485.

Связь различных автоматизированных рабочих мест оперативного персонала между собой, с контроллерами верхнего уровня, а также с вышестоящим уровнем осуществляется посредством Ethernet-информационных сетей.

Пример описания раздела разработки структурной схемы.

Концептуальная структурная схема АС представлена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 03, пример – приложение). АС реализована в виде трехуровневой структуры смешанного типа (распределенное управление и диспетчерский контроль). Нижний полевой уровень реализуется на основе измерительных устройств аналогового и дискретного типов. Для передачи данных о параметрах технологического процесса используются цифровые каналы на основе интерфейса RS-232. Для управления исполнительными устройствами типа задвижка и электрический клапан используются аналоговые унифицированные токовые сигналы 4-20мА.

Средний уровень реализован на основе ПЛК. Для связи ПЛК с верхним (диспетчерским) уровнем используются витые пары Ethernet. SCADA реализована на компьютере АРМ диспетчера....

Задание по разработке структурных схем

Результатом разработки этого раздела должны быть несколько структурных схем автоматизации при «рассечении» АС по уровням управления, уровням обмена информацией, коммуникационному уровню и их описание в ПЗ. Примеры таких схем приведены на рисунках 3–5. Разработанные схемы поместить в альбом. Схемы в альбоме оформить рамкой и штампом с указанием идентификатора (ФЮРА. 425280. 001 ЭС хх).

2.4 Разработка функциональной 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 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 на местном и центральном пультах (щитах) управления.

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, тип 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, иллюстрируемым схемой, и связи между этими частями. Функциональные части и связи

между ними на схеме должны изображаться в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах Единой Системы Конструкторской Документации. Особую роль при этом занимает семантика аббревиатуры КИПиА. Рекомендующим 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.

Общепринятым являются два варианта представления функциональной схемы:

1. 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» [19].
2. 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 (рисунок 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 (LT). На операторском щите осуществляется наблюдение (LA) и ручное (контроллерное) управление (НС). Контур управления замыкается исполнительным устройством (8). На экранах диспетчерского уровня осуществляется мониторинг, управление и конфигурирование АС.

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

Здесь 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 (ESD, *аварийный останов*) электродвигателем 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 тириستоров с помощью сигнала аналогового входа.

Состояние насоса показывается щитовым прибором YSL(H). По этому сигналу формируется логика блокировок YSL, которая отражается затем предупредительной сигнализацией *останов* YAL и сигнализацией *работа* YLH.

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

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

В соответствии с требованиями ГОСТ в системах технологического контроля и управления часто используются комбинированные и комплексные устройства, такие как комбинированные измерительные и регулирующие приборы, микропроцессоры, компьютеры, полуконфигурации телемеханики и т. п. Такие устройства обозначают прямоугольником произвольных размеров с указанием внутри прямоугольника типа устройства (U – несколько разнородных измеряемых величин; Y – преобра-

зования и вычислительные функции; I – показания; R – регистрация; C – управление; S – включение, отключение, переключение, блокировка; A – сигнализация) (рисунок 8).

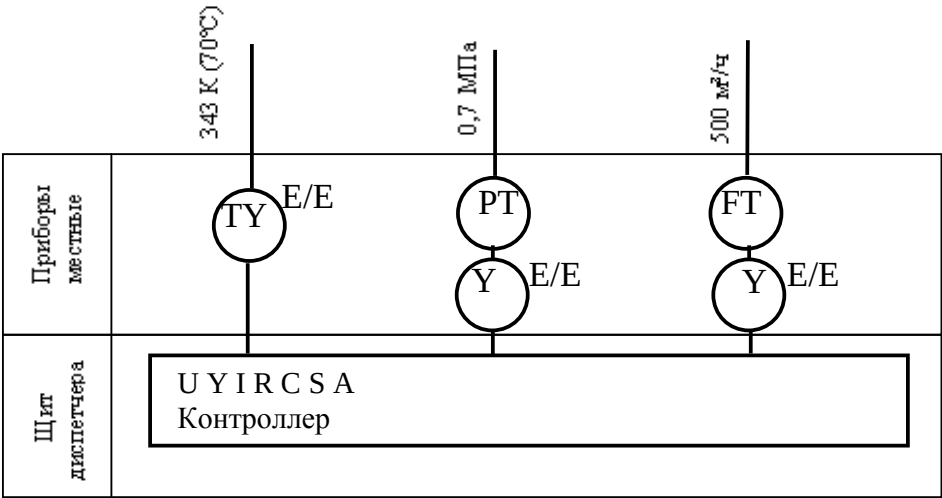


Рисунок 8. Пример щитовой части разнесенного варианта функциональной схемы

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 (рисунок 6) 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 при позиционном обозначении в нижней части окружности проставлять 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 (контура регулирования) 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 (см, например, L- группу на рисунке 6) . 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.

Пример описания раздела разработки функциональной схемы автоматизации.

Функциональная схема АС выполнена согласно требованиям ГОСТ 21.404–85 и приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 07). На схеме выделены каналы измерения (1-8, 11,14) и каналы управления (9-10). Контуров 1-2-9 и 3-10 реализуют автоматическое регулирование давлением и температурой соответственно. Канал 12 служит для формирования сигнала блокировки...

Состав каналов автоматизации и его контуров управления приведен в виде таблицы-перечня КИПиА (приложение 8). Здесь КИПиА сгруппировано по распределительным коробкам (КК), РСУ указывает на использование сигнала в АС или противоаварийной защите, или в системе контроля уровня загазованности и др., А (AI), D (DI, DO) – аналоговые или дискретные входные или выходные сигналы. Общее число Аналоговых сигналов – 3 ... Пределы измерения...

Задание по разработке функциональной схемы

В ПЗ необходимо определить и описать: целесообразный уровень автоматизации технологического процесса; принцип 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 КИПиА-аппаратуры (на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления). Результатом разработки должны быть две функциональные схемы автоматизации, выполненные в соответствии с требованием ГОСТ 21.408–93 и ANSI/ ISA S5.1 и их описание. Обе схемы поместить в альбом. Пример выполнения функциональной схемы автоматизации по ГОСТ 21.408–93 приведен в приложении 7. Контролю должны под-

лежать прежде всего те параметры, наблюдение которых облегчает пуск, наладку и эксплуатацию (управление) технологического процесса. Описание функциональной схемы автоматизации (не путать с таблицей сигналов ТП, см. 2.1) должно завершиться разработкой таблицы состава (перечня) вход/выходных сигналов АС (измерительных, сигнальных, командных и управляющих) (приложение 8).

2.5 Разработка схемы информационных потоков АС

Схема информационных потоков в АС в проектной документации может быть представлена в виде, показанном на рисунке 9.

Здесь выделены уровни формирования и хранения информации в АС. На верхнем уровне информация поступает из базы данных (БД) корпоративного уровня и БД АС. Эта информация для специалистов структурируется наборами экранных форм АРМ. Экранные формы должны быть сориентированы на информационные потребности конкретных пользователей (диспетчеров, технологов, операторов и др.). 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 трех месяцев, прореживаются для обеспечения необходимой дискретности.

Буферная база данных АС является как приемником, запрашивающим данные от внешних систем, так и их источником. Можно сказать, что она выполняет роль маршрутизатора информационных потоков от систем автоматики и телемеханики к графическим экранным формам АРМ-приложений. 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.

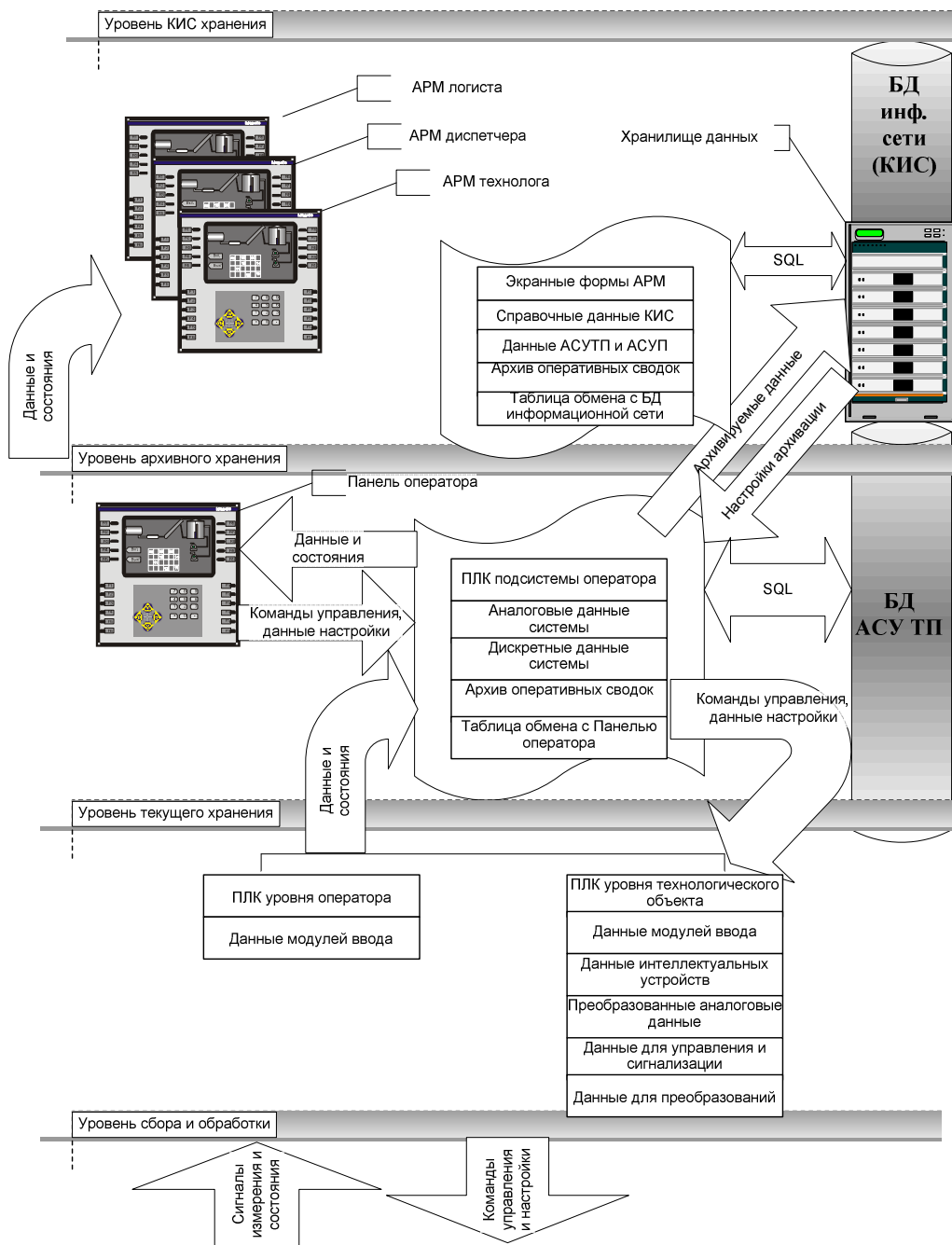


Рисунок 9. Схема информационных потоков в АС

Для решения этих задач на проектном этапе выполнения работ широко применяется концептуальное проектирование базы данных. Цель проектирования заключается в представлении данных в виде, удобном для восприятия различным участникам проекта. АС среднего размера может насчитывать сотни и даже тысячи точек взаимодействия с техническим

процессом. Для систематизации и уменьшения объема данных о процессе в проекте необходимо описать атрибутивную природу соответствующей информации. Обычно это измеряемые величины или бинарные входные-выходные данные типа «включено/выключено» или «норма/ авария». Концептуальная БД процесса придает однородность и структурированность хранимых данных.

Концептуальная БД для АС должна содержать структуру для обработки прежде всего следующей информации:

- параметров всех датчиков и исполнительных механизмов;
- параметров для расчета производных величин;
- возможных событий и соответствующих им реакций управляющих воздействий.

Для регуляризации этой информации в БД используются таблицы и поля записи. Поля записей канала содержат в основном сведения об источнике информации:

- 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 (таблица 1) [3].

Таблица 1. Таблица и поля записей источника информации АС

Имя поля	Значение	Коментарий
code	T_101	Код канала
description	Primary circuit Temp.in	Описание (первичная цепь, входная температура)
type	AI	Тип: аналоговый сигнал

address	1_T_101	Адрес
Event code	1	Код технологического события
Alarm code	4	Код аварии
Sample (sec)	10	Интервал выборки
Raw value	3228	Первичное значение
Converted value	78.8	Преобразованное значение °С
Alarm state	yes	Аварийное состояние
coefficient	0.0244	Коэффициент преобразования
units	°С	Единица измерения
min	50.0	Минимальное значение
max	85.0	Максимальное значение

В первой колонке таблицы указано имя поля (атрибут канала измерения). 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 (1_T_101). Это может означать: 1 – канал, Т – тип измерения, 101 – точка измерения.

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

Код аварии показывает какой характер имеет авария. Код аварии структурируется для индикации степени серьезности или особенности 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.

Концептуальное 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 predetermined 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 аварии с указанием времени события. Другим протоколом является протокол технического обслуживания (замена изношенных инструментов, калибровка, контроль смазки и др.).

Системы SCADA обычно оснащаются собственной базой данных. Эта база содержит элементы данных, называемых тэгами или точками. Точка представляет собой единичный ввод или вывод, значения которого контролируют или регулируют в системе. Точки могут аппаратными или программными. Аппаратная точка представляет собой фактический ввод или вывод в пределах системы, а программная точка формирует результат математических и логических операций с другими точками. Точки обычно сохраняются как пары значений времени, когда событие было зарегистрировано и времени вычисления. Серия пар значений времени представляет собой хронологию данной точки.

Пример описания информационного обеспечения.

В состав информационного обеспечения системы входят следующие сигналы и данные:

сигналы нижнего уровня;
сигналы, передаваемые по сети Modbus TCP/IP между процессорами щитов управления АСУ ТП НПЗ и АРМ оператора;
документы в виде файлов или твердых копий;
электронные файлы, архивы, базы данных;
графические (информационные и управляющие) элементы на мониторах АРМ оператора (видеокадры, окна управления, текстовые сообщения, табличные формы и др.).

Параметры, передаваемые в локальную вычислительную сеть предприятия xxx в OPC формате, включают в себя:

- расход через трубопровод ККК мгновенный, тн/ час;
- расход через трубопровод ККК интегральный, тн;
- температура нефти, °С;
- вязкость нефти, Сст;
- плотность нефти, кг/м³;
- мгновенный расход по линиям, тн/ч;
- температура в устройстве подготовки ВВВ, °С.

Сигналы формируются ПЛК...

Для идентификации параметров измерения и сигнализации используется смешанный буквенно-цифровой шифр. Символьная (буквенная) часть шифра состоит из двух или трех букв. Первая буква (или первые две) обозначают параметр, а последняя указывает на вид информации, поступающей от датчиков (например: Т- измерение, С- сигнализация).

Перечень идентификаторов назначений параметров:

Р - давление или перепад давления;

Т - температура;

L - уровень;

ОК - концевой выключатель открытия...

Числовая часть шифра состоит из трех цифр, сгруппированных в серии, означающие принадлежность данного параметра к определенным технологическим установкам, объектам или системам.

На АРМ диспетчера автоматически формируются различные виды отчетов. Генерация отчетов выполняется по следующим расписаниям:

- каждый четный / нечетный час (двухчасовой отчет);
- каждые сутки (двухчасовой отчет в 24.00 каждых суток);
- каждый месяц;
- по требованию оператора (оперативный отчет).

Отчеты формируются по заданным шаблонам:

- сводка по текущему состоянию оборудования;
- сводка текущих измерений.

Сводка по текущему состоянию оборудования – отчет, в котором приведен список всех технологических объектов контроля и управления с указанием текущего состояния (на момент формирования отчета)...

Задание по разработке схемы информационных потоков АС

В КП в ПЗ необходимо привести следующее описание раздела проекта информационного обеспечения:

- определить (перечислить) объекты (источники данных), которые должны быть в базе данных;
- выявить связи между объектами (входные, выходные, сигнализация, управление и др.);
- определить основные свойства объектов (тип данных, единицы измерений, пределы измерений и др.);
- определить операции, выполняемые при создании и изменении информации (преобразование, масштабирование, вычисление и др.);
- определить набор стандартных запросов;
- описать схему информационных потоков.

Разработанную схему информационных потоков, подобную схеме, приведенной на рисунке 9, необходимо поместить в альбом.

2.6 Выбор средств реализации АС

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

В этом разделе должен быть обоснован выбор измерительных, исполнительных устройств, контроллерного оборудования, а также систем сигнализации.

Измерительные устройства осуществляют сбор информации о технологическом процессе. Исполнительные устройства преобразуют электрическую энергию в механическую или иную физическую величину для осуществления воздействия на объект управления в соответствии с выбранным алгоритмом управления. Контроллерное оборудование осуществляет выполнение задач вычисления и логических операций.

2.6.1 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, которые часто называют устройствами связи с объектом (УСО) (рисунок 10). УСО осуществляют, в случае необходимости, нормализацию сигналов (приведение к унифицированному уровню сигналов), преобразование их в цифровой код и ввод/выводные операции.

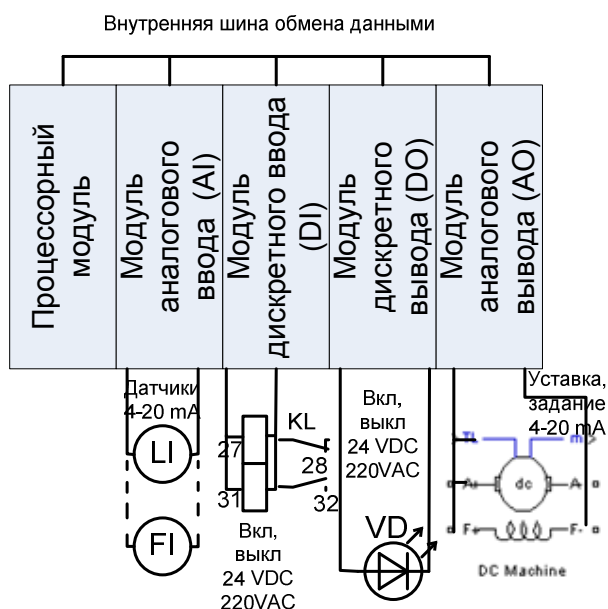


Рисунок 10. Устройства ввода/ вывода ПЛК

Процессорная часть является центральным модулем управления УСО. Она выполняет различные виды вычислений, в том числе вычислительное масштабирование сигналов и логическое обеспечение протоколов обмена информационными кадрами с окружающими объектами.

Как видно из рисунка 10, 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 (АЦП) или цифро-аналоговое преобразование (ЦАП).

Модули ввода/вывода базового назначения бывают четырех 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 mA (токовый сигнал);

0–10 V или 0–5 V (потенциальный сигнал); милливольтный сигнал от термопар (ТС) или сигнал от термосопротивлений (RTD) (в случае не-унифицированного 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 mA. Датчик измеряет давление P , которое в данный момент равно 3 Бар (1Бар= 0,1 МПа). Т.к. датчик линейно преобразует значение измеряемого давления в токовый сигнал, то на выходе датчика будет

$$I_{\text{вых}} = 4 \text{ mA} + 3 \text{ Бар} / 6 \text{ Бар} \cdot (20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}) = 12 \text{ mA}.$$

Вход модуля AI, настроенный на те же диапазоны (4–20 mA и 0–6 Бар), принимает сигнал 12 mA и делает обратное преобразование:

$$P = 6 \text{ Бар} \cdot (12 \text{ mA} - 4 \text{ mA}) / (20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}) = 3 \text{ Бар}.$$

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 V (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 V 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 V. 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 АИ, 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 $I_{\text{вых}}$:

$$I_{\text{вых}} = 4 + (20 - 4) \cdot 0,5 = 12 \text{ мА}.$$

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 характеризуется канальностью – числом входов/выходов, а, следовательно, и количеством сигнальных цепей, которые к нему можно подключить. Например, модуль АИ 4 – это четырехканальный модуль аналогового ввода. К нему можно подключить 4 датчика. ДИ 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 являются: 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.). Ин-

терфейс 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 приема данных от другого устройства, интерфейс нужен лишь для связи микроконтроллера с другими микросхемами.

Коммуникация между контроллером и подсистемой ввода/вывода. Такая коммуникация возможна благодаря интерфейсному модулю, поддерживающему один из принятых коммуникационных протоколов: Profibus DP, Modbus RTU, Modbus +, CAN, DeviceNet, Hart и т. д. Вообще, насчитывается более 50 стандартов промышленных шин.

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

На рисунке 11 показана цифровая шина, объединяющая один контроллер (в виде телевизора) и четыре узла ввода/вывода.

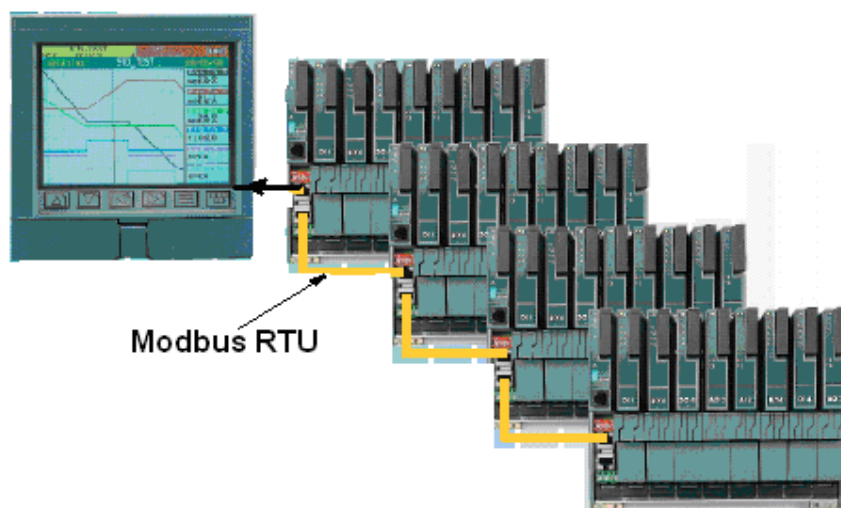


Рисунок 11. Шина ввода/вывода

Пример протокола связи ПЛК с датчиком. 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 перемычками (jumper) в процессе конфигурирования ПО 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.

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 высылает 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 протокола взаимодействия контроллера с узлами ввода/вывода, использующая принцип «запрос-ответ» («команда-подтверждение»). В реальных АС к такому роду сообщениям добавляется множество диагностических, управляющих и сервисных сообщений.

ПЛК реализуются на базе микропроцессорной техники и делятся на классы: нано-, микро-, малые, средние и большие. Первоначально они предназначались для замены релейно-контактных схем, собранных на дискретных компонентах, – реле, счетчиках, таймерах, элементах жест-

кой логики. Сейчас они также решают как вычислительные, так и коммутационные задачи.

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 АС.

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 том числе 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 мегабайтов. 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.

Поскольку речь идет о памяти процессора, который является основным компонентом управляющего контроллера, предпочтительными типами памяти являются динамические ОЗУ (RAM). В свою очередь, флэш-память обладает достаточно высокой скоростью доступа, энерго-независима и имеет невысокую стоимость.

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 та-

ких контроллеров можно привести контроллеры семейства MicroLogix (Allen-Bradley), Direct Logic DL05 (Koyo), 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), LOGO (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 (Koyo) и др.

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).

Параметры контроллера с точки зрения поддерживаемых им каналов ввода/вывода часто могут быть определяющими при выборе. Важно не только количество каналов ввода/вывода, поддерживаемое контроллером, но и разнообразие модулей ввода/вывода по количеству и уровням коммутируемых сигналов (ток/напряжение), 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 0–5 В, 0–10 В, ± 5 В, ± 10 В по напряжению и 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА по току. Есть 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 программно-аппаратных комплексов 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). Т.к. 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 (см. рисунок 12). Модули ввода/вывода на DIN-рейке соединяются между собой специализированным коротким кабелем и могут быть отнесены максимум на несколько десятков метров от центрального.

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.



Рисунок 12. Организация расширенного ввода/вывода ПЛК на DIN-рейке

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

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

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

На рисунке 13 представлена сетевая структура многоуровневой системы управления. В основе такой структуры лежит семиуровневая модель OSI-взаимодействия программно-технических компонентов ЛВС.

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).

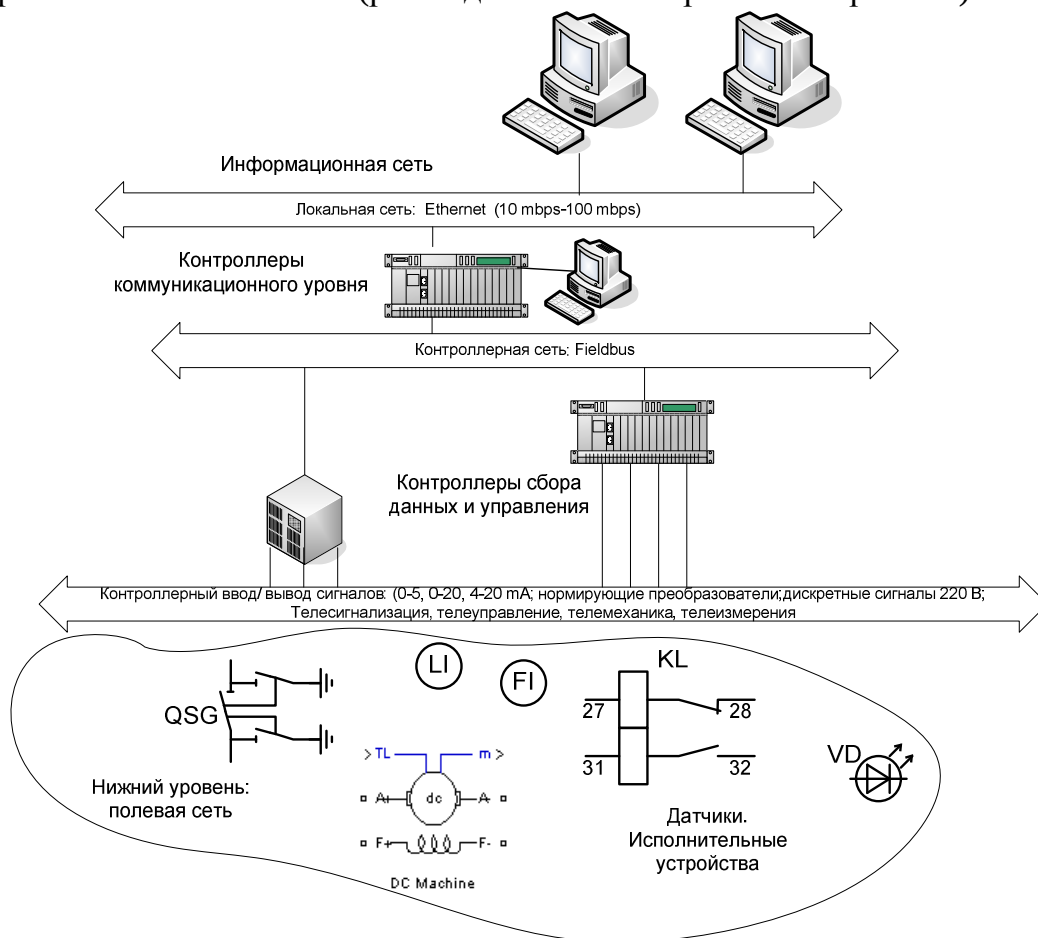


Рисунок 13. Сетевая структура коммуникации ПЛК

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

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.

Сегодня на рынке промышленных сетей присутствуют: CAN, FIP, Profibus, MPI, ControlNet, DH+, Modbus, Modbus plus, Genius, DirectNet, DeviceNet, Interbus, SDS, ASI, HART, FF и еще несколько десятков протоколов. Каждый из этих протоколов 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).

На рисунке 14 приведен пример взаимодействия контроллеров SCADAPack/Slaves через интерфейс RS-485, используя стандартный протокол обмена Modbus. Для связи контроллеров SCADAPack с рабо-

чей станцией через сеть Ethernet использован модуль/шлюз Ethernet 5905.

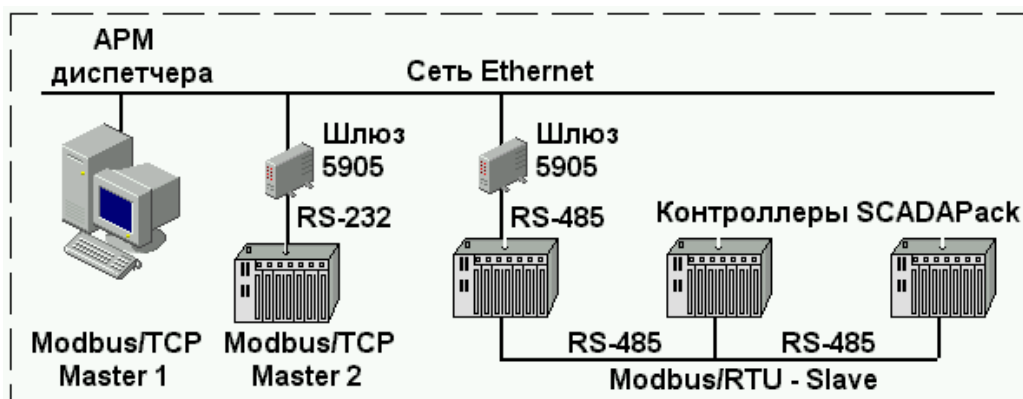


Рисунок 14. Взаимодействие контроллеров по протоколу Modbus

Протокол CAN (Control Area Network) закрывает 1-й и 2-й уровни так называемой базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем (OSI). По своим характеристикам он 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. 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.

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.

Так *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 цен-

трального контроллера (ПЛК, 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. В поле арбитража (ID3-ID9) расположен 7-разрядный адрес устройства (максимально допустимое количество устройств в сети SDS – 126). Тип APDU (3-разрядное поле) определяет тип сервиса (0–7) прикладного уровня, которому соответствует данный APDU. Нулевое значение бита ID10 (DIR) 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 длинной формы APDU содержится код длины (2–8) поля данных CAN-фрейма (2), два первых байта которого содержат спецификатор сервиса (Service Specifier), идентификатор встроенного объекта (EOID) и дополнительные параметры сервиса, а оставшиеся шесть предназначены для передачи собственно данных. При необходимости передачи последовательностей данных более шести байтов используется фрагментированный формат (до 64 фрагментов по 4 байта) длинной формы APDU.

Протокол BITBUS разработан фирмой INTEL в 1984 г. 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 BITBUS 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, однако в этом случае 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 300 м) и 62,5 Кбод (до 1200 м). 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 пе-

редачи 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 – 1000 м 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) 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 CCX 17;
- персональные компьютеры и другие устройства.

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. Каждый назначается для своей задачи: FMS – для передачи больших объемов информации; DP – для решения задач реального времени; PA – для опасного производства.

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

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

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

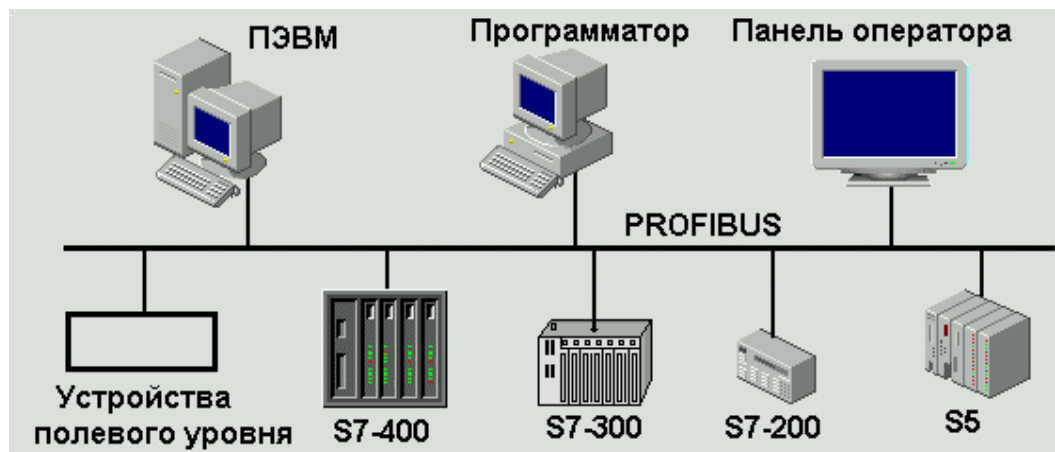


Рисунок 15. Контроллеры Simatic S7 в сети Profibus-DP

Сеть DH+ (Allen-Bradley) поддерживает передачу данных и удаленное программирование контроллеров в дополнение к одноранговой связи между другими процессорами и устройствами (рисунок 16). Магистральная линия сети DH+ может иметь протяженность до 3048 м, ответвления – до 30 м. К одной сети DH+ можно подключить до 64 уст-

роЙств. Скорость передачи данных зависит от длины шины и может на-
страиваться от 57.6 Кбод (3048 м) до 230.4 Кбод (750 м).

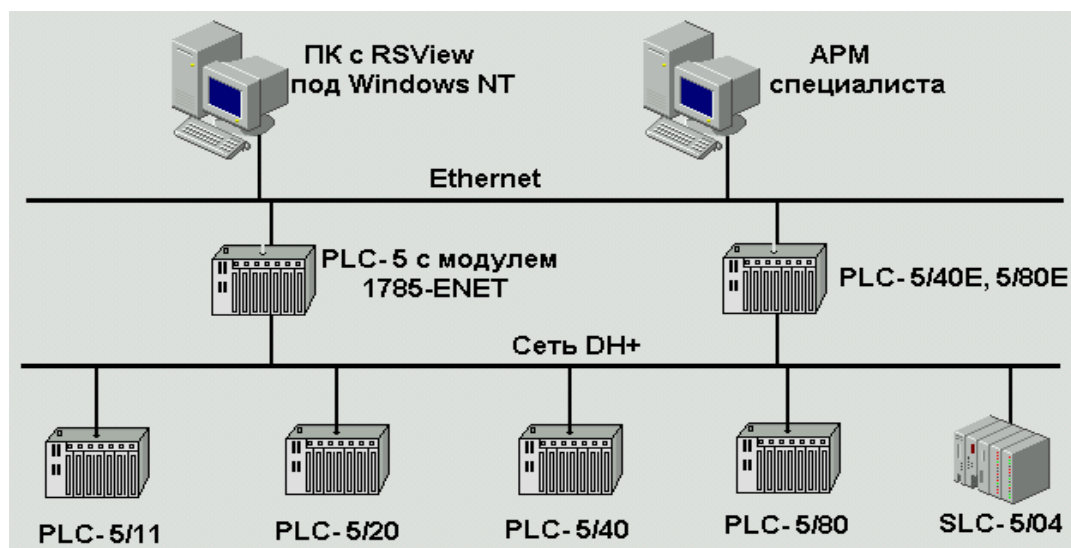


Рисунок 16. Контроллеры Allen-Bradley в сети DH+

Характеристика одноранговой связи:

- отсутствие «мастера»;
- минимальный сетевой трафик;
- любой контроллер инициализирует связь с любым сетевым узлом;
- простота наращивания контроллеров в сети.

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 (рисунок 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. 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 кон-

троллера, который должен их получить. Этот участок доступен всем подключенным к шине ПЛК 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.

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.

Протокол MPI является наиболее распространённым стандартом интерфейса обмена данными в *параллельном программировании*. Существуют его реализации для большого числа компьютерных платформ. Основным средством коммуникации между *процессами* в MPI является передача сообщений друг другу. Стандартизацией MPI занимается MPI Forum. В стандарте MPI 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 MPI. Существуют реализации для языков Фортран 77/90, Си и Си++.



Рисунок 17. Контроллеры фирмы GE Fanuc в сети Genius

В КП для связи ПЛК с внешней средой рекомендуется использовать протокол Modbus.

Условия эксплуатации. Прежде всего, следует определить, 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 до $+50$ °С. 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 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 1–1,5 В.

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 микроконтроллер с расширенным или 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*.

Пример описания раздела выбора ПЛК (резюме в виде ответов на вопросы задания).

Выбранный ПЛК (наименование), обладает следующими характеристиками:

1. Периферийные устройства (дисплей, принтер) не используются.

2. Для УСО ввода/вывода задействованы 4 канала ввода аналоговых сигналов, 2 канала вывода аналоговых сигналы (все унифицированные токовые сигналы).
3. Для реализации алгоритмов управления используются как битовые, так и числовые операции...
4. Общий объем манипуляций для одного ПЛК составляет 100 команд...

.....

Х. Степень защиты – IP-56 по ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)».

Задание по ПЛК

При выборе ПЛК системный анализ требований проекта должен позволить студенту ответить на 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 и 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, 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? Необходима ли работа АС в реальном времени и, если да, 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 должны быть задокументированы в виде резюме в ПЗ.

По результатам выбора необходимо привести блок-схему системы ввода/вывода (УСО) ПЛК (рисунок 9) и технические характеристики УСО и ПЛК.

2.6.2 Выбор датчиков

Выбор датчиков технологических параметров осуществлялся согласно стандартам и 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 АС погрешность, определяющая подбор по классу точности датчика. Пределы измерения с гарантированной точностью.

4. Инерционность датчика, характеризующая 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 датчике.

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

С точки зрения принципа действия и конструктивного исполнения они различаются значительным разнообразием. Эти устройства устанавливаются на объекте и непосредственно взаимодействуют с регулируемым параметром и контролируемой средой. Вид измеряемого параметра, условия монтажа и эксплуатации влияют в значительной мере на выбор ПИП. 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.).

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

- ПИП с токовым аналоговым выходом;

- ПИП с цифровым выходным сигналом;

- ПИП с импульсным (счетным) выходным сигналом;

- ПИП с дифференциально-трансформаторным сигналом.

Этим перечнем выходные сигналы датчиков не ограничиваются. При выборе датчика в КП следует ограничиться только четырьмя основными типами выходных сигналов.

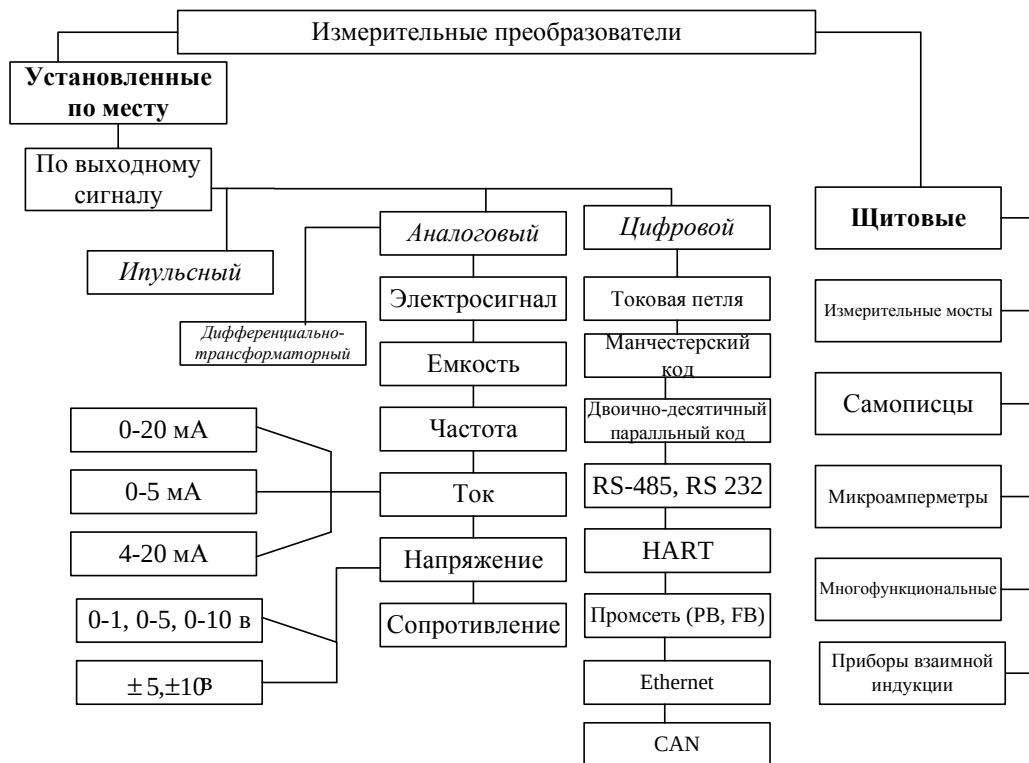


Рисунок 18. Виды сигнально-измерительных устройств

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.

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 (рисунок 19). Ток $i = f(x)$ поступает в линию связи и на входном нагрузочном резисторе R_H 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 $i = i_{\text{макс}}$.

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, как правило, не превышает несколько десятков метров. Число проводов связи между ПИП и ВИП – 2, 3 или 4. Оно зависит от схемы подключения источника питания или от типа чувствительного элемента ПИП (например, термосопротивление).

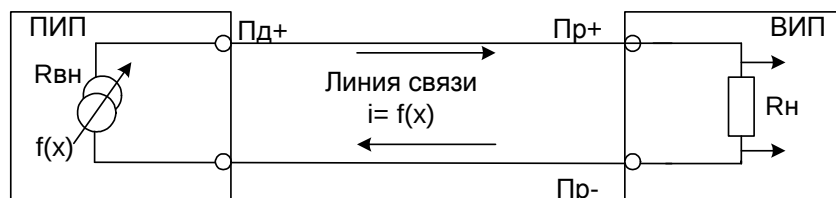


Рисунок 19. Двухпроводная токовая связь ПИП и ВИП

Поставщики измерительных приборов часто ориентируют потребителей на двухпроводный вариант подключения при токовом сигнале $\{4-20\}$ мА и четырехпроводное соединение при $\{0-20\}$ мА (см. рисунок 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, т.к. 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.

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

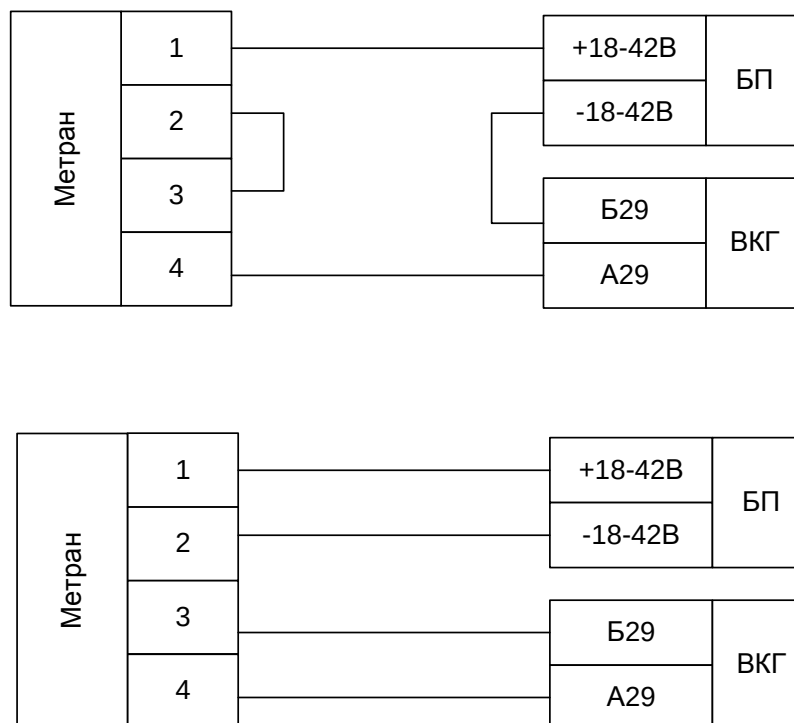


Рисунок 20. Схемы подключения 4–20 мА и 0–20 мА

Для подключения термодатчиков-термосопротивлений (ТС) используются специальные схемы: двух-, трех- 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. Погреш-

ностью, вносимой отсутствием точного равенства, обычно можно пренебречь. Однако для прецизионных измерений лучше использовать четырехпроводную схему подключения ТС.

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

Однако 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 которое работают их изделия. Как показали проведенные ООО «Ленпромавтоматика» эксперименты с продукцией ведущих мировых производителей ВИП, 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 мм^2 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 параметров 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 ВПП, 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 ППП может иметь следующие наиболее распространенные физические интерфейсы (физический интерфейс определяется специальным набором электрических связей и характеристиками сигналов):

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

ППП с токовой петлей (CL) относится к классу универсальных двухточечных радиальных интерфейсов удаленного последовательного доступа к системам. Это соединение широко применяется в промышленном оборудовании, т.к. 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 (рисунок 21) 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).

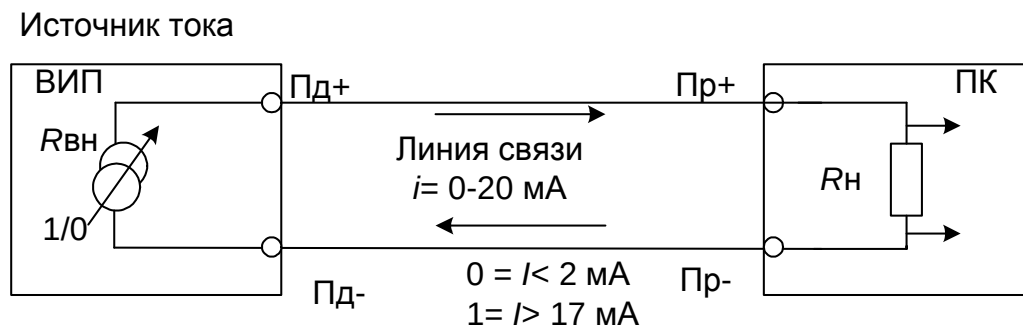


Рисунок 21. Соединение ВИП с компьютером линией связи типа CL

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 ПИП с RS 232 применим для установления синхронной и асинхронной связи только между двумя устройствами в симплексном, полудуплексном (двухпроводный вариант) и дуплексном режимах (четыrehпроводный 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 PC-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, т.к. соединяет только 2 устройства (так называемое соединение «точка – точка»). Сейчас этот интерфейс на небольших расстояниях связи заменяется четырехпроводной USB.

Интерфейс ПИП с RS 485 ориентирован при 1 Мбит скорости передачи на совместную работу до 32 источников и 32 приемников данных (рисунок 22). Такой интерфейс позволяет объединять приборы в разветвленные сетевые структуры, и поэтому в последние годы они все чаще реализуются в различных приборах, в частности в приборах учета энергоресурсов.

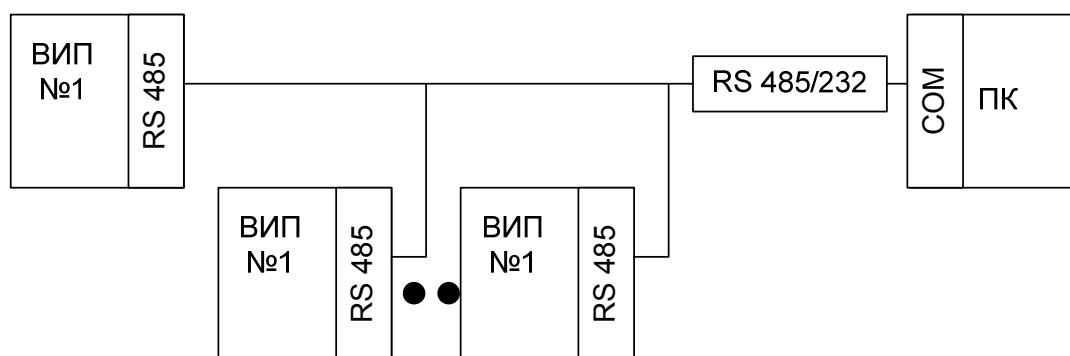


Рисунок 22. Многоточечная связь по интерфейсу RS 485

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.

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

Схема взаимоотношения между узлами сети основана на принципе MASTER/SLAVE. В HART-сети может присутствовать до двух MASTER-узлов (обычно один). Второй MASTER, как правило, освобо-

жден от поддержания циклов передачи и используется для организации связи с какой-либо системой контроля/отображения данных. Стандартная топология HART-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 четырех технологических переменных, а каждое HART-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 оптоволокну или радиоканала. Максимальная скорость передачи достигает 1 Мбит/с на длине линии связи до 30 м. На длине до 5 км скорость не превышает 10 Кбит/с.

Сеть CAN основана на шинной топологии, 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.

Интерфейс Foundation Fieldbus и Profibus часто реализуются на основе электрической сети с шинной топологией. Для передачи сигналов используют экранированную витую пару, соответствующую, как правило, стандарту RS-485. Однако сеть PROFIBUS-PA основана не на RS-485, а на реализации стандарта IEC1158-2 и используется для передачи данных во взрывоопасных средах. Она может использоваться в качестве замены старой аналоговой технологии 4–20 мА. 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)-сенсорными устройствами*, которые позволяют за счет математической обработки информации непосредственно в процессе измерения и активного управления измерением повысить точность, осуществлять необхо-

димую 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 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.

Задание по выбору датчиков АС

При выборе датчиков в пояснительной записке проекта необходимо привести следующие сведения:

- информацию о процессе (температура, жидкость/газ/сыпучий материал, вязкость, плотность, состав, агрессивность, давление, электропроводность);
- тип измеряемого параметра;
- расстояние передачи данных;
- требования к источникам питания, (мощность, напряжение, ток, (не) автономное);

- подсоединение к процессу (стандарт ANSI, DIN, номинал фланца DN/PN, материал, длину выступающей части, резьбу G3/4A, G1A, G1,5A, способ монтажа, камера, патрубок, др.)

- точность (погрешность) измерения (нелинейность, гистерезис, воспроизводимость);

- диапазон измерения датчика;

- индикацию (по месту/нет, выносная или др.)

- единицы измерения датчика (бар, Мпа, кг/м³, м³/час и др.);

- диапазон выходного сигнала датчика;

- условия эксплуатации (открытый воздух, помещение, физическая IP-защищенность, виброустойчивость, температурный диапазон измеряемой среды и электроники, срок службы);

- физические интерфейсы связи с компьютерной средой (RS 232/485, Hart, или др.);

- протоколы связи с компьютерной средой (ModBus, HART, Fieldbus, Profibus, Honeywell, или др.);

- электробезопасность (защита от короткого замыкания, защита от неправильного подключения, электромагнитная EN 61326-совместимость, искробезопасность);

- расходные материалы (например, для газоанализаторов);

- необходимость поверки или калибровки и их примерные сроки;

- ориентировочную стоимость (в том числе расходы в процессе их эксплуатации);

- IQ-уровень обработки сигналов измерения;

- марку датчика;

- положительный опыт применения датчика (в том числе анализ возможностей технической поддержки в период эксплуатации, показатель применяемости, и др.).

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 неоправдано [18].

При расчете погрешности датчика рекомендуется использовать для выбранных каналов измерения перечень составляющих погрешности и их процентный уровень, который приведен в приложении Г [18]. Пример обобщенной структуры измерительного канала для измерения температур с помощью термопреобразователей сопротивления (по ГОСТ 6651–94) АС приведен на рисунке 23.

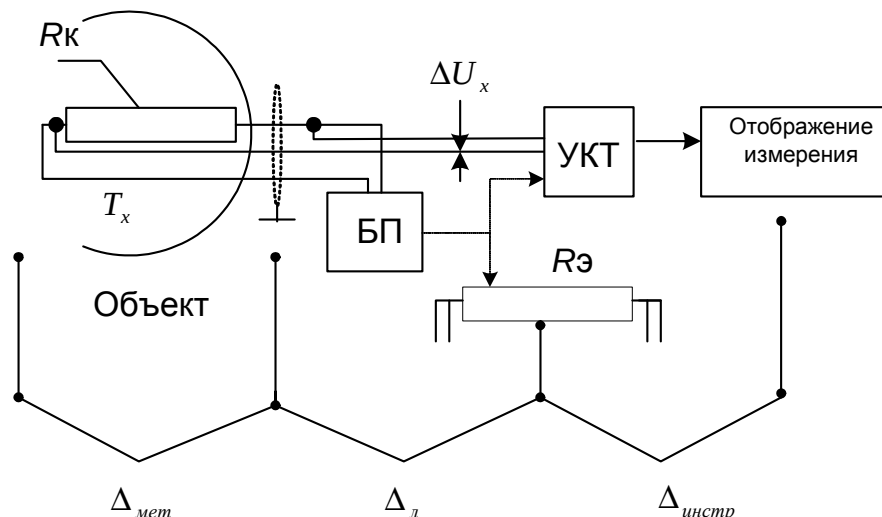


Рисунок 23. Обобщенная структура измерительного канала

Пример расчета требуемой точности измерительного устройства канала измерения в АС. На рисунке 23 приведены: $\Delta_{мет}$ – методическая погрешность датчика; $\Delta_{л}$ – погрешность связей линии; $\Delta_{инстр}$ – суммарная инструментальная погрешность канала измерения программного-технического комплекса АС (АЦП, алгоритм расчетов, визуализация на экране компьютера), R_k – термопреобразователь сопротивления; T_x – измеряемая температура; БП – блок питания; $R_э$ – эталонное сопротивление; ΔU_x – входной сигнал; $\Delta U_x = f(T_x)$; УКТ – блок преобразования аналогового сигнала в код АЦП и передачи информации на отображение..

Погрешность измерения канала может быть определена как

$$\Delta_{измерений} = \Delta_{мет} * \Delta_{л} * \Delta_{инстр} * \Delta_{вф},$$

где $\Delta_{вф}$ – погрешность влияющих факторов; * – знак объединения в сумму;

Пусть в качестве канала измерения выбран и согласован с преподавателем канал измерения давления, для которого заданными является

требование к погрешности канала измерения (не более 0,3 %) с заданной разрядностью АЦП (10 разрядов).

Расчет допустимой 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;

δ_2 – 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 десятиразрядным АЦП, была рассчитана следующим образом:

$$\delta_3 = \frac{1 \cdot 100}{2^{10}} = 0,1 \text{ \%}.$$

Погрешность передачи по каналу измерений $\delta_2 = 0,05$ задается рекомендациями [19];

При расчете учитываются также дополнительные погрешности, вызванные влиянием:

- температуры окружающего воздуха;
- вибрации.

Дополнительная погрешность, вызванная температурой окружающего воздуха, была установлена согласно рекомендации [19]:

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

Дополнительная погрешность, вызванная вибрацией,

$$\delta_5 = 0,3 \cdot 0,19 = 0,057 \text{ \%}.$$

Следовательно, допускаемая основная погрешность датчика давления должна не превышать

$$\delta_1 \leq 0,254 \text{ \%}.$$

Пример резюме по выбору датчика давления.

Датчик давления. Технологический процесс ХХХ характеризуется трубопроводным транспортированием нефти, воды и попутного газа при атмосферных условиях сибирского региона. IP- защита датчиков на

открытой площадке производства должна соответствовать уровню IP-65.

Обобщенная структура измерительного канала давления трубопровода ХХХ показана на рисунке ...

Далее следует привести расчеты допустимой погрешности измерения датчика давления.

По результатам расчета допустимой погрешности измерения датчика давления 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 от 5 до $36 \pm 0,72$ В; масса – 10 кг. Изготовитель – промышленная группа «Метран». Расстояние передачи данных – 50 м. Подсоединение к процессу осуществляется по европейскому стандарту (DIN) на патрубок с резьбой (20 мм).

Выбранный датчик 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. Индикация по месту не предусматривается.

Принцип действия преобразователя основан на использовании тензоэффекта в полупроводниковом материале. Измеряемый параметр поступает в камеру измерительного блока, где он линейно преобразуется в деформацию чувствительного элемента и изменение электрического сопротивления тензопреобразователя, размещенного в измерительном блоке. Электронное устройство преобразует изменение его сопротивления в выходной сигнал. Чувствительным элементом является пластина из монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами, прочно соединенными с металлической мембраной тензопреобразователя. Пластина и полупроводниковый материал не вступают в активную химическую реакцию с окружающей средой, поэтому не требуется периодической оперативной калибровки ПИП.

Калибровка датчика – 1 раз в год.

Датчик этого типа использовался ранее в проектах... и показал себя работоспособным в эксплуатационных условиях Сибири.

2.6.3 Выбор исполнительных механизмов

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 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.

Основой технологических устройств (объектов управления) в нефтегазовой области являются [5]:

- 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.

Каждый из перечисленных технологических устройств управляет своим типом ИУ.

В зависимости от используемой энергии ИУ можно подразделять на следующие виды:

- пневматические (с пневматическим ИУ);
- электрические (с электрическим ИУ);
- гидравлические (с гидравлическим ИУ);
- электропневматические (пневматический ИУ с электропневматическим преобразователем);

- электрогидравлические (гидравлический ИУ с электрогидравлическим преобразователем);
- пневмогидравлические (гидравлический ИУ с пневмогидравлическим преобразователем).

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

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

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

1) регулирующего органа (привода), предназначенного для управления исполнительным механизмом в соответствии с командной информацией, полученной от управляющего устройства;

2) исполнительного механизма – клапана, заслонки и т. д., воздействующих на процесс путем изменения пропускной способности трубопровода.

Клапаны (заслонки) подразделяются на три группы:

ИУ больших расходов (регулирующие заслонки) с коэффициентом пропускной способности $k_v = 20 \dots 20000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

ИУ средних расходов (регулирующие клапаны); $k_v = 4 \dots 1600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

ИУ малых расходов (регулирующие клапаны); $k_v = 0,1 \dots 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

ИУ разделяются на 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. Они технологичнее двухседельных, менее металлоемки, герметичнее. 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, ограничивающий 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. В этих конструкциях 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 на схемах показаны на рисунке 24:

- исполнительное устройство (общее обозначение). Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется, см. рисунок 24, *а*;
- исполнительное устройство, открывающее регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, см. рисунок 24, *б*;
- исполнительное устройство, закрывающее регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, см. рисунок 24, *в*;
- исполнительное устройство, оставляющее регулирующий орган в неизменном положении при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала, см. рисунок 24, *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), см. рисунок 24, *д*;
- автоматическая защита из системы противоаварийной защиты (ПАЗ), см. рисунок 24, *е*;
- технологическое отключение (включение) из системы управления, см. рисунок 24, *ж*;
- регулирующий орган (задвижка, клапан и т. д.), см. рисунок 24, *и*;
- регулирующий клапан, открывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально открытый), см. рисунок 24, *к*;

- регулирующий клапан, закрывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально закрытый), см. рисунок 24, *л*;
- управляющий электропневматический клапан, см. рисунок 24, *м*;
- отсекающий с приводом (запорный клапан), см. рисунок 24, *н*;
- электрозадвижка, см. рисунок 24, *п*;
- пневмоотсекатель, см. рисунок 24, *р*;
- отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т. п.), см. рисунок 24, *с*.

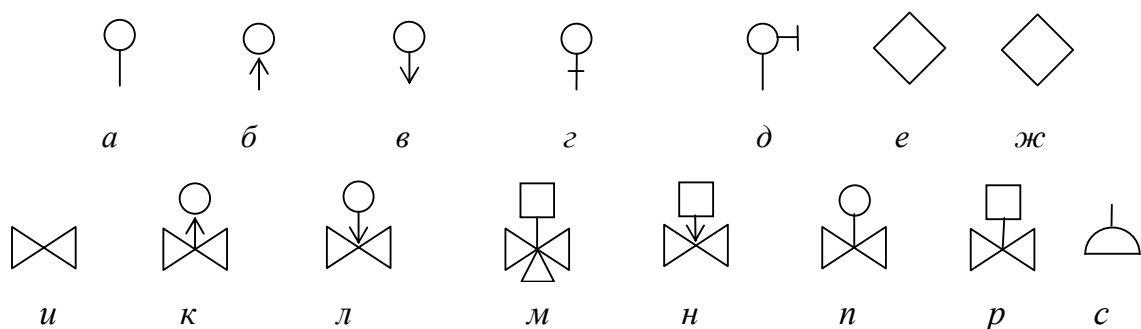


Рисунок 24. Условные обозначения исполнительных устройств

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

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

1. *Дросселирование* потока на линии нагнетания (рисунок 25).

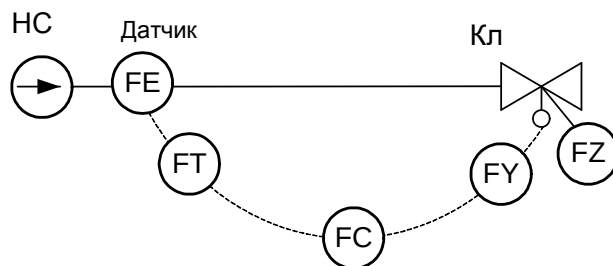


Рисунок 25. Управление расходом посредством дросселирования:

НС – насос (компрессор); Кл – рабочий орган с исполнительным механизмом FZ; FE-FT-FC-FY – контур регулирования расхода (F)

Данный способ регулирования расхода является наиболее простым. Известно, что каждая насосная установка (НС) на выходе всегда должна иметь запорную задвижку. Эта задвижка используется 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 нагнетания, т. к. 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) (см. рисунок 26) 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 НС. Этот способ применяется для насосов с большим внутренним сопротивлением, производительность которых мало зависит от проходного сечения линии нагнетания (например, поршневых, шестерённых насосов). Для таких насосов закрытие регулирующего органа на линии нагнетания приводит к повышению давления в трубопроводе, что может привести к его разрыву.

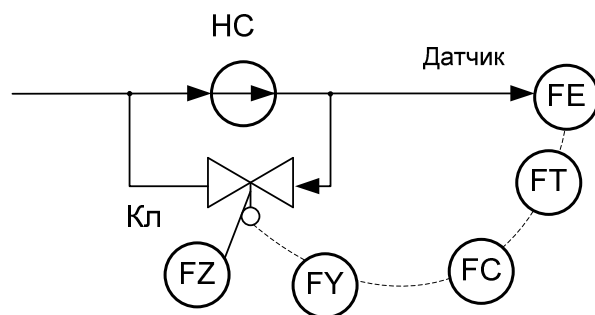


Рисунок 26. Управление расходом посредством байпасирования

3. *Изменение числа оборотов вала насоса* достигается путем применения специальных устройств (типа теристорных преобразователей

частоты), позволяющих менять число оборотов вала электродвигателя. Этот способ в некоторой степени удорожает и усложняет обслуживание установки, но позволяет при регулируемых числах оборотов изменять подачу, напор и мощности насоса.

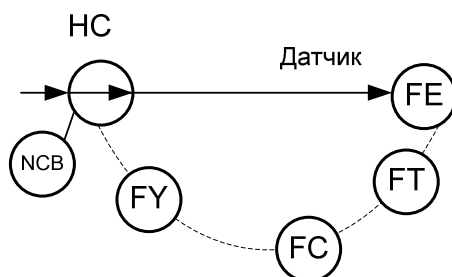


Рисунок 27. Управление расходом посредством изменения режима работы технологического агрегата: NCB – управление насосом

На практике находят применение следующие способы *регулирования уровня*:

1. Изменением расхода жидкости на входе в аппарат – регулирование на притоке (рисунок 28)

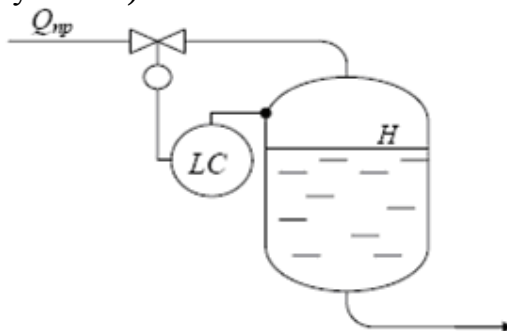


Рисунок 28. Управление уровнем на притоке

2. Изменением расхода на выходе аппарата – регулирование на стоке (рисунок 29).

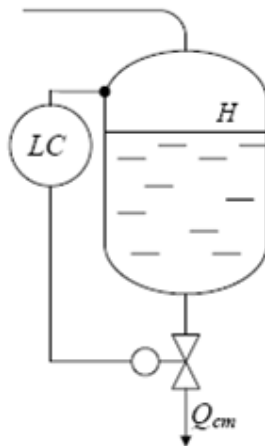


Рисунок 29. Управление уровнем на стоке

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

3. Соотношением расходов на притоке и стоке (см. рисунок 30).

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.

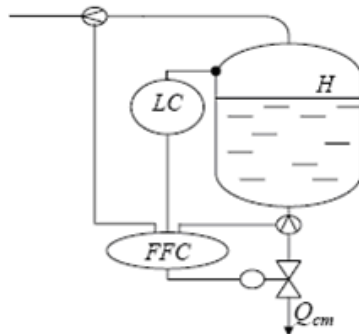


Рисунок 30. Комбинированное управление уровнем

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 окончательном), а в остальных оно уста-

навливается само в соответствии гидравлическим сопротивлением линии аппаратов.

Задание по выбору исполнительного органа технологической установки

В КП необходимо обосновать выбор исполнительного органа и используемую энергию, описать особенности конструкции ИУ.

При выборе ИУ прежде всего следует оценить его основные характеристики:

- Пропускную способность (K_v) – расход (м³/ч) с плотностью, равной 1000 кг/м³, пропускаемой регулирующим органом при перепаде давления в нем в 1 кгс/см² и температуре +20 °С.
- Пропускную характеристику – зависимость пропускной способности от перемещения затвора: $K_v = f(h)$.
- Условный проход D_u , мм, – диаметр входного патрубка клапана.
- Расходную характеристику 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. Алгоритм выбора ИУ приведен на рисунке 31.

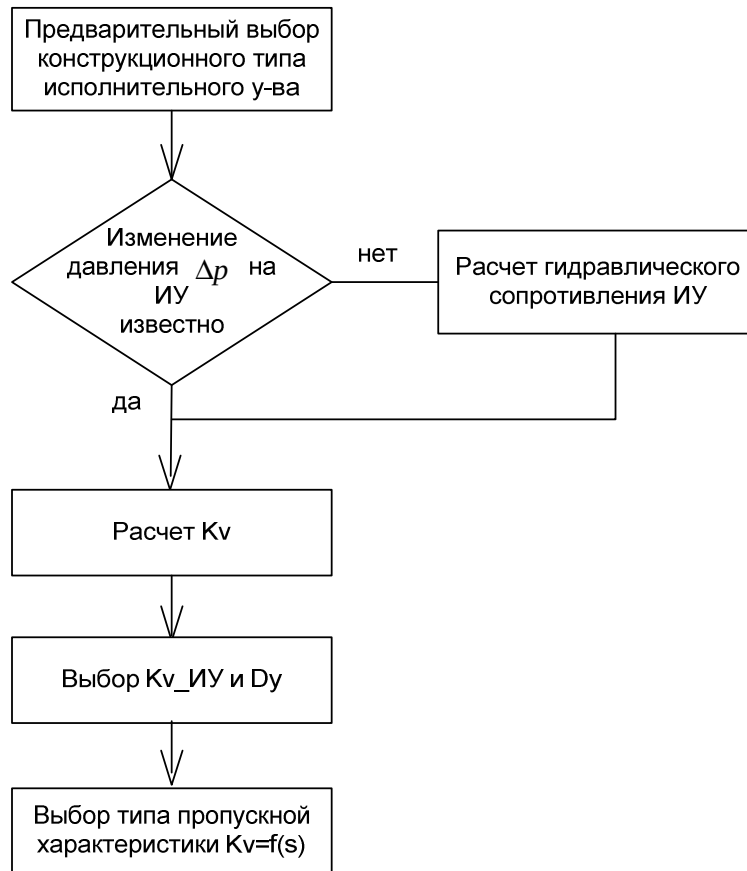


Рисунок 31. Алгоритм выбора (расчета) ИУ

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

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

В зависимости от предварительно заданных параметров при выборе 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/ч).

В этом случае рассчитывают его пропускную способность K_v (м³/час) по формуле

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

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 Kv).

При выборе диаметра условного прохода D_y в пределе от 15 до 25 мм можно воспользоваться таблицей 2.

Таблица 2 Выбора диаметра трубопровода в зависимости от расхода жидкости

D_y , мм	Расход воды Q , м ³ /ч, при перепаде Δp , кг/м ³								
	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

Поскольку расходная характеристика регулирующего органа зависит от гидравлического сопротивления трубопроводной сети, в которой он установлен, необходимо иметь возможность корректировать эту характеристику. 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.

$$dKv = a * dh,$$

где a – коэффициент пропорциональности, * – знак пропорциональности.

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

$$dKv = a * Kv * dh.$$

Различие между пропускной и расходной характеристиками тем больше, чем больше гидравлическое сопротивление трубопроводной сети. Отношение пропускной способности клапана Kv к пропускной способности сети Kvn – гидравлический модуль системы:

$$n = Kv / Kvn.$$

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. При выборе исполнительных устройств в ПЗ проекта необходимо привести следующие сведения:

- физическую величину регулирования (P , F , L , T и др.);
- единицы регулируемого параметра (мм, МПа, г/м³ и др.);
- тип исполнительного устройства, значение K_v и D_y ;
- способ регулирования;
- информацию о процессе (температура, вязкость, жидкий, газ, сыпучий материал, плотность, давление, электропроводность);
- требования к источникам питания (мощность, напряжение, ток, автономное или неавтономное питание, тип кабельного ввода);
- подсоединение к процессу (стандарт ANSI, DIN, номинал фланца DN/PN, материал, длину выступающей части, резьбу: G3/4A, G1A, G1,5A, способ монтажа: камера, патрубков и др.);
- точность (погрешность) регулирования;
- диапазон регулирования;
- индикация (по месту/нет, выносная и 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.).

Пример описания раздела выбора исполнительного устройства.

Для управления расходом нефти в трубопроводе ХХ (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 01, , пример – приложение) принято решение использовать клапан с электрическим приводом. Заданные условия эксплуатации - западная Сибирь.

Выбор клапана осуществлен в соответствии с алгоритмом, приведенным на рисунке хх. Выбрано дроссельное управление расходом нефти. Выбран конструкционный тип клапана – клеточно-плунжерный регулирующие-отсечной типа КМР.

Расчет пропускной способности осуществлен исходя из следующих исходных данных:

Δp_0 – потеря давления на клапане принята равной 1 кгс/см²;

Δp – изменение давления в трубопроводе 2 кгс/см²;

ρ – плотность нефти 890 кг/м³;

$Q_{\max}$ – максимальное значение расхода 0,9 м³/ч.

Расчетная пропускная способность клапана должна быть не менее 0,6 м³/ч.

По таблице 2 получен присоединительный размер клапана к трубопроводу – $D_y = 20$ мм.

Выбран стандарт присоединения клапана к процессу – европейский стандарт DIN.

В соответствии с таблицей, приведенной на <http://www.xxx.yyy>, подтверждено, что пропускная способность клапана соответствует условной пропускной способности клапана КМР, которая приведена в таблице 1 (<http://www.klapan.ru/page.php?pg=3&item=15>).

Для регулировочной характеристики выбрана равнопроцентная пропускная характеристика клапана.

Выбран электропривод КМР – SIEMENS типа “Sipos”. Допустимая погрешность регулирования – 5%. Расстояние до контроллера – 50 м. Тип сигнала управления – унифицированный токовый, 4-20 мА. IP-защищенность электропривода – IP- 65. Клапан с электроприводом типа “Sipos” эксплуатируется на месторождении XXX (серьезных замечаний нет).

Задание по выбору исполнительного устройства

В КП необходимо предварительно задаться типом исполнительного устройства, рассчитать K_v и обосновать выбор типа пропускной характеристики ИУ и диаметр присоединения к трубе путем решения следующей задачи: «Требуется определить значение K_v регулирующего клапана и выбрать его тип при условии потери давления на клапане 0,2 МПа и расходе воды (нефти), равном 0,2 N , где N – номер студента по списку группы (м³/час)». По результатам расчетов необходимо выбрать тип клапана и разработать для него *резюме* (см. пример описания выбора исполнительного устройства в этом разделе).

2.6.4 Выбор системы сигнализации АС

В нефтегазовой отрасли находят применение следующие системы сигнализации:

- системы газосигнализации;
- системы пожарной сигнализации;
- системы аварийной сигнализации;
- системы технологической сигнализации.

Сигнализация – это одна из основных функций АС. Для этого используются звуковые и световые индикаторы, специальные экранные формы.

Сигнализация служит для предоставления следующих видов информации:

- индикация – для привлечения внимания оператора или передачи ему сигнала о выполнении определенного действия. Для этого обычно используют красный, желтый, зеленый и голубой цвета;
- подтверждение – для подтверждения команды, состояния или режима, окончания изменения или переходного периода. Для этого обычно используют белый и голубой цвета. В некоторых случаях может применяться зеленый цвет.

Если между изготовителем и пользователем нет особых соглашений, прозрачные колпачки световых сигнальных индикаторов и ламп должны соответствовать стандартному цветовому коду с учетом режима работы (состояния) машины. В соответствии с ГОСТ 29149 цветам могут быть присвоены другие значения согласно одному из следующих критериев:

- безопасность персонала и окружающей среды;
- состояние электрического оборудования.

Для различения или дополнительной информации и, в частности, для активизации большего внимания используют мигающие огни, применяемые в следующих целях:

- привлечения внимания;
- требования немедленного действия;
- указания на рассогласование между командой и действительным состоянием;
- указания происходящего изменения (мигание во время переходного режима).

Для приоритетной информации рекомендуется использовать наивысшую частоту мигающих огней (ГОСТ 29149 содержит сведения о частоте мигания и отношении импульс/пауза).

Система газосигнализации предназначена для автоматического контроля воздушной среды в газоопасных помещениях: в случае превышения предельных и аварийных установленных уровней система вы-

даёт соответствующие сигналы в контроллер аварийной защиты и в общую систему управления станцией. Газосигнализация является обязательным для всех предприятий, имеющих взрывоопасные и пожаровзрывоопасные производства и производства, в которых могут выделяться вредные вещества в воздух производственных помещений, а также для проектных и конструкторских организаций, участвующих в проектировании или реконструкции указанных объектов.

Автоматическая система пожаротушения (АСПТ) предназначена для автоматического обнаружения, извещения о возникновении очага пожара и его автоматического тушения воздушно-механической пеной. Система АПСТ осуществляет:

- приём и обработку данных с пожарных извещателей, установленных и подключенных к пожарной панели;
- передачу данных в программируемый логический контроллер (ПЛК) системы АСПТ;
- необходимую дополнительную обработку принятой информации в ПЛК;
- индикацию технологических параметров и состояния оборудования в виде графических мнемосхем на экране панели оператора;
- сигнализацию выхода параметров за технологические или аварийные пределы;
- автоматическое ведение журналов событий и тревог;
- вспомогательные функции по настройке параметров принимаемых сигналов, уставок технологических параметров и параметров автоматического управления механизмами;
- защиту от несанкционированного доступа к отдельным функциям системы визуализации через систему парольной защиты.

Система сигнализации противоаварийных защит (ПАЗ) предназначена:

- для приёма и обработки данных с датчиков (в первую очередь датчиков ПАЗ), установленных и подключенных к программируемому логическому контроллеру;
- для сигнализации выхода параметров за технологические или аварийные пределы;
- для выделения достоверной входной информации;
- для определения первопричины срабатывания системы защиты и останова технологического процесса;
- для передачи оперативной информации от системы ПАЗ в РСУ для сигнализации, регистрации и архивирования (отклонения парамет-

ров, срабатывания исполнительных механизмов ПАЗ, реакции на действия персонала и др.);

- для оперативной и автономной диагностики технических средств системы ПАЗ и идентификации неисправностей с точностью до модуля (блока).

В данном КП эти системы разрабатывать не надо.

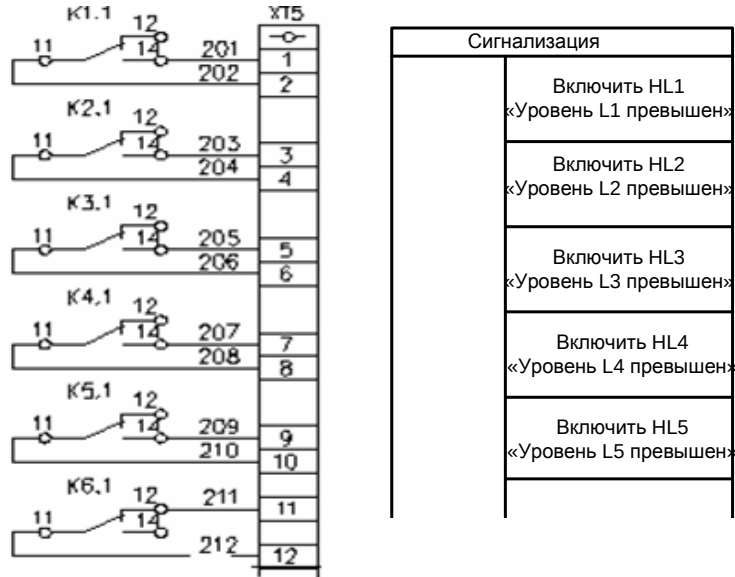


Рисунок 32. Схема технологической сигнализации с использованием ПЛК

Схемы технологической сигнализации. Кроме параметров, требующих аварийных действий, системы технологического контроля имеют большое число параметров (или состояний) производственных механизмов), о которых для нормального выполнения технологического процесса оператору достаточна только двухпозиционная информация (параметр в норме – параметр вышел за пределы нормы, механизм включен – механизм отключен и т. п.). Контроль таких параметров осуществляется с помощью схем технологической сигнализации. Обычно в них применяются релейно-контактные элементы со световой и звуковой сигнализацией (в последнее время осуществляется переход на ПЛК типа Logo). Световой сигнал может быть воспроизведен ровным или мигающим светом, свечением ламп неполным накалом, а звуковой – с помощью звонков, гудков и т. п. Иногда информация о срабатывании защиты или автоматики может быть выполнена с помощью специальных указательных реле – блинкеров. использование ПЛК позволяет легко изменить

алгоритм работы технологической сигнализации программным способом. Для согласования внешних сигналов с входными сигналами контроллера используются «сухие» контакты приборов безопасности и других вспомогательных приборов и устройств. На рисунке 32 показаны формирование шести сигналов технологического предупреждения *K1.1* – *K6.1* (например, сигналов «Уровень выше допустимого»). Здесь показаны входы контроллера (201, 203, 205, 207...) и его выходы о предупреждении.

По назначению схемы сигнализации делят на следующие группы:

- схемы сигнализации положения (состояния) – для информации о состоянии технологического оборудования по типу «открыто» – «закрыто», «включено» – «выключено» и т. д.;
- схемы технологической сигнализации, дающие информацию о значении таких параметров, как температура, давление, расход и т. д.;
- схемы командной сигнализации, позволяющие передавать различные указания из одного пункта управления в другой с помощью световых или звуковых сигналов.

Схемы сигнализации положения проектируются для механизмов, которые имеют два рабочих положения и более. Наибольшее распространение получили два варианта построения схем сигнализации положения: схемы сигнализации, совмещенные со схемами управления, и схемы сигнализации с независимым от схем управления питанием на группу технологических механизмов одного или разного назначения.

В схемах первого типа сигнализация положения может осуществляться одним или двумя световыми сигналами с горением ламп ровным светом. Схемы, построенные с одной лампой, сигнализируют обычно о включенном состоянии механизма и используются редко. Для таких механизмов, как задвижки, заслонки, клапаны, шиберы и т. п., применяются двухламповые схемы.

На рисунках 34 и 35, исходя из учебных целей КП, приведены примеры релейных схем сигнализации. В схеме на рисунке 34, *а* лампа *HL* горит, когда магнитный пускатель *KM* включен; неисправность лампы равносильна ложному сигналу, т. к. погашенная лампа свидетельствует об отключении. Схемы с двумя лампами (см. рисунок 34, *б*) свободны от этого недостатка, т. к. в любом положении магнитного пускателя одна из них горит (*HL1* – пускатель включен, *HL2* – пускатель отключен).

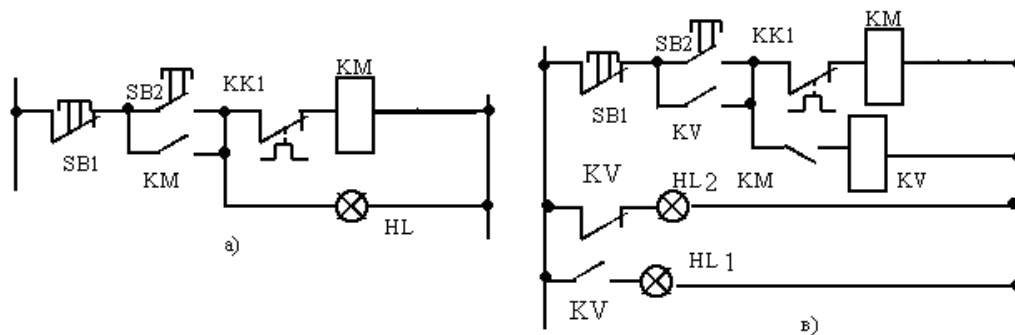


Рисунок 33. Схемы технологической сигнализации

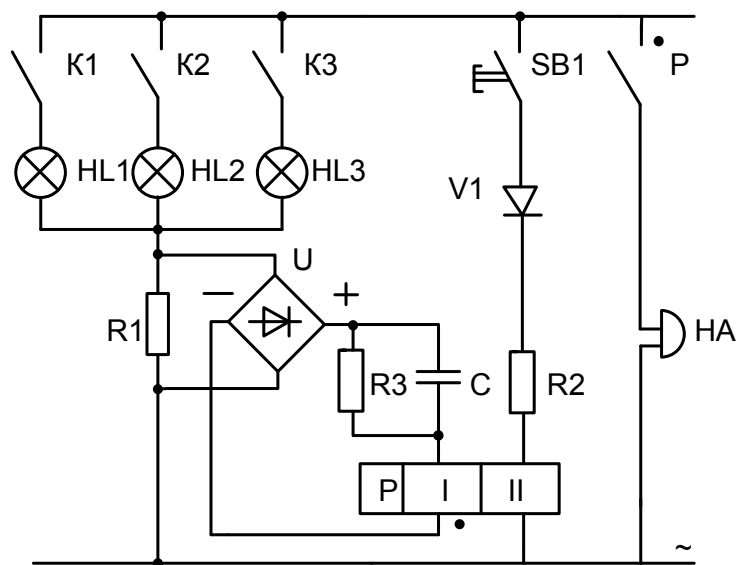


Рисунок 34. Схема импульсной сигнализации

Технологические процессы нефтегазовой отрасли требуют контроля большого числа параметров. Характерной особенностью схем технологической сигнализации является наличие общих схемных узлов, в которых перерабатывается информация, поступающая от нескольких технологических датчиков. Информация от этих узлов выдается в форме звукового и светового сигналов только о тех параметрах, значения которых вышли из нормы или необходимы срочные действия для управления технологическим процессом.

На рисунке 34 показана схема релейной импульсной сигнализации. При возникновении сигнала $K1$, $K2$ или $K3$ включается одна из ламп $HL1$ - $HL3$. С входного резистора $R1$ снимается напряжение под действием которого через катушку I поляризованного реле P заряжается кон-

денсатор *C1*. Реле срабатывает и включает звонок *HA*. Оператор деблокирует (квитирует) его кнопочным выключателем *SB1*, который через добавочный резистор *R2* включает катушку *II*. Направление токов в этой катушке противоположно направлению импульса в катушке *I*, от которого реле сработало, благодаря чему оно возвращается в исходное положение. Диод *V1* необходим, так как поляризованное может работать только при однонаправленном токе. Резистор *R3* служит для разряда конденсатора.

Если число контролируемых параметров более 30, применяются схемы с миганием поступившего сигнала. Алгоритм работы схем технологической сигнализации в большинстве случаев одинаков: при отклонении параметра от заданного значения подаются звуковой и световой сигналы; звуковой сигнал снимают специальной кнопкой; световой сигнал исчезает при уменьшении параметра до допустимого значения.

Командная сигнализация обеспечивает одностороннюю или двустороннюю передачу различных сигналов команд в условиях, когда использование других видов связи технически нецелесообразно, затруднено или невозможно, – например, использование телефона в производственном помещении.

На рисунок 35 приведена схема односторонней светозвуковой сигнализации для вызова наладочного персонала на рабочее место. Вызов осуществляется с этого места нажатием кнопок вызова *SB1-SB3*, которые на щите диспетчера включают световые *HL1-HL3* и звуковой *HA* сигналы. Оператор, установив по световому сигналу номер рабочего места, с которого поступил сигнал, нажатием кнопки съема *SB* приводит схему в исходное состояние. Реле *KV1-KV6* – промежуточные.

Пример описания раздела выбора схемы сигнализации (учебное решение).

Для технологической сигнализации АС XXX на операторном уровне выбирается схема односторонней светозвуковой сигнализации с вызовом оператора на рабочее место. Схема приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 09, пример – приложение). И далее необходимо описать ее функционирование...

Задание по схеме сигнализации о состоянии технологического процесса

В КП необходимо разработать схему односторонней светозвуковой сигнализации релейного типа для вызова наладочного персонала на рабочее место (с общим числом рабочих мест – 3-5), подобную схемам, приведенным на рисунках 34,35.

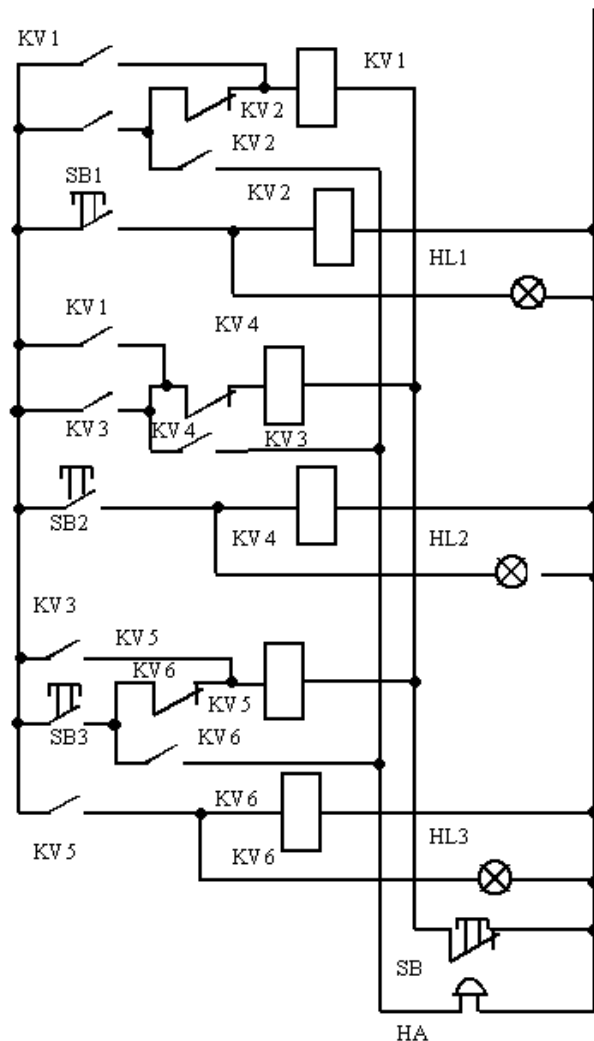


Рисунок 35. Схема вызова наладочного персонала

2.7 Разработка принципиальной схемы автоматизации

Принципиальные электрические схемы (ПЭС) определяют полный 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 отечественных стандартов и обычно совпадают с условными обозначениями, принятыми в мировой практике. Однако иногда, особенно в электрических схемах 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 пультов. 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 чертежа, либо отдельным документом. Допускается объединять элементы в группы в соответствии с местами 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. Принадлежность изображаемых контактов, обмоток и других частей к одному и тому же аппарату устанавливается по позиционным обозначениям, проставленным вблизи изображений всех его частей.

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.

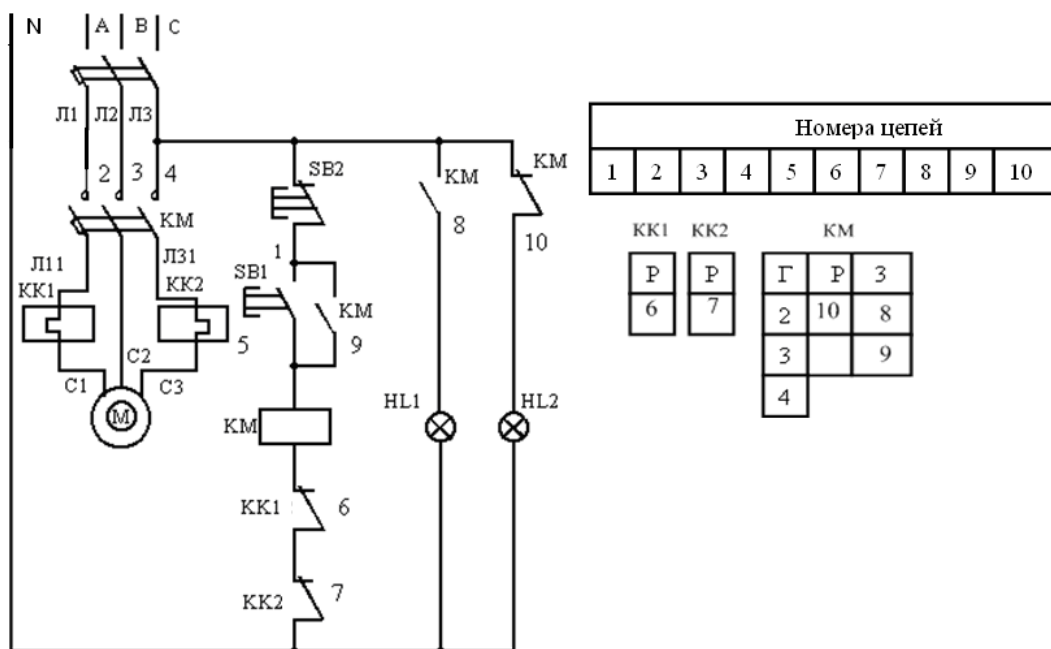


Рисунок 36. Принципиальная схема, выполненная разнесенным способом

На схеме (рисунок 36), выполненной разнесенным способом, приведены три таблички, которые размещены под обозначением обмоток *КК1*, *КК2*, *КМ*. В табличках под *КК1* и *КК2* столбцов *Г* (главные) и *З* (замыкающие) нет, т. к. ни главных, ни замыкающих контактов тепловые реле не имеют, а в столбце *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, 3 и 4. В столбце 3 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 (рисунок 37).

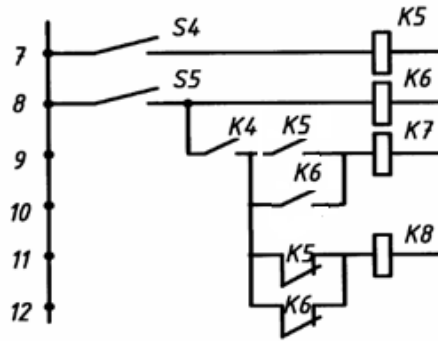


Рисунок 37. Схема релейной автоматики

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 средств автоматизации, 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 по-

мощью 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).

В качестве примера рассмотрим схему управления электродвигателем насоса (рисунок 38) и перечень элементов к ней. Все элементы рассматриваемой схемы имеют одно- или двухбуквенные коды. Например: двигатель *M*, контактор *KM1*, 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 *KM1.1* контактора *KM1* проводами, обозначенными числом *102*.

Катушка магнитного пускателя *KM1* замыкает рабочие контакты и тем самым подает напряжение на двигатель *M* при нажатии кнопок *1SB2*. При этом контактор *KM1* через свой собственный контакт *KM 1.1* оказывается заблокированным. Выключается двигатель *M* при нажатии на кнопку *1SB1*. Все это можно осуществить только в ручном режиме, когда переключатель *1SA1* находится в положении *P*.

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 спецификации «Перечень элементов и устройств». При этом в графе «Наименование», кроме названия типа и марки, приводятся основные технические характеристики элемента или устройства. Например, для двигателя *М* указывается номинальная мощность, частота вращения, напряжение и ток. В отдельных случаях допускается все сведения об элементах помещать около условных графических обозначений (например: параметры реле, резисторов).

Пример описания раздела разработки принципиальной схемы.

Принципиальная схема управления электроприводом приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 08, пример – приложение). Пуск двигателя электропривода может осуществляться как автоматическим, так и ручным способом. Для выбора режима на пульте местного управления переключателем *ХХХ* устанавливается требуемый режим работы. При автоматическом режиме работы необходимая команда поступает из АС. Возможно перемещение привода как вперед, так и назад. При ручном способе пуск осуществляется нажатием кнопки *УУ*, что приводит к срабатыванию контактора *КМ* и подключению двигателя к сети. Для обеспечения реверса....

Задание по ПЭС

В КП необходимо выбрать способ изображения принципиальной схемы, выбрать исполнительное устройство (например: насос, печь, смеситель или др.) в технологической схеме, в MS VISIO нарисовать принципиальную схему его пуска и останова с указанием наименования выбранных элементов автоматики. Пример схемы приведен в приложении.

По результатам выбора необходимо разработать принципиальную схему на формате А4 и описать ее работу. На схеме поместить перечень элементов к ней. Схему поместить в альбом. Пример схемы приведен в приложении 9.

2.8 Разработка схемы соединения внешних проводок

Схема соединений внешних проводок (ВП) [19] – это комбинированная схема, на которой изображаются электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом, инженерном оборудовании и коммуникациях (трубопроводах, воздуховодах 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.). Схемами соединений 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, т. е. 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 ВП 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. 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).

Схемы ВП 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 ВП выполняются 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 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 ВП 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 ВП и подключения выполняются 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 мм.

На схемах ВП в верхней ее части, а при большой насыщенности схемы приборами в верхней и нижней частях, в зеркальном изображе-

нии, размещают таблицу с поясняющими надписями в соответствии с рисунком 39.

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

Рисунок 39. Таблица в схеме внешних проводов

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).

Приборы, не имеющие номеров электрических внешних выводов (например, соединительные коробки), на схеме ВП изображают упрощенно, в виде прямоугольника, без сборок зажимов и без сальников соответственно.

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, 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 40):

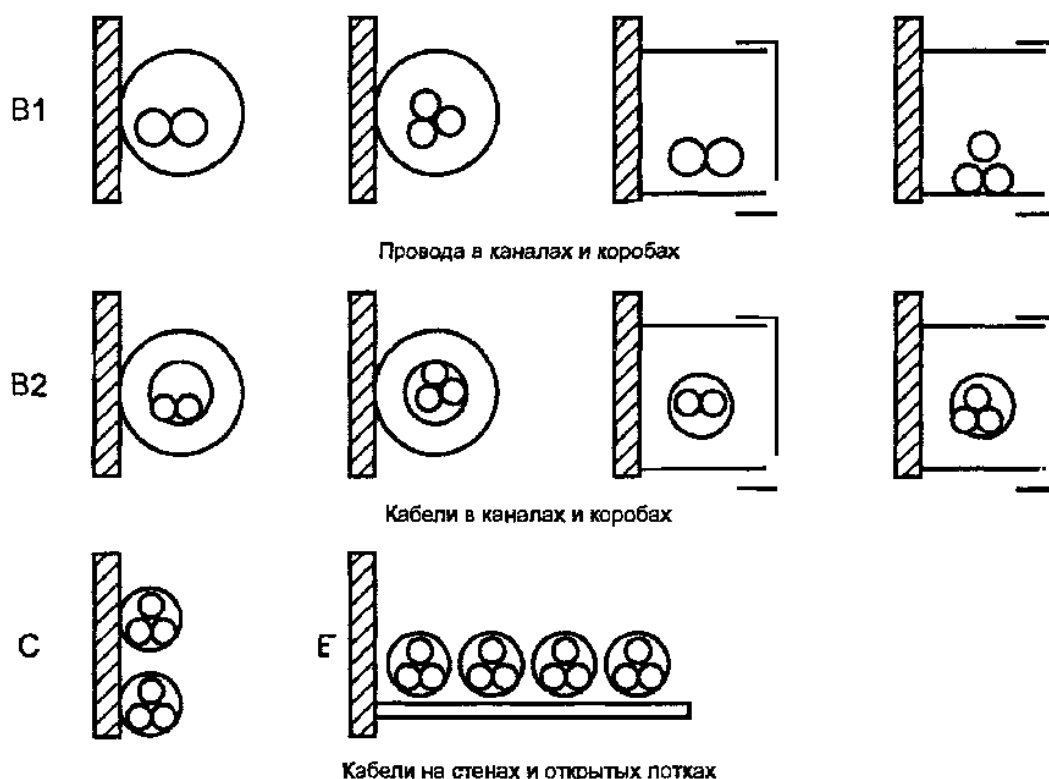


Рисунок 41. Методы укладки кабелей и проводов:

В1 – коробка и кабельнесущие каналы для поддержки и защиты проводов (одножильные кабели); В2 – то же, что В1, но с многожильными кабелями; С – кабели, прокладываемые на стенах без коробов и каналов; Е – 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 [17]. В нижней части формата располагают внешние приборы, щиты и другие технические средств-

ва. В случае принятых проектных решений на щите показывается DIN-рейка с контактной группой (рисунок 42).

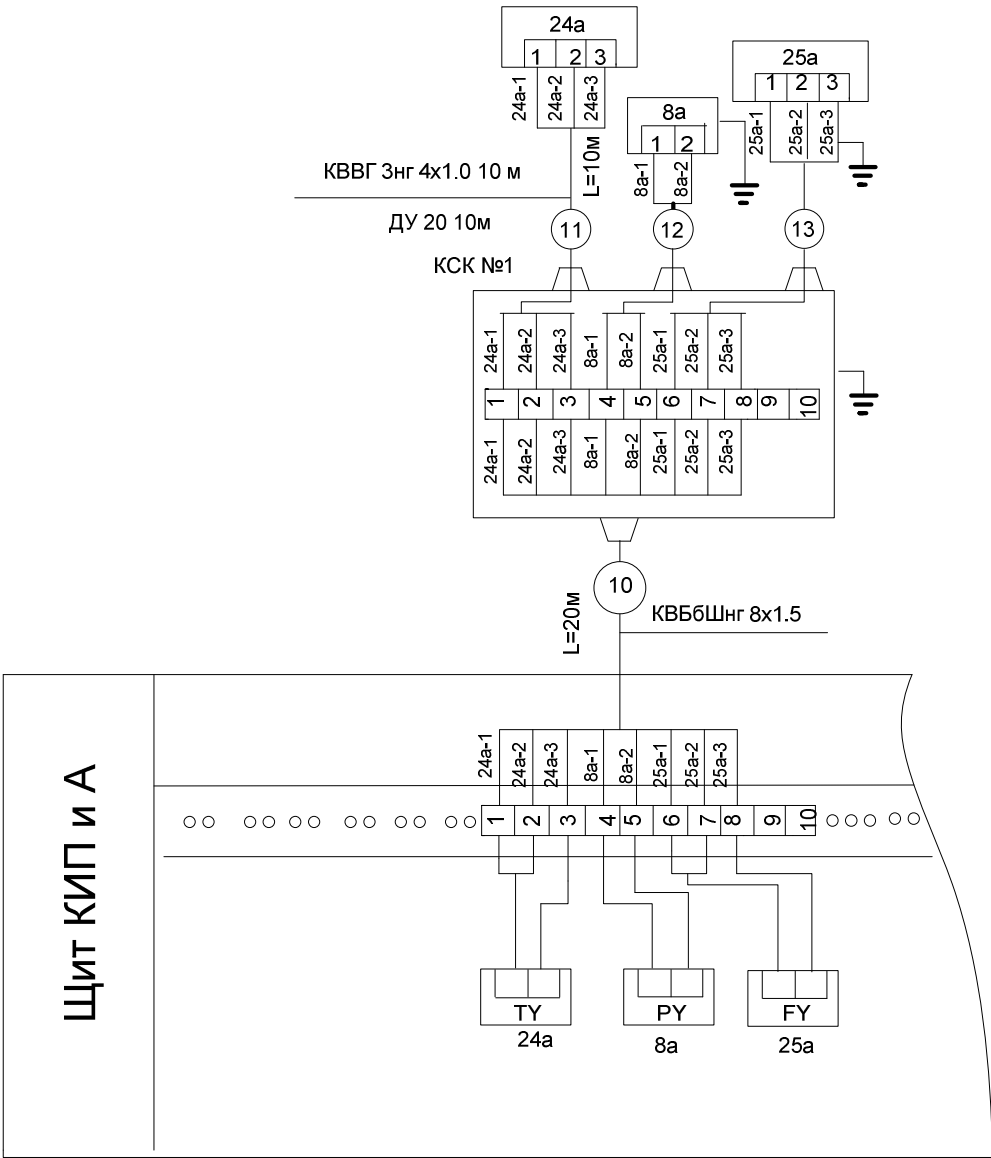


Рисунок 42. Фрагмент схемы внешних проводок

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 черте-

жа. 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 ВП.

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

Схемы ВП показывают взаимное расположение приборов и устройств на щитах и пультах и их взаимосвязь. В АС различают схемы шкафа управления оборудованием полевого уровня (рисунок 43) и внешней проводки коммуникационного шкафа (рисунок 44).

Здесь на рисунке 43 показана внешняя проводка для схемы управления двигателем (см. рисунок 38). На рисунке 44 показана связь между релейной контактной группой дистанционного управления этим же двигателем и устройством дискретного вывода.

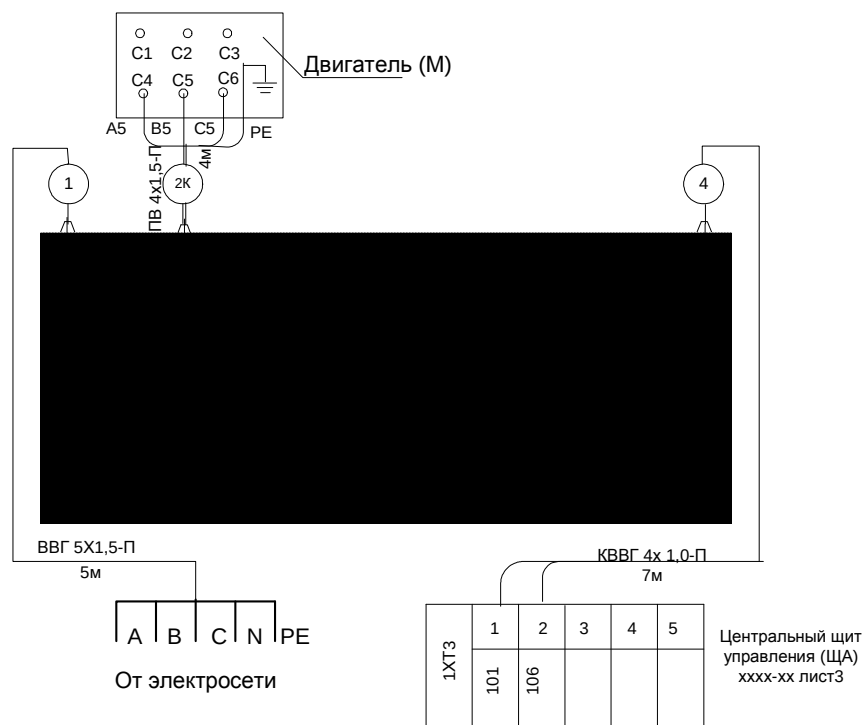


Рисунок 43. Пример схемы подключения внешних проводок

насоса полевого уровня АС

Наименование параметра	Уровень		Состояние насоса	Дистанционный вкл/выкл клапанов				
Место отбора импульса	Емкость ЕПЗ	Емкость ЕП4	«Пуск НЗ»	«Вкл\ состояние» Кл13	«Вкл\ состояние» Кл14	«Вкл\ состояние» Кл15	«Вкл\ состояние» Кл16	«Выбор ЕПЗ\ ЕП4
Тип датчика	Q45U	Q45U		Реле 3SJ52P	Реле 3SJ52P	Реле 3SJ52P	Реле 3SJ52P	
Поз. обозн. чертежа	104	105	106					
Позиция	4	5	6	14	15	16	17	18

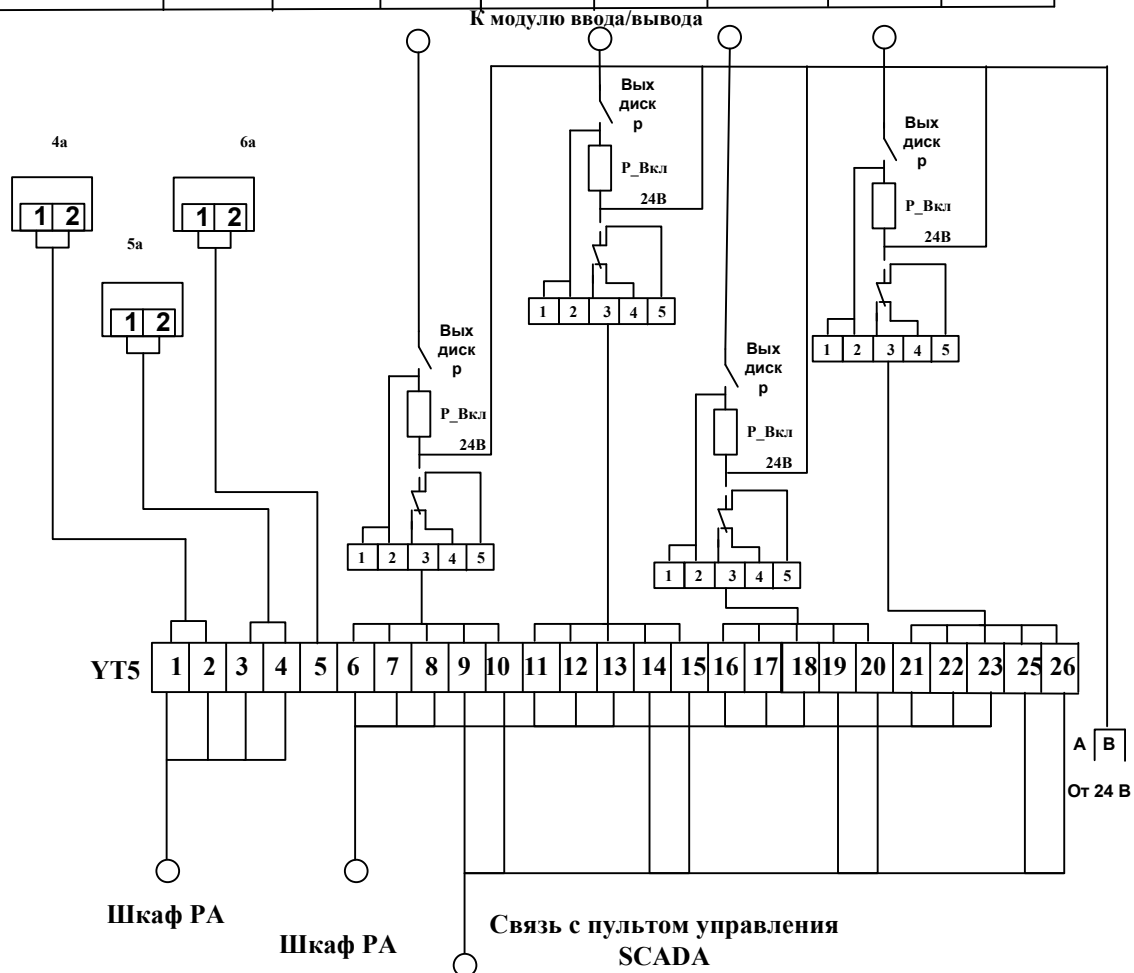


Рисунок 44. Пример схемы подключения внешних проводов устройства ввода/вывода SCADA

Номера проводов указывают в окружностях, помещаемых в разрыве линий. Подвод питания осуществляется от электросети кабелем №1 марки ВВГ, пятижильным, сечением 1,5 мм², проложенным в пластмассовой трубе длиной 5 м. Электродвигатель *М* связан со щитом местного

управления *ЩМУ1* кабелем ПВ 4х1,5 (2К), выполненным четырьмя медными проводами марки ПВ сечением 1,5 мм, уложенными в пластмассовом коробе длиной 4 м. Дистанционное управление двигателями от центрального щита управления ЩА осуществляется с помощью четырехжильного контрольного кабеля КВВГ сечением 1,0 мм, проложенного в пластмассовой трубе длиной 7 м.

Пример описания раздела разработки схемы внешней проводки.

Схема внешней проводки приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 05, пример – приложение). Первичные и внешитовые приборы включают в себя датчик температуры ХХХ, расположенный на сепараторе КК, датчик уровня ЛЛ, датчик... Датчик температуры имеет встроенный преобразователь сигнала термосопротивления в унифицированный токовый сигнал 4-20 мА. Электрическое питание датчика осуществляется согласно схеме, приведенной на рисунке 20. Для передачи сигналов от датчиков давления, уровня на ПЛК используются по два провода. В качестве кабеля выбран КВВГ. Это - кабель с медными токопроводящими жилами с пластмассовой изоляцией в пластмассовой оболочке, с защитным покровом и предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам и распределительным устройствам номинальным переменным напряжением до 660 В частотой до 100 Гц или постоянным напряжением до 1000 В при температуре окружающей среды от -50°С до +50°С.

Медные токопроводящие жилы кабелей КВВГ выполнены однопроволочными. Изолированные жилы скручены. Кабель прокладывается в трубе диаметром 20 мм...

Задание по схеме подключения внешних проводок

В КП, согласно ГОСТ 21.409–93, РМ 4-6–92 и функциональной схемы автоматизации технологических процессов, на схеме внешней проводки, следует указать подключения внешних проводок в коммуникационном шкафу и шкафу (щите) релейной автоматики управления технологическим оборудованием. Необходимо указать тип и длину кабеля и тип и длину защиты кабеля от механических повреждений. Схему поместить в альбом схем. Пример схемы приведен в приложении 10. В ПЗ необходимо привести обоснование способа проводки кабеля.

2.9 Разработка шкафов, схем соединений и расположения АС

Конструкция шкафов локального управления, 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 на-

значения 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.

Схемы соединений шкафов в отличие от чертежей общих видов 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 монтажной 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, т. е. 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.

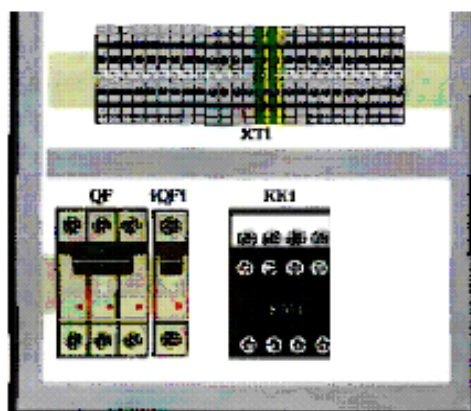
Для выбранной принципиальной схемы управления двигателем насоса (см. рисунок 38) возможный вариант эскизной монтажной схемы пульта управления местного уровня (ЩМУ1) показан на рисунок 45. Расположение аппаратуры на схеме примерно соответствует фактическому размещению в конструкции шкафа. Рядом с каждым 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 (см. рисунок 38) 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). Вторым концом 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 XT1), который на втором конце имеет маркировку 11-1. Провод, соединяющий клеммник 12 XT1 с контактом теплового реле KK1, 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 25×25 мм с их установкой по месту»; «Клеммные колодки устанавливать на рейки DIN», «Провода, соединяющие клеммник XT1 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 PE.

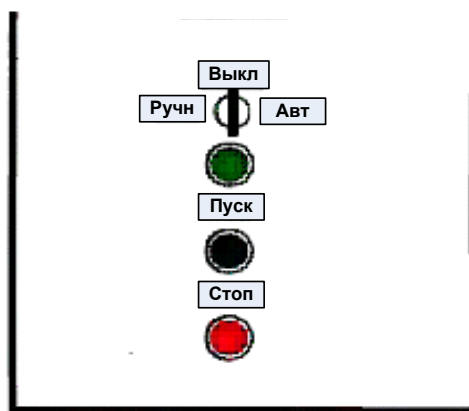
Правильное взаимодействие всех элементов автоматики и нормальная работа всей системы возможна только при соединении их в соответствии со схемами подключения внешних проводок.

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.

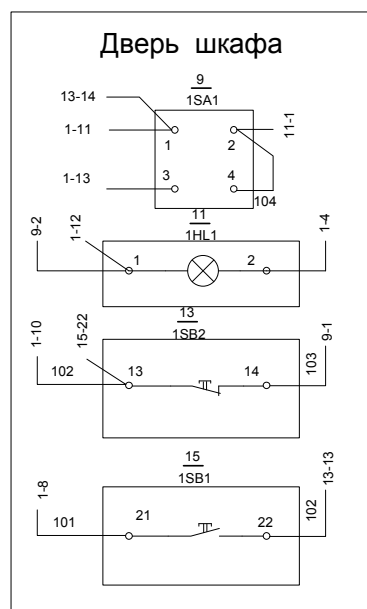
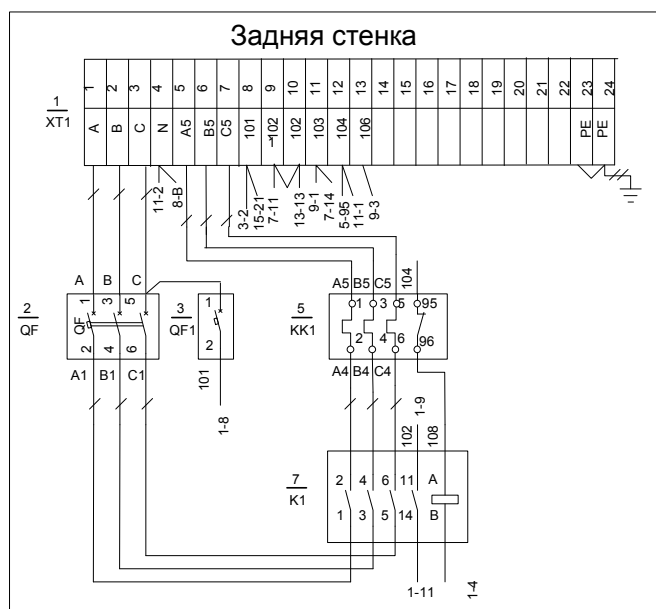
На рисунке 46 показана схема расположения оборудования АС помещения оператора. Питание щита местного управления 5 осуществляется проводной линией 1, проложенной в трубе вводного щитка 8. Проводные линии 2 и 3, проложенные в закрытых коробах, соединяют ЩМУ1 с двигателями 6 и 7. Проводная линия 4 обеспечивает через ЩМУ1 автоматическое дистанционное управление двигателями от щита автоматики (ЩА) 9, расположенного в операторном помещении



Задняя стенка



Дверь шкафа



Монтаж выполнить для цепей, обозначенных

- проводом ПВ1х1,5 мм²
- проводом ПВ1х1,5 мм² желто-зеленого цвета, остальные цепи ПВ1х1,0

Рисунок 45. Схема соединений щита местного управления (ЩМУ)

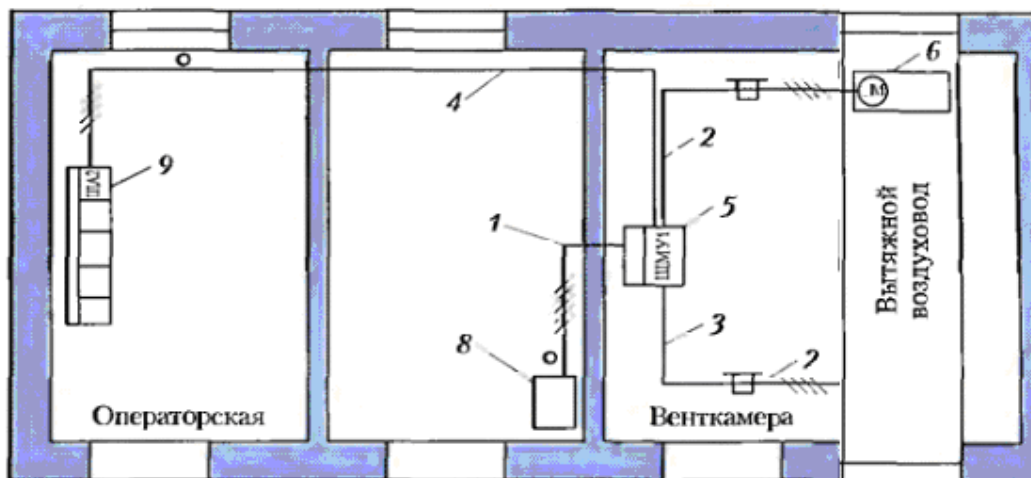


Рисунок 46. Схема расположения

Пример описания раздела разработки схемы расположения.

Схема расположения компонентов АС в диспетчерском помещении приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 06, пример – приложение). Спецификация оборудования включает в себя:

- Сервер ввода/вывода – HP ProLiant ML350 G5 (416894-421)
- АРМ – HP Compaq dc7700 Convertible MiniTower (RN344ES)
- Монитор TFT 21"Клавиатура, мышь, колонки
- Источник бесперебойного питания PW9155-8I-SL-28-64x7Ah-MBS
- Коммутатор Allied-Telesyn AT-8624T/2M
- Адаптерная панель SC KPC-16
- Стойка серверная NetShelter VX 42U Enclosure w/Sides Black

Задание по разработке схемы расположения

В КП необходимо на основе полученной у преподавателя эталон-схемы разработать схему шкафа (приложение 11) и схему расположения оборудования в диспетчерском помещении. В ПЗ дать описание и привести спецификацию оборудования, приведенного на схеме расположения оборудования АС.

2.10 Выбор (обоснование) алгоритмов управления АС

Документ «*Описание и логические схемы алгоритмов*», в зависимости от специфики АС, допускается разрабатывать как документ «*Описание алгоритмов*», или как документ «*Логические схемы алгоритмов*» [15].

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*» приводится:

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:

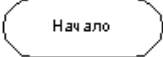
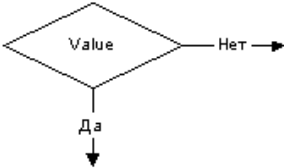
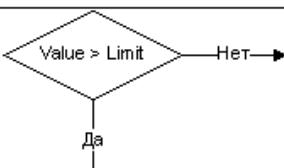
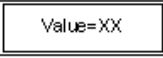
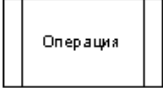
- 1) графический, в виде схемы;
- 2) табличный;
- 3) текстовый;
- 4) смешанный графический или табличный с текстовой частью.

Способ представления алгоритма выбирает разработчик, исходя из сущности алгоритма, своего опыта и возможности формального описания действий.

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 завершенных программных блоков, помещаемых в ППЗУ контроллеров).

Таблица 3

	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

- Алгоритмы автоматической защиты (ПАЗ).
- Алгоритмы централизованного управления АС и др.

В курсовом проекте достаточно разработать следующие алгоритмы АС:

- Алгоритм пуска (запуска)/ останова технологического оборудования.
- Алгоритм сбора данных измерений.
- Алгоритм автоматического регулирования технологическим параметром.

При представлении алгоритмов пуска (запуска)/ останова технологического оборудования, сбора данных измерений в КП должны использоваться схемы, составленные по правилам ГОСТ 19.002, графические элементы которых показаны в таблице 3.

2.10.1 Управление сбором данных

Рассмотрим в качестве примера управление сбором данных и генерацией сообщений о работе насоса. Пусть алгоритм управления 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».
 - «Остановка или блокировка пуска насоса».

Пусть 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 блок-схемы, приведенной на рисунке 47.

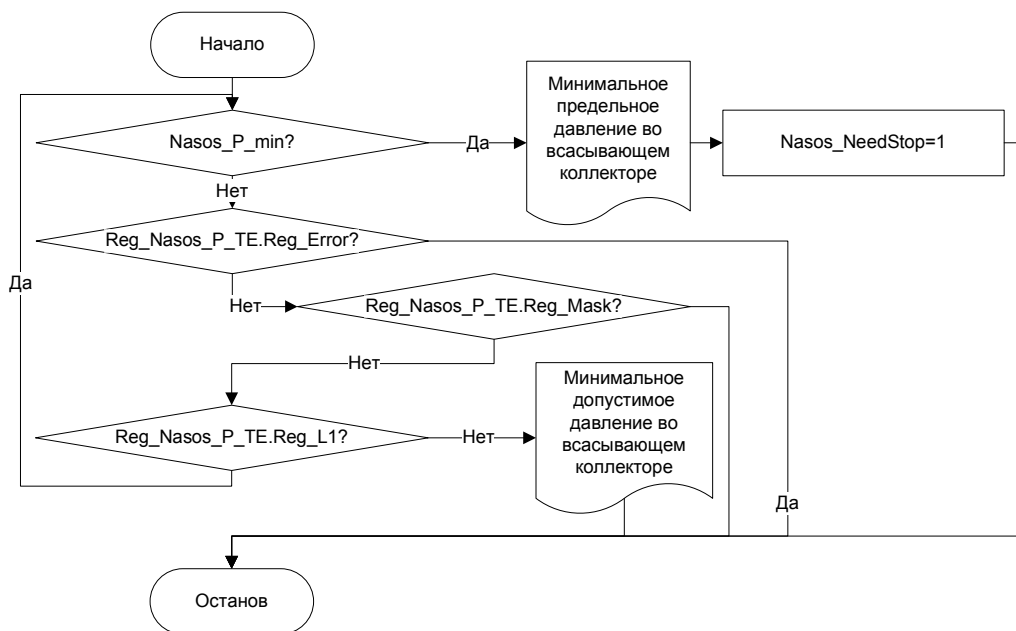


Рисунок 47. Алгоритм управления насосом

Пример описания алгоритмов управления.

Для управления НС используются две программы автоматического пуска насосного агрегата:

- программа пуска №1 (пуск на открытую выходную задвижку);
- программа пуска №2 (пуск на открывающуюся выходную задвижку).

Программы пуска являются взаимоисключающими, т.е. при установке одной из программ остальные сбрасываются. Программы пуска устанавливаются по командам оператора.

1. Команда запрета выполнения действий "Установить программу пуска №1" выполняется в следующих случаях:

- программа пуска №1 уже установлена;
- агрегат в процессе пуска;
- агрегат включен.

2. Команда запрета выполнения команды "Установить программу пуска №2" выполняется в следующих случаях :

- программа пуска №2 уже установлена;
- агрегат в процессе пуска;
- агрегат включен.

При наличии запрета выполнения команды на установку программы пуска алгоритм формирует сообщение о невозможности формирования команды.

Существует следующие взаимоисключающие режимы управления насосным агрегатом:

– дистанционный со стороны диспетчера – управления насосным агрегатом осуществляется диспетчером из РДП или оператором МДП;
– программный с местного пульта управления – управление насосным агрегатом (двигатель, агрегатные задвижки) по команде оператора в соответствии с выбранной программой пуска...

Задание по разработке алгоритма сбора данных измерения

Необходимо согласовать с руководителем КП выбор канала измерения. Для этого канала необходимо разработать алгоритм сбора данных с учетом контроля минимальных и максимальных значений, а также контроля статуса маскирования результатов измерения выбранного канала в виде блок-схемы.

Задание по разработке алгоритма пуска/останова насоса

Используя принципиальную схему пуска мотора, представленную на рисунке xx в КП необходимо разработать блок-схему алгоритма пуска/останова трехфазного электрического мотора насоса.

2.10.2 Регулирование параметра технологического процесса

Выбор параметра и канала регулирования. Одним и тем же выходным параметром объекта можно управлять по разным входным каналам. Например, температуру в газовой

печи можно регулировать двумя путями: изменением расхода *воздуха* или *газа* в печи.

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 возможно 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.

К основным технологическим параметрам, подлежащим контролю и регулированию в технологических процессах нефтегазовой отрасли, относят расход, уровень, давление, температуру, значение pH , 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, предназначенная для стабилизации возмущений по материальным потокам, является 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 на технологическом объекте 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, например, при дросселировании потока через сужающее устройств).

На рисунке 48 приведена схема регулирования расхода с использованием метода дросселирования потока. На этой схеме объектом управления является участок трубопровода между точкой измерения расхода и регулирующим органом. Длина этого участка определяется правилами установки датчика (сужающих устройств) и регулирующих органов и может составлять несколько метров.

Структурная схема автоматического регулирования расходом показана на рисунке 49. Здесь обозначены: 1 – объект управления; 2 – датчик; 3 – регулятор; 4 – импульсные линии пневмопривода; 5 – исполнительное устройство.

1. Динамика объекта управления $W(p)$, выраженная как отношение «расход вещества через клапан» (объемный расход жидкости после клапана) к «расходу вещества через расходомер» (измеряемый объемный расход жидкости) приближенно описывается апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием (см.1 рисунок 49). Время чис-

того запаздывания обычно составляет доли секунд для газа и несколько секунд – для жидкости; значение постоянной времени – несколько секунд. Воспользовавшись типовой передаточной функцией трубопровода согласно [11-13] для схемы управления насосом дросселированием 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, перекачиваемая 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.

2. Динамику измерителя расхода можно рассматривать как усиленное звено K_1 , т. к. современные первичные преобразователи расхода, построенные на принципе динамической компенсации имеют линейную зависимость выхода от входа и высокое быстродействие.

3. Динамику регулятора определим как передаточную функцию $R(p)$. В последующем ее можно уточнить как ПИД-функцию.

4. Динамику импульсных трубок регулятора (4), связывающих средства контроля и регулирования, можно описать апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием, параметры которого определяются длиной трубок. Обычно постоянная времени и величина запаздывания не превышают 1-2 с.

5. Исполнительное устройство может быть описано также апериодическим звеном первого порядка, постоянная времени которого составляет несколько секунд.

Определив численные значения передаточных функций всех звеньев структурной схемы регулирования, приступают к выбору типа регулятора. В проектных документах необходимо обосновать и выбрать такой 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.).

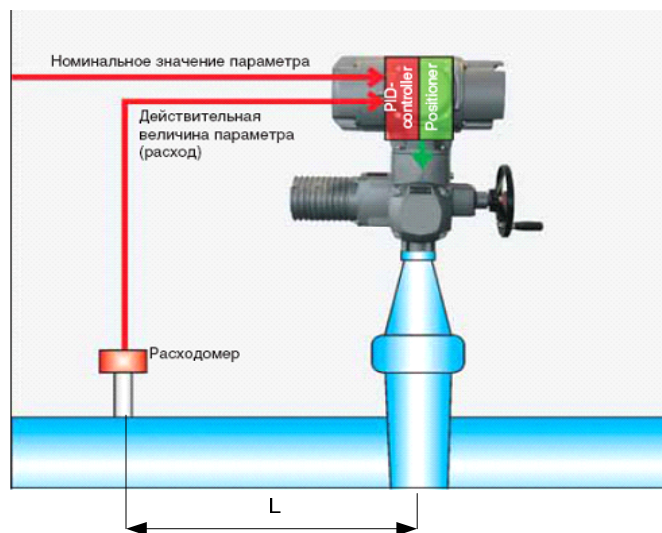


Рисунок 48 Схема объекта управления (часть трубы)

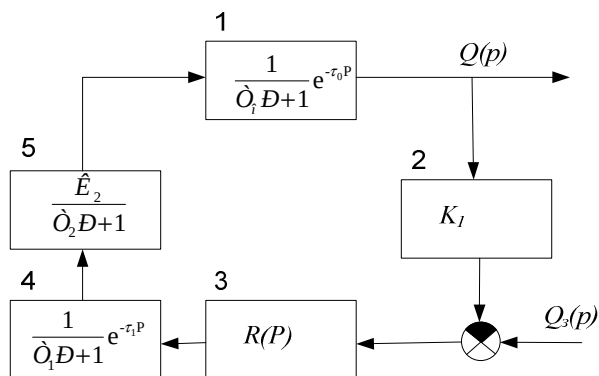


Рисунок 49. Структурная схема автоматического регулирования расходом

Для того чтобы 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 (см. рисунок 50, а), и равнопроцентной (см. рисунок 50, б) пропускными характеристиками.

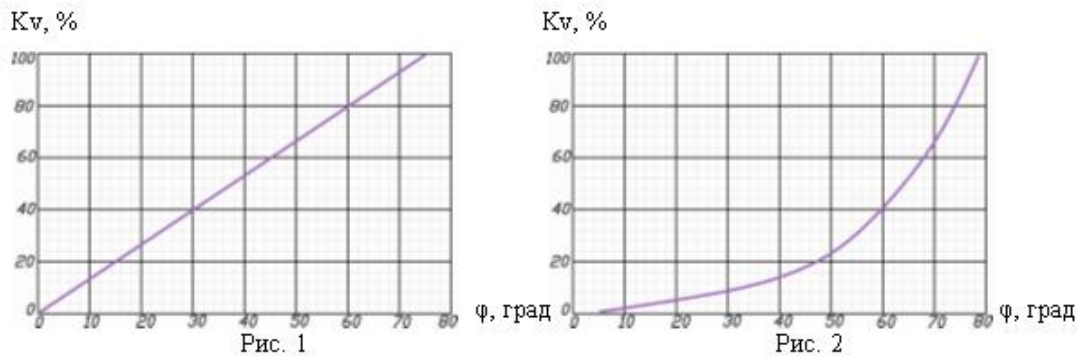


Рисунок 50. Статическая характеристика регулирующего клапана

При линейном – приращение пропускной способности dKv пропорционально сумме угла поворота $d\phi$:

$$\frac{dKv}{d\phi} = h.$$

При равнопроцентном – отношение приращения пропускной способности dKv к текущему значению пропускной способности пропорционально сумме угла поворота $d\phi$:

$$\frac{dKv}{d\phi} = Kv \cdot h.$$

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, для других сложно реализовать ПИД-регулирование.

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 (см. таблица 4).

Таблица 4. 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

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 .

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.

Пусть выбор осуществляется в классе ПИД-алгоритмов.

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 (см. таблица 4), наибольшее быстродействие обеспечивает П-закон регулирования. Однако если расчетный коэффициент усиления П-алгоритма K_1 оказывается небольшим, а это чаще всего наблюдается в системах с запаздыванием, то такой регулятор не обеспечит высокой точности регулирования, т. к. в этом случае величина статической ошибки САР оказывается большой.

Если расчетный коэффициент $K_1 \geq 10$, то выбирается П-алгоритм, 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 $W_{\text{ПИ}}(s) = K_1 + 1/T_i s$. ПИ является наиболее распространенным на практике алгоритмом и 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). При таком алгоритме управления имеется возможность оптимизации величины отношения $K_1/T_i \rightarrow \min$ что обеспечивает управле-

ние 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 $W_{\text{ПИД}}(s) = K_1 + 1/T_i s + T_d s$.

Этот алгоритм используется довольно часто, поскольку он сочетает в себе достоинства всех выше рассмотренных. Однако следует учитывать то, что эти достоинства реализуются только при его оптимальных настройках, когда настраиваются все три параметра – K_1 , T_i и T_d .

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. Вот почему для объектов регулирования с относительно малым уровнем шумов и величиной запаздывания $\tau > 0,2T$ рекомендуется 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.

Следует иметь в виду также то, что при неточном задании коэффициентов настройки ПИД-алгоритм может иметь худшие показатели, чем двухпозиционный релейный регулятор, и даже перейти в режим автоколебаний. Для типовых модулей (программ ПЛК), реализующих П-, ПИ-, ПИД-алгоритмы, известны простейшие аналитические и табличные методы настройки.

Пример описания раздела разработки алгоритма САР.

Структурная схема САР представлена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 10, пример – приложение). Количественные значения коэффициентов, постоянных времени и запаздывания в передаточных функциях рассчитаны и представлены в виде нижеследующего представления...

Модель Simulink приведена в ФЮРА. 425280. 001 ЭС 10.

Результаты моделирования представлены графиками (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 10).

Выбор параметров ПИД регулятора осуществлялся путем использования методики Цидлера.

Результирующий переходный процесс приведен на рисунке (ФЮ-РА. 425280. 001 ЭС 10)...

Задание по разработке алгоритма САР

Студент в КП должен обосновать выбор канала регулирования, согласованного с преподавателем технологического объекта управления (ОУ). В КП необходимо осуществить проектирование способа регулирования выбранного канала.

В разделе выбора параметров ПИД-алгоритма регулирования необходимо разработать структурную схему САР, согласованного с преподавателем технологического объекта управления. В пояснительной записке рекомендуется этот раздел завершить выбором коэффициентов регулятора. Для этого следует воспользоваться эмпирическими формулами методики Цидлера «Настройка по реакции на входной скачок», предварительно спроектировав САР в среде Simulink (приложение 12).

Пусть, к примеру, необходимо стабилизировать ПИД-регулятором объект с передаточной функцией

$$W = \frac{x(p)}{u(t)} = \frac{0,87 \cdot e^{-0,3p}}{3,1p + 1}. \quad (9)$$

Составляем структурную схему моделирования в среде Simulink (рисунок 51).

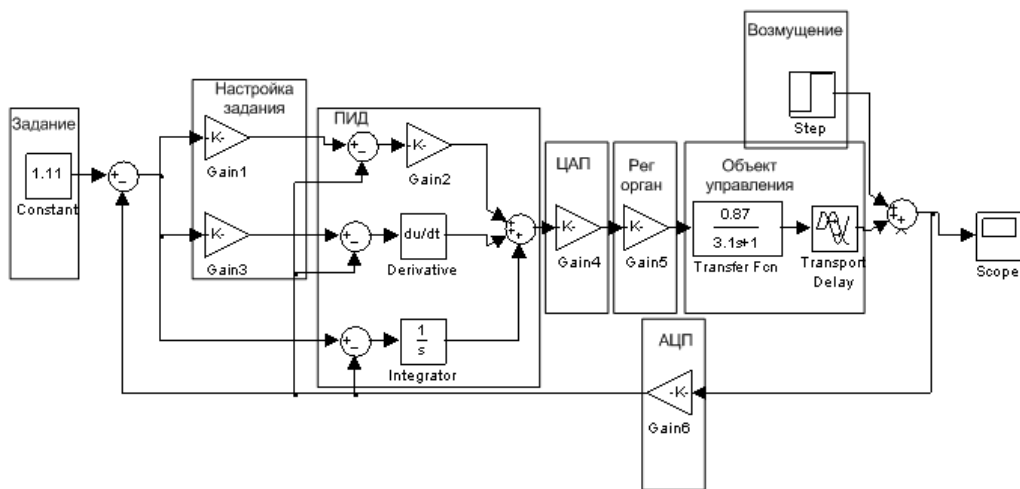


Рисунок 51. Модель САР в Simulink

Выход объекта $x(t)$ подключается ко входу регулятора ПИД. Управляющее воздействие регулятора подается через ЦАП на регулирующий орган. Им может быть привод дросселирующего устройства

либо источник энергетического воздействия на объект управления. Выход объекта управления должен суммироваться с возмущающим воздействием..

Алгоритм настройки:

- В модели САР выключаются интегральная и дифференциальная составляющие ПИД;

- определяется предельный коэффициент $K_{\max}$ усиления (пропорциональная составляющая, Gain 2), при котором САР и объект переходят в колебательный режим. Вначале K увеличивается до тех пор, пока САР и объект переходят в колебательный режим:

- определяется период колебаний t с;

- вычисляются коэффициенты настройки согласно следующим примерным соотношениям:

- для П-регулятора $K = 0,5 \cdot K_{\max}$;

- для ПИ-регулятора $K = 0,45 \cdot K_{\max}$, $T_i = 0,8 \cdot t$ (с);

- для ПИД-регулятора $K = 0,6 \cdot K_{\max}$, $T_i = 0,5 \cdot t$ (с), $T_d = 0,12 \cdot t$ (с);

- рассчитанные коэффициенты устанавливаются в модель САР и регистрируется ее переходный процесс;

- модель САР и график переходного процесса поместить в альбом схем.

2.11 Разработка ПО для ПЛК

Стандарт ИЕС 6 1131-3 описывает синтаксис и семантику пяти языков программирования ПЛК. 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 ПО и, наконец, сокращение финансовых затрат на разработку проектов в целом за счет сокращения времени разработки ПО [6].

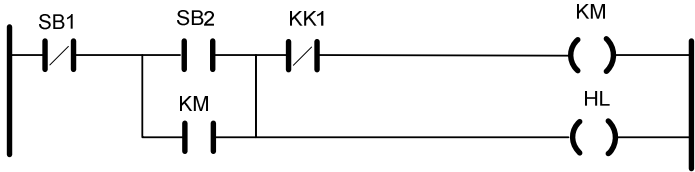
Языки стандарта используются ведущими фирмами – изготовителями ПЛК, достаточно распространены и известны специалистам АС. Набор средств разработки обычно выполняется на компьютере проектировщика, например компьютере типа IBM PC, и состоит из редактора, отладчика и препроцессора, который подготавливает 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 53. Здесь дискретные и аналоговые сигналы поступают в модули ввода данных. Цифровые коды этих сигналов затем поступают во входные регистры ПЛК. Используя содержание регистров, программа ПЛК осуществляет обработку этих сигналов и отправляет необходимые действия в виде сигналов через модули вывода на исполнительные устройства.

Как только сформулирована задача программирования логики контроллера (например, алгоритма сбора данных), то сразу встает вопрос о соответствующем программном инструментарии для решения этой задачи. В качестве такого инструментария может быть выбрана программная система Open PCS.

Считается, что для специалистов КИПиА наиболее понятен язык LD-релейных диаграмм (Ladder Diagrams)..



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

Рисунок 52. LD-программа

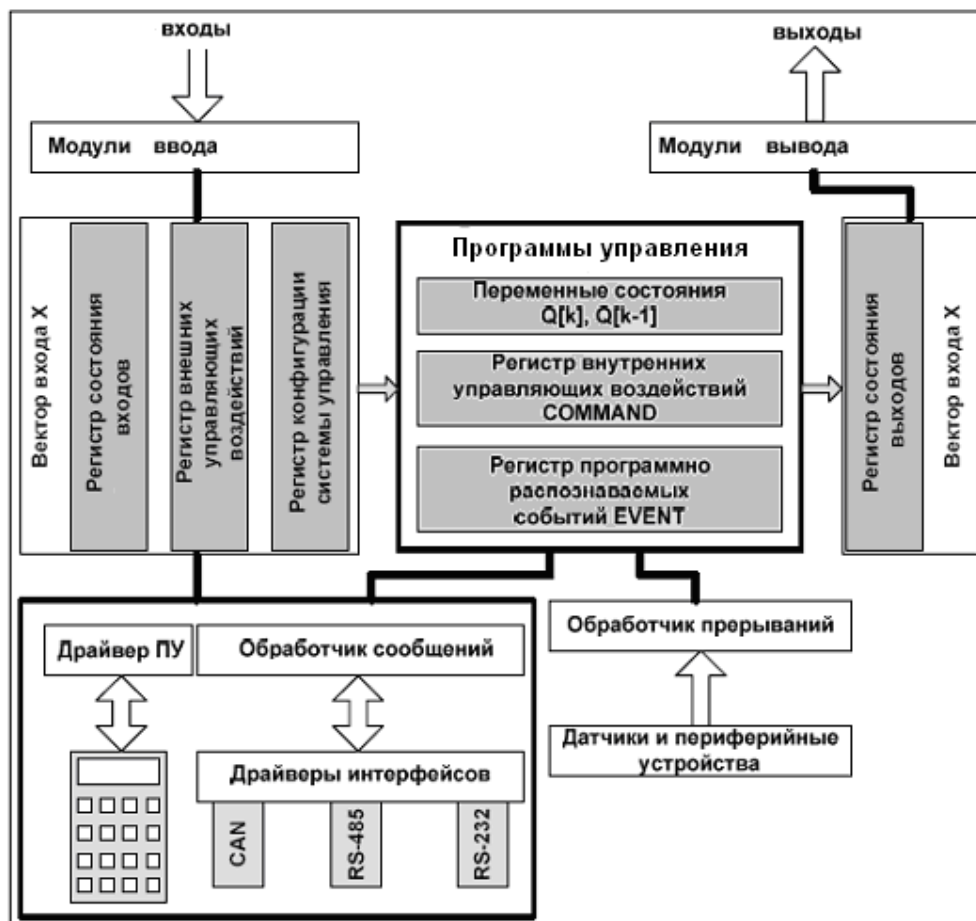


Рисунок 53. Контроллер с загруженной программой

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.

Так, в примере (рисунок 33, а), при нажатии кнопки *SB2*, замыкается нормально разомкнутый контакт реле *KM*, лампа *HL* загорается. Размыкание контактов *KK1* или кнопки *SB1* выключают реле *KM* и лампу *HL*. Этот алгоритм в виде LD-программы представлен на рисунке 52.

Пример описания раздела разработки LD-программы ПЛК.

Поскольку алгоритм управления пуска/останова насоса имеет дискретный (двоичный) характер и легко реализуется средствами релейной автоматики выбираем язык программирования LD. LD-диаграмма управления последовательностью пуска/останова оборудования приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 11).

Задание по разработке LD-программы ПЛК

В КП необходимо разработать LD-диаграмму схемы пуска/останова трехфазного электрического мотора насоса.

2.12 Разработка экранных форм АС

Управление в АС 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.

Все эти SCADA-системы предназначены для использования на действующих технологических установках в реальном времени и требуют использования компьютерной техники в промышленном исполнении, отвечающей жестким требованиям в смысле надежности, стоимости и безопасности. Все SCADA-системы обеспечивают возможность работы с оборудованием различных производителей с использованием OPC-технологии.

К SCADA-системам, используемым в нефтегазовой отрасли, предъявляются следующие 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 (LBC, SQL);
- защита от несанкционированного доступа в систему;
- обмен информацией с другими программами (например: Outlook, Word и др. через OPC- модули и т. д.).

Современная SCADA не ограничивает выбор аппаратуры нижнего уровня, т. к. предоставляет большой набор драйверов или серверов ввода/вывода. Это позволяет подключить к ней внешние, независимо работающие компоненты, в том числе разработанные отдельно программные и аппаратные модули сторонних производителей.

При выборе и настройке SCADA-системы можно использовать следующую последовательность:

1. В соответствии с функциональной схемой автоматизации рассчитать требуемый объем ТЭГов.
2. Связаться с поставщиком SCADA и выбрать конфигурацию.
3. Разработать алгоритм связи SCADA с аппаратной частью АС.
4. Разработать и отладить программную поддержку этих алгоритмов связи с использованием программных имитаторов.
5. Сформировать статические изображения рабочих окон экранов диспетчерского управления: фон, заголовки, мнемосхема процесса и т. д.
6. 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).

7. Реализовать алгоритмы отображения, управления, архивирования, документирования в модулях проектирования экранных форм, архивирования, аварийного управления и в базе данных.

Структурная схема связи аппаратной и программной частей АС показана на рисунке 54.

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

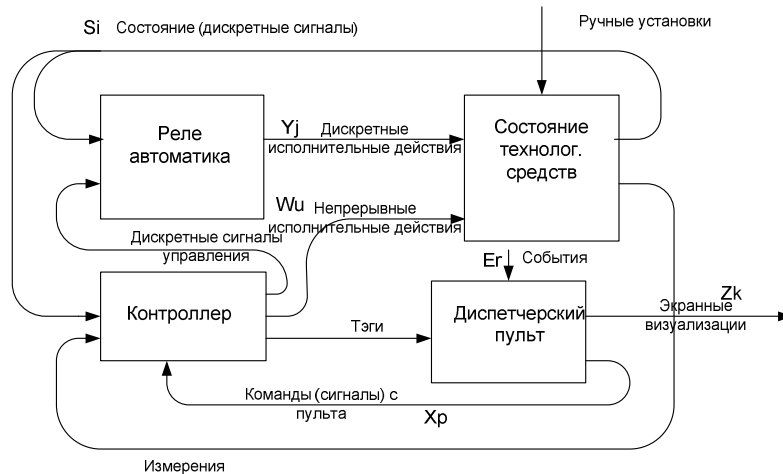


Рисунок 54. Структурная схема связи аппаратной и программной частей АС

На рисунке 55 показана взаимосвязь программного обеспечения различных частей АС с использованием RS-485 на полевом и Ethernet-коммуникационном уровнях и SCADA.

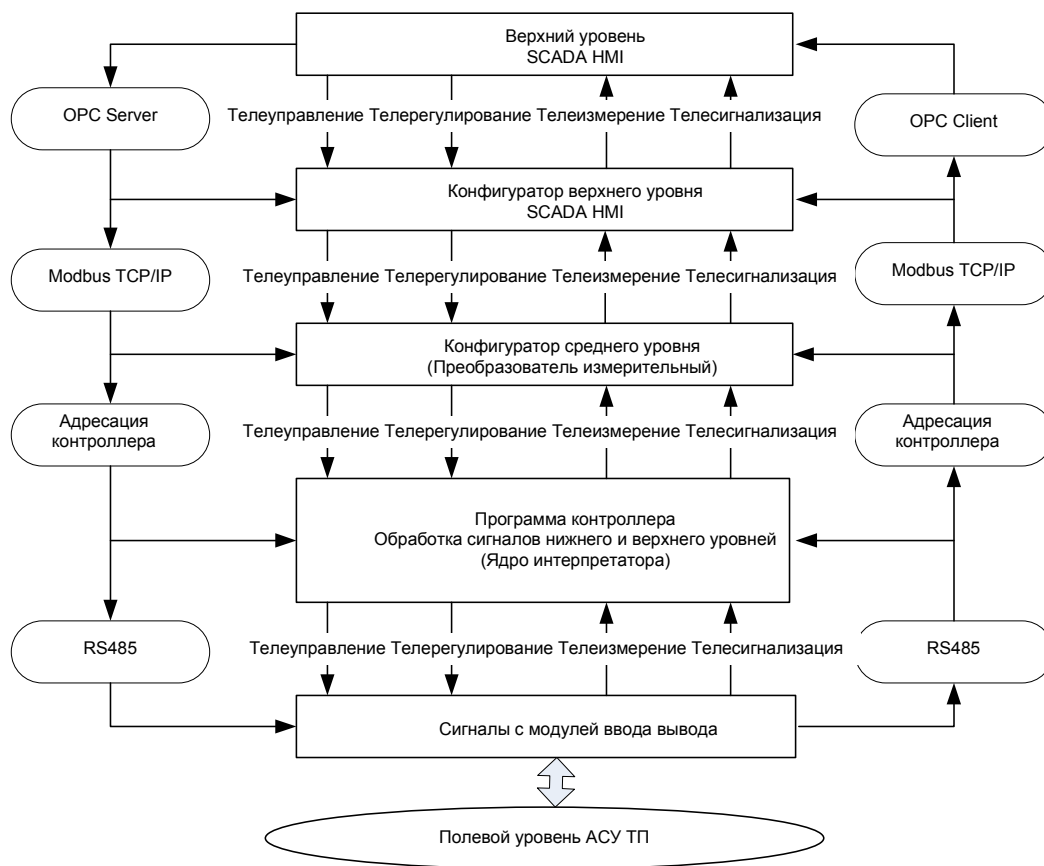


Рисунок 55. Взаимосвязь программного обеспечения различных частей АС

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

1. РД 50-34.698–90. ЕСПД. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.
2. Руководства по дизайну пользовательского интерфейса от компании Microsoft.
3. РД 153-39.4-087–01. Автоматизация и телемеханизация магистральных нефтепроводов. Основные положения.
4. РД 153-39.4-056–00. Правила технической эксплуатации МН.
5. Регламент по технологическому управлению и контролю за работой МН, 2003.
6. Регламент «Организации контроля за нормативными параметрами МН и НПС в операторных НПС, диспетчерских пунктах РНУ (УМН) и ОАО МН», 2002.
7. Регламент расчета полезной емкости, емкости для товарных операций и разработки технологических карт на резервуары и резервуарные парки, 2004.

8. 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. 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 раскрашивать любыми доступными красками, использовать для оформления растры и графические элементы (линии и прямоугольники).

Дерево экранных форм АС может быть представлено в виде, показанном на рисунке 56.

Экранные формы спроектированной SCADA-системы управления должны выполнять 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
 - отчет о процессе;
 - отчет исторических сообщений;
 - отчет защит;
 - голосовые сообщения;
 - одновременная работа нескольких мониторов и экранных форм;
 - отчет о техобслуживании системы;
 - обзор состояния технологического процесса в целом;
 - одновременная работа сигнализаций нескольких объектов;
 - опции помощи.

- 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 (см. таблицу 5).

Таблица 5 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 (например, восстановление желаемой функции)	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 требует действий оператора	Обязательное действие	Запрос о вводе предварительно выбранных значе-

Белый	Нейтральный	Другие ситуации могут использоваться, если есть сомнение в применении цветов красного, желтого, зеленого, голубого	Наблюдение	ний Общая информация
-------	-------------	--	------------	-------------------------

Для представления элементов управления используются шаблоны. Так, для насосно-перекачивающей станции шаблон управления может выглядеть так, как это показано на рисунке 57.

Пример описания раздела разработки экранных форм.

В соответствии с функциональной схемой автоматизации (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 07, пример – приложение) объем ТЭГов составляет- 44. Этот объем реализуется SCADA в минимальной конфигурации. Дерево экранных форм приведено в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 13, пример – приложение).

Диспетчер имеет возможность осуществлять навигацию экранных форм с использованием кнопок прямого вызова. При старте проекта появляется экран вызова главных документов проекта: мнемосхем основных объектов, общих журналов, отчетов и т.п. Открытие мнемосхемы происходит нажатием кнопки или щелчком в зоне выбора (прямоугольной области экрана, щелчок в которой вне элементов, имеющих собственную обработку мыши, приводит к срабатыванию События).

Концептуальные экранные формы приведены в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 14-xx)

Задание по разработке экранных форм

В ПЗ необходимо рассчитать объем ТЭГов и обосновать выбор SCADA, привести описание ТЭГа одного из каналов сбора данных, описать проектные решения дерева экранных форм. Примеры экранных формы в КП должны быть подготовлены как с помощью редактора экранных форм выбранной SCADA (1–2 формы), так и с помощью графического редактора, например MS Visio (2–3 формы). При разработке экранных форм следует руководствоваться отраслевыми требованиями. Следует обратить внимание на формат окна и цвета объектов мнемосхемы. Для динамических и двухпозиционных управлений в пояснительной записке необходимо в ПЗ описать динамику их изменений. В приложении приведены рекомендуемые экранные формы объектов управления. Разработанные схемы следует поместить в альбом.

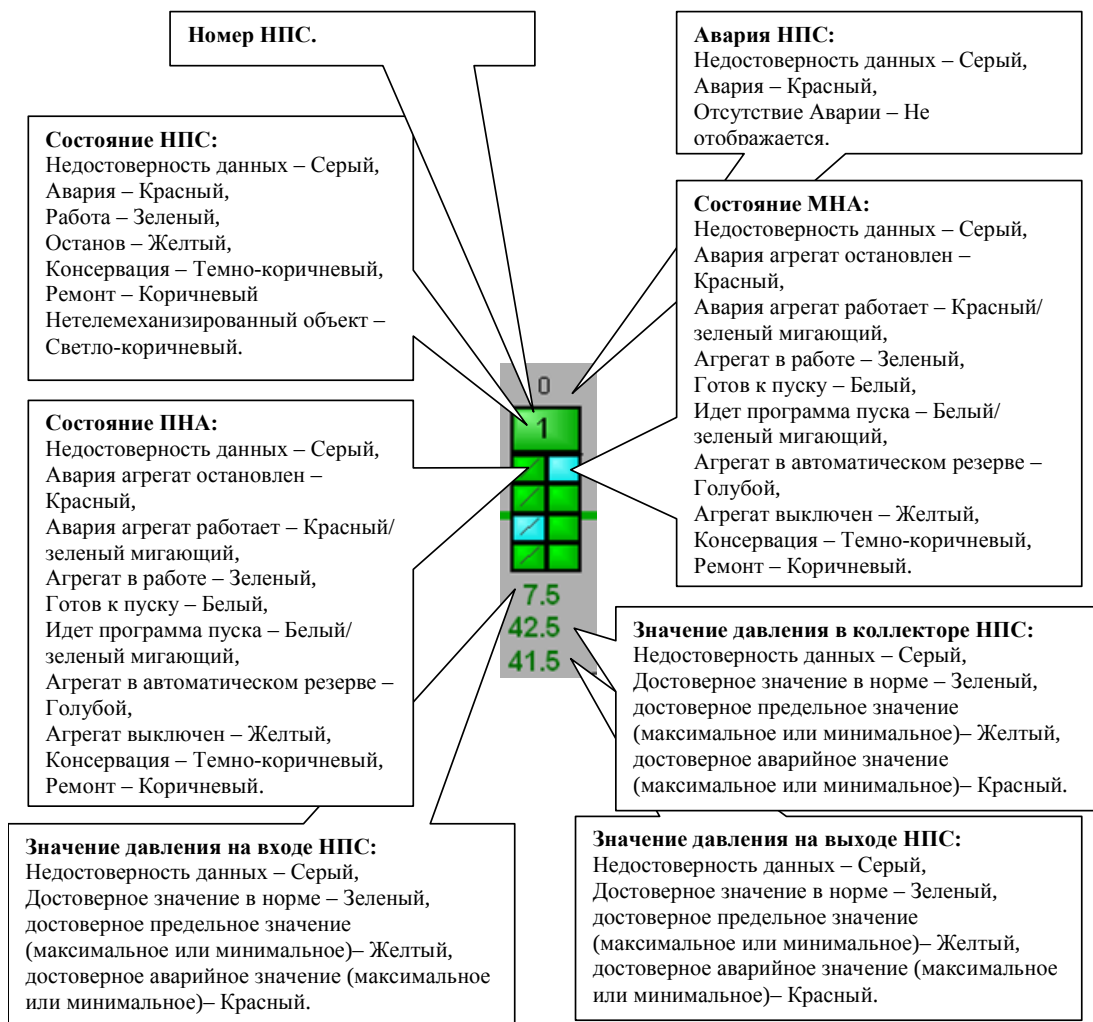


Рис. 1

Рисунок 57. Шаблон экрана управления насосной станцией

ЛИТЕРАТУРА

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. Андреев Е. Б., Попадько В. Е. Технические средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности Издательство: Нефть и газ, РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005 – 272 с.
3. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
4. Андреев Е.Б. Попадько В.Е. Программные средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности: учебное пособие, М: Нефть и газ, 2005. – 268 с.
5. Веревкин А.П., Попков В.Ф. Технические средства автоматизации. Исполнительные устройства, учебное пособие, Уфа.: Изд-во УНИ, 1996. – 95 с.
6. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / под ред. проф. В. П. Дьяконова. - М.: СОЛОН-Пресс, 2004.–124 с.
7. Матвейкин В.Г., Фролов С.В., Шехтман М.Б. Применение SCADA-систем при автоматизации технологических процессов. М: Машиностроение, 2000. – 176с.
8. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП: методическое пособие. Кн.1. М: Деан. 2006.– 552с
9. Алиев И.И. Кабельные изделия: справочник. — 3-е изд., испр.— 2008. — 230 с.
10. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами: Учебник. М: Высшая школа, 2005. — 768 с.
11. Емельянов А.И. и др. Практические расчеты в автоматике. Машиностроение М: 1967.– 181 с.
12. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие. Тверь 2001. – 247 с.
13. Иванова Г.В. Автоматизация технологических процессов основных химических производств: методические материалы по курсу лекций. Часть 1. СПбГТИ (ТУ). СПб., 2003. – 70 с.

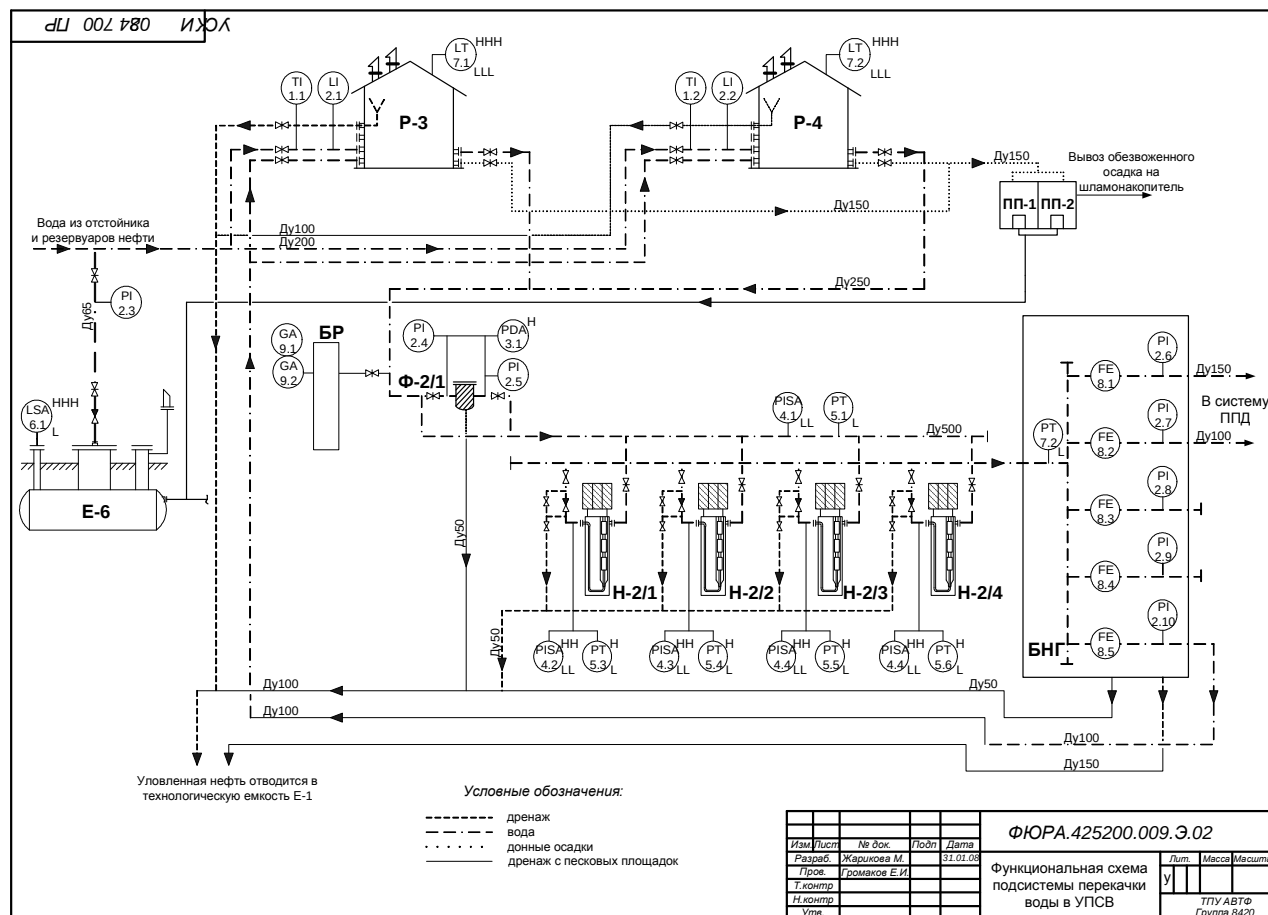
Дополнительная

14. 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. – 15 с.
15. ГОСТ 21.404-85. Обозначения условные приборов и средств автоматизации.
16. ГОСТ 34.601–90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы, стадии создания / Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Информационная технология. – М., 1991.– 45 с.
17. ГОСТ 19.701–90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. – Госстандарт СССР, М., 1992.– 15 с.
18. РМГ 62–2003. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации ВНИИМС Госстандарта России. М., 2003.– 17 с.
19. ГОСТ 21.408-93 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов М.: Издательство стандартов, 1995.– 44с.
20. 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)». М.: Издательство стандартов, 1995.– 44с.

,

,

Приложение 3



Входные сигналы нижнего уровня

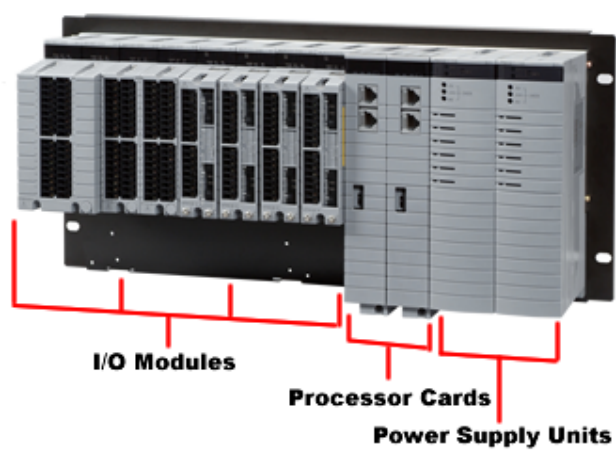
Таблица А.1 - Аналоговые сигналы

Наименование сигнала	Идентификатор сигнала	Диапазон измерения	Единица измерения	Тип сигнала	Технологические уставки			
					Предупредительные		Аварийные	
					min	max	min	max
Насосная перекачки нефти								
Загазованность в насосной, точка 1	ССТ001	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность в насосной, точка 2	ССТ002	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность в насосной, точка 3	ССТ003	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность в насосной, точка 4	ССТ004	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность в насосной, точка 5	ССТ005	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность на площадке налива, точка 1	ССТ006	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность на площадке налива, точка 2	ССТ007	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность на площадке налива, точка 3	ССТ008	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность на площадке налива, точка 4	ССТ009	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность на площадке налива, точка 5	ССТ010	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Загазованность на площадке налива, точка 6	ССТ011	0...100	% НКПРП	RS-485	-	+	-	+
Насос Р-101/А								
Температура подшипников, точка 1	ТТ021	0...+120	°С	ТСР 100П	-	+	-	+
Температура подшипников, точка 2	ТТ022	0...+120	°С	ТСР 100П	-	+	-	+

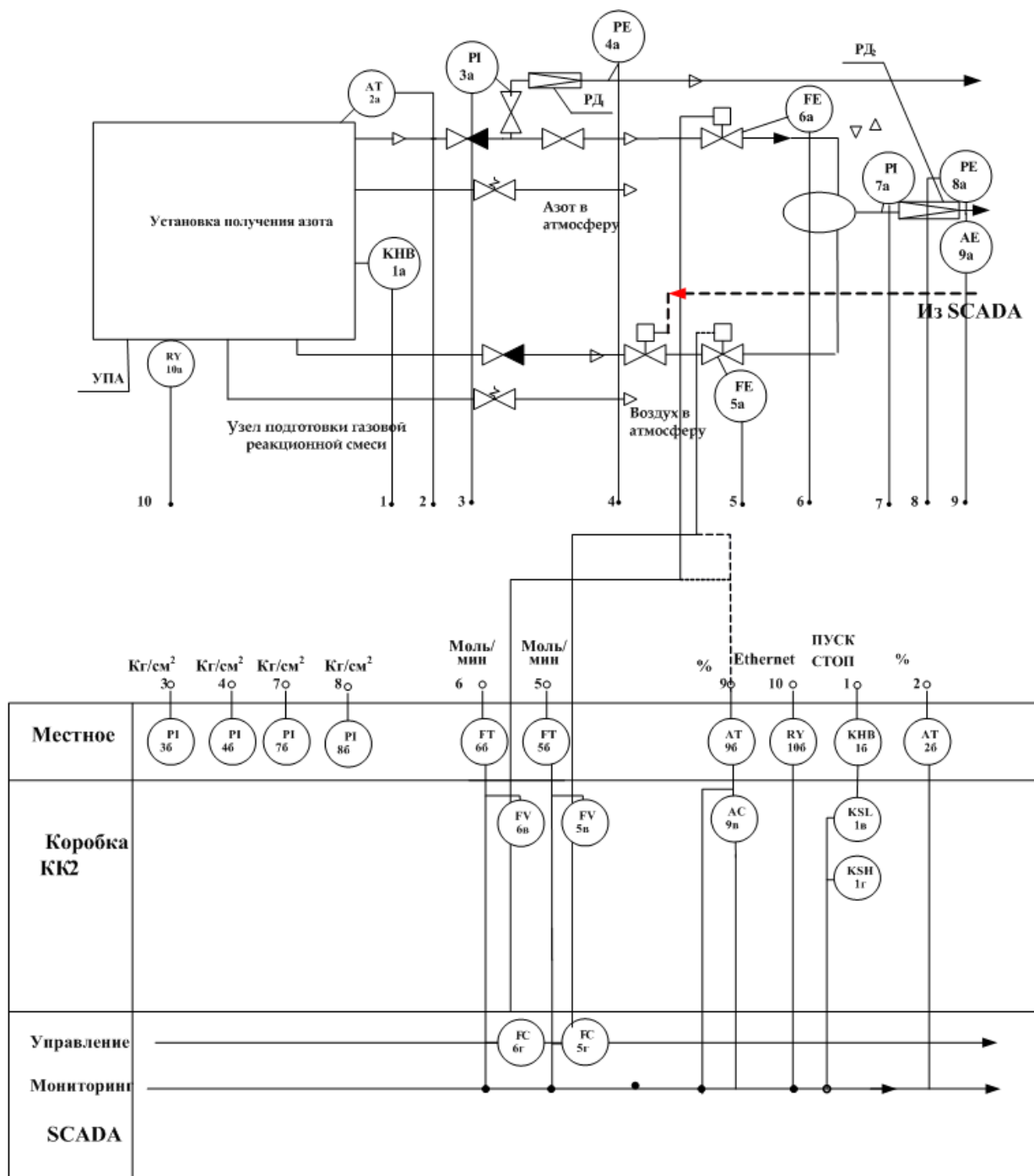
Приложение 5

**Ориентировочная номенклатура базовых стандартов
и ПО для профиля АС**

№ докумен-та	Web-адрес базового стандарта	Назначение	Web-адрес поставщика	Примечание
IEC 61131-3 Programming Languages	http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec_61131_3	Языки программирования ПЛК	http://www.systec-electronic.com	
Ethernet IEEE 802.3 или стандарт Fast Ethernet IEEE 802.3u	http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3	Локальная вычислительная сеть	http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3	
X.800 (ITU-T)	http://www.ntc-sss.ru/mejdunarodnye-rekomendacii-itu-t--standarty-etsi.html	Профиль защиты информации	http://www.ntc-sss.ru/mejdunarodnye-rekomendacii-itu-t--standarty-etsi.html	
InfinitySuite Scada	http://www.elesy.ru/index.php?request=catalogproduction.catalog.positions,2,15	Программно-инструментальный комплекс для разработки SCADA и MES решений	http://www.elesy.ru/index.php?request=catalogproduction.catalog.positions,2,15	



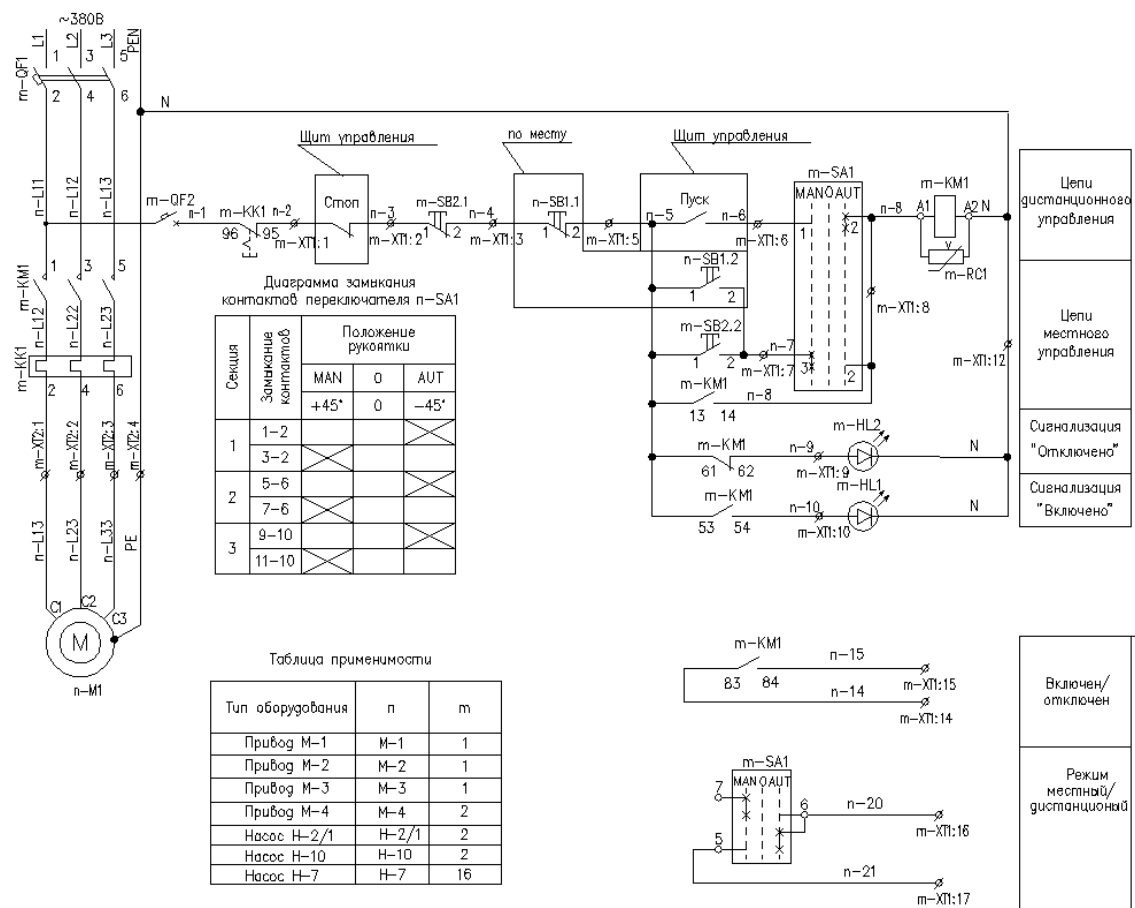
Приложение 7



Приложение 8

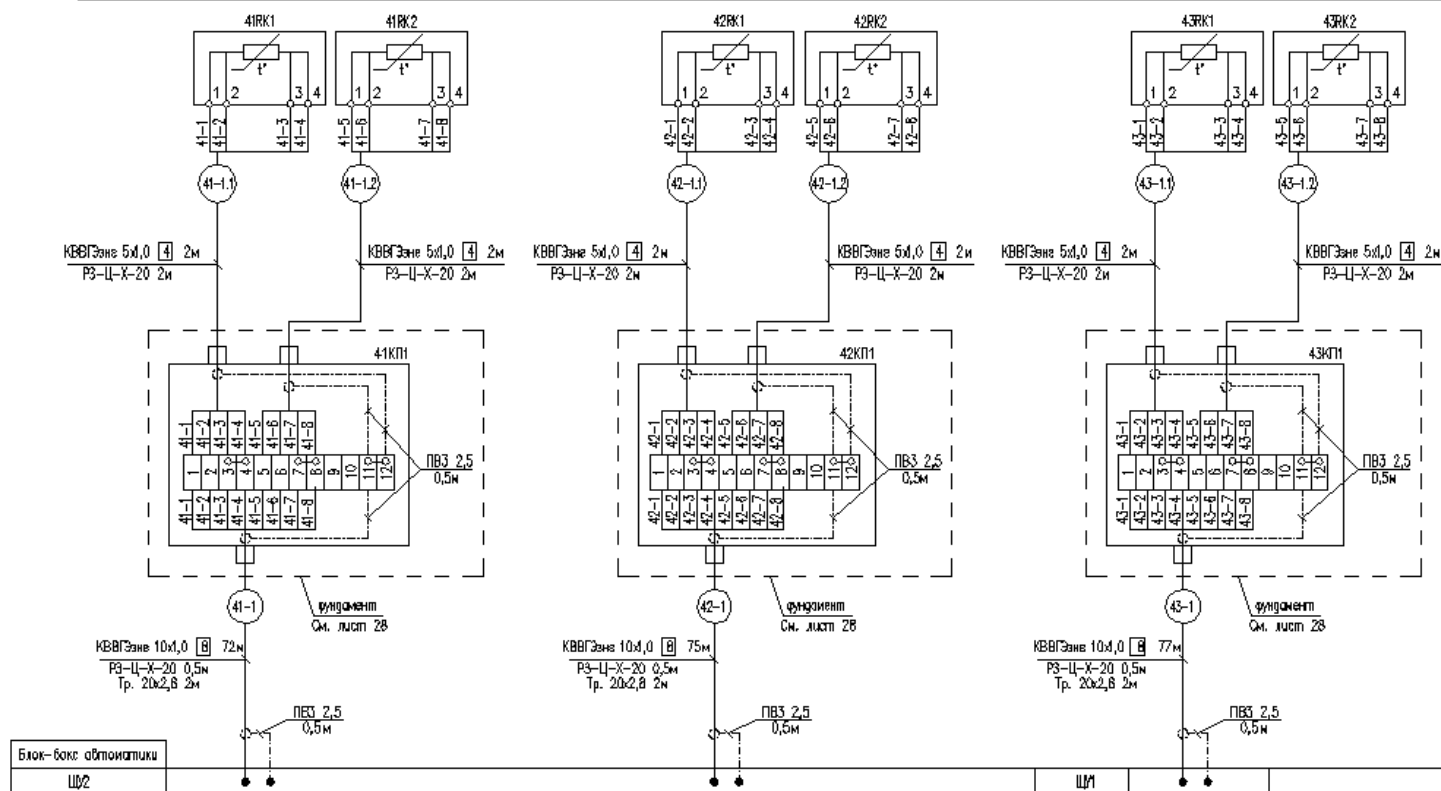
N позиц	Сона	Ед. оборуд	Контур				Источ	Наименование параметра	ПАЗ	PCY	Тип	Кол-во	Мин	Max	Ед. изм	сигнал	Сигнали-зация
			1 симв	2 симв	3 симв	4 симв											
Распред коробка КК1																	
5	КК1						TT	Термоматчик воды на выходе чиллеров	PCY	ПСТ		1	0	50	°C	AI 4-20 mA	
10	КК1						TT	Термоматчик воды в узле водоохлаждения	PCY	ПСТ		1	0	50	°C	AI 4-20 mA	
12	КК1						LT	Уровень ультразвуковой емкости ЕЦ	PCY	Q45U BB63DA		1	0	4000	мм	AI 4-20 mA	
11	КК1						LI	Уровень водопериль ЕЦ	местн			1	0	4000	мм	Индикация по месту	
9	КК1						LSH	Выключатель уровня макс емкости чиллера	PCY	BB1.18M.7 5.10		1		3000	мм	DI	Сухой контакт
8	КК1						LSL	Выключатель уровня мин емкости чиллера	PCY	BB1.18M.7 5.10		1		200	мм	DI	Сухой контакт
7	КК1		N (L)	H I	C (C)		NHS	Состояние насоса НЦ 1 (ручн. управление) (автомат, управление)	PCY			1	0	220	в	DI (DO)	
	КК1		K	H	C		KHB	Состояние чиллера 1 (фучн. управление)	PCY			1	0	220	в	DI (DO)	
13	КК1		N (L)	H I	C (C)		NHS	Состояние насоса НЦ 2 (ручн. управление) (автомат, управление)	PCY			1	0	220	в	DI (DO)	
	КК1		K	H	C		KHS	Состояние чиллера 2 (фучн. управление)	PCY			1	0	220	в	DI (DO)	
2	КК1						FI	Расход воды из чиллеров в конденсатор КД (реактор)	Местное			1	0	3	м³/час	Индикация по месту	
3	КК1						FI	Расход воды из чиллеров в газовый теплообменник	Местное			1	0	3	м³/час	Индикация по месту	
4	КК1						FI	Расход воды из чиллеров в теплообменник ТЖ	Местное			1	0	3	м³/час	Индикация по месту	
6	КК1						PI	Давление воды на выходе чиллера	Местное			1	0	3,2	кг/см²	Индикация по месту	
Всего: A-3 D-5																	

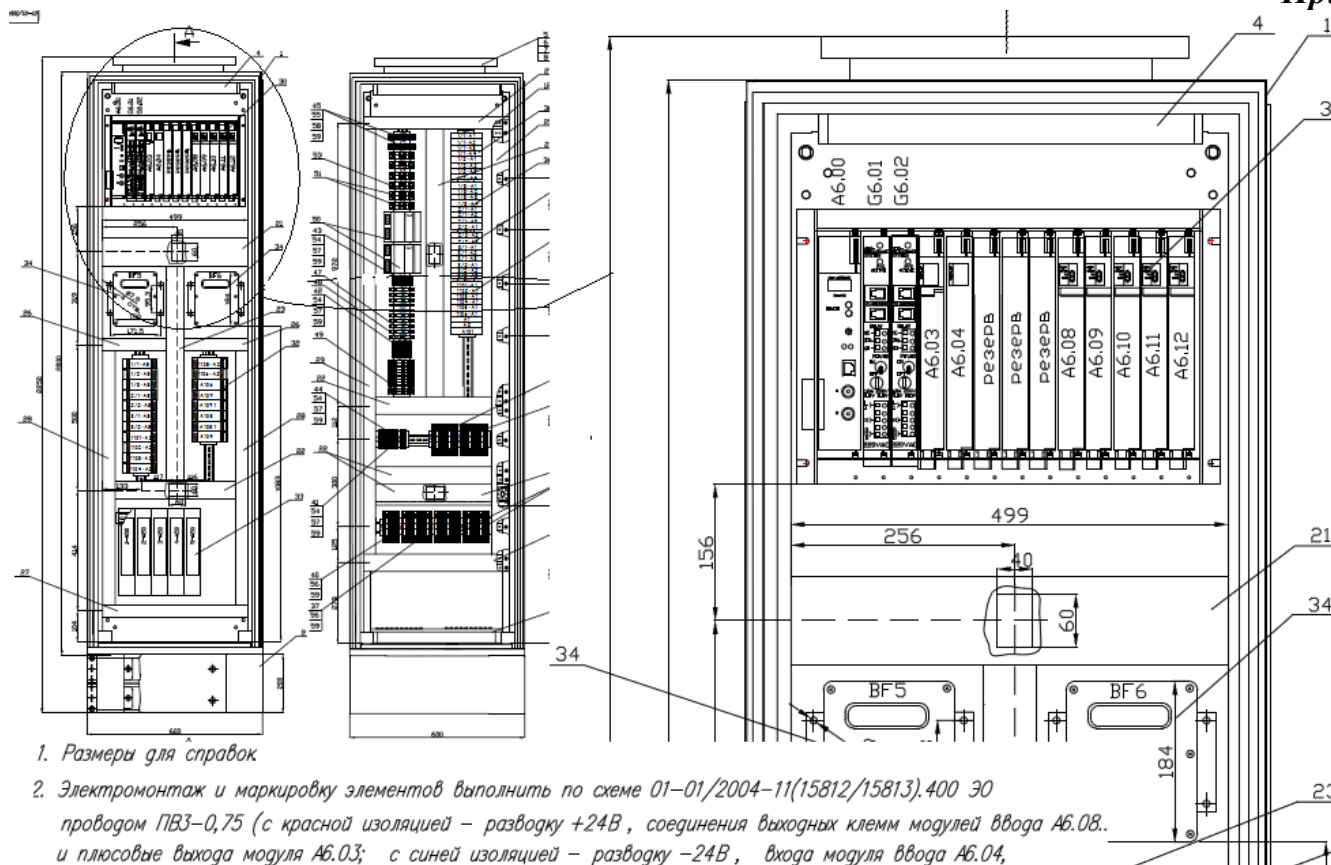
Приложение 9



Приложение 10

Наименование параметра и место отбора импульса	Насосная перекачки нефти				
	Температура				
	подшипников двигателя насоса Р-101/А		подшипников двигателя насоса Р-101/Б		подшипников двигателя насоса Н-1/1
Обозначение монтажной чертежа	переднего	заднего	переднего	заднего	переднего заднего
Позиция	См. лист 28				
	2-11				



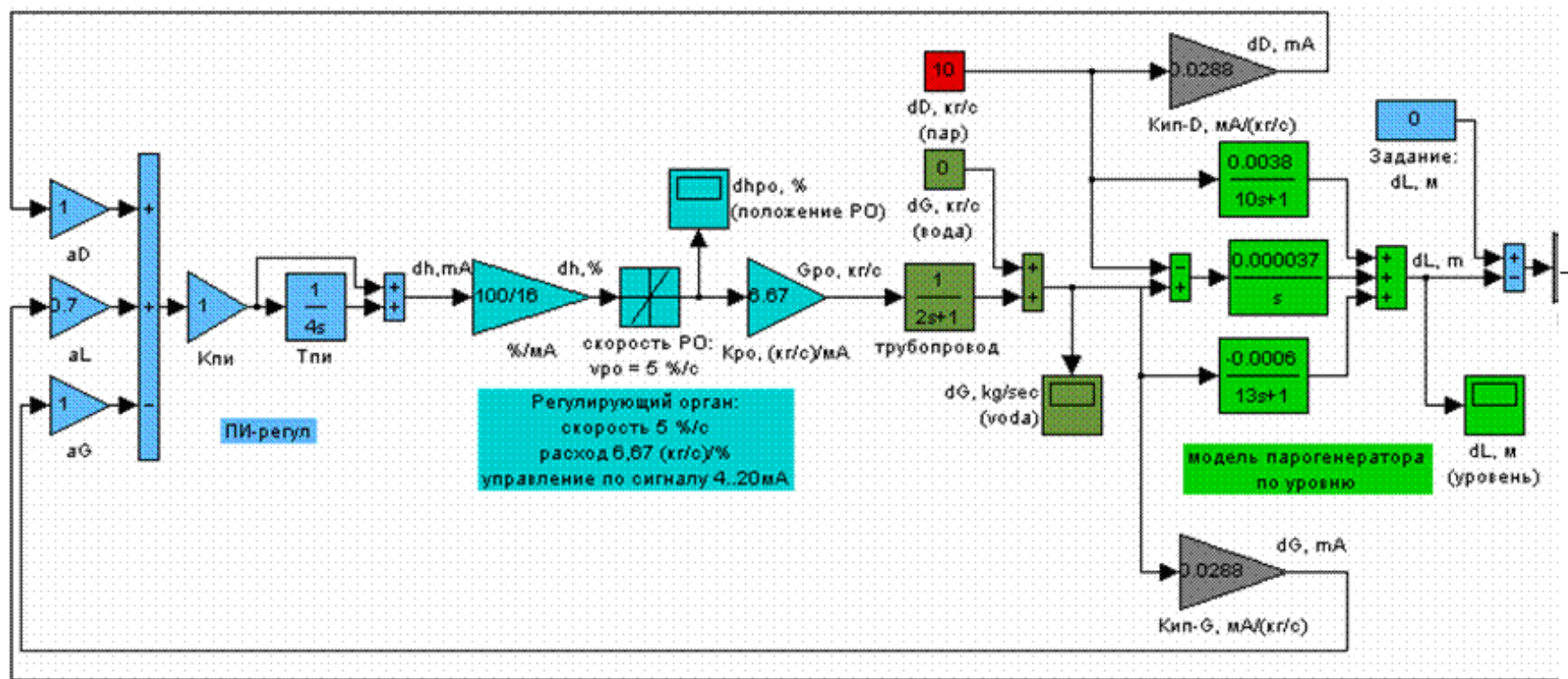


1. Размеры для справок

2. Электромонтаж и маркировку элементов выполнить по схеме 01-01/2004-11(15812/15813).400 30 проводом ПВЗ-0,75 (с красной изоляцией – разводку +24В, соединения выходных клемм модулей ввода А6.08.. и плюсовые выхода модуля А6.03; с синей изоляцией – разводку -24В, входа модуля ввода А6.04, и минусовые выхода модуля А6.03; входные клеммы ХТ30, 6ХТ4, 6ХТ8...6ХТ12, проводом с голубой изоляцией) проводом ПВЗ-1,5 и кабелем ПВСЗХ1,5 выполнить разводку 220В

3. Заземление производить проводами заземления

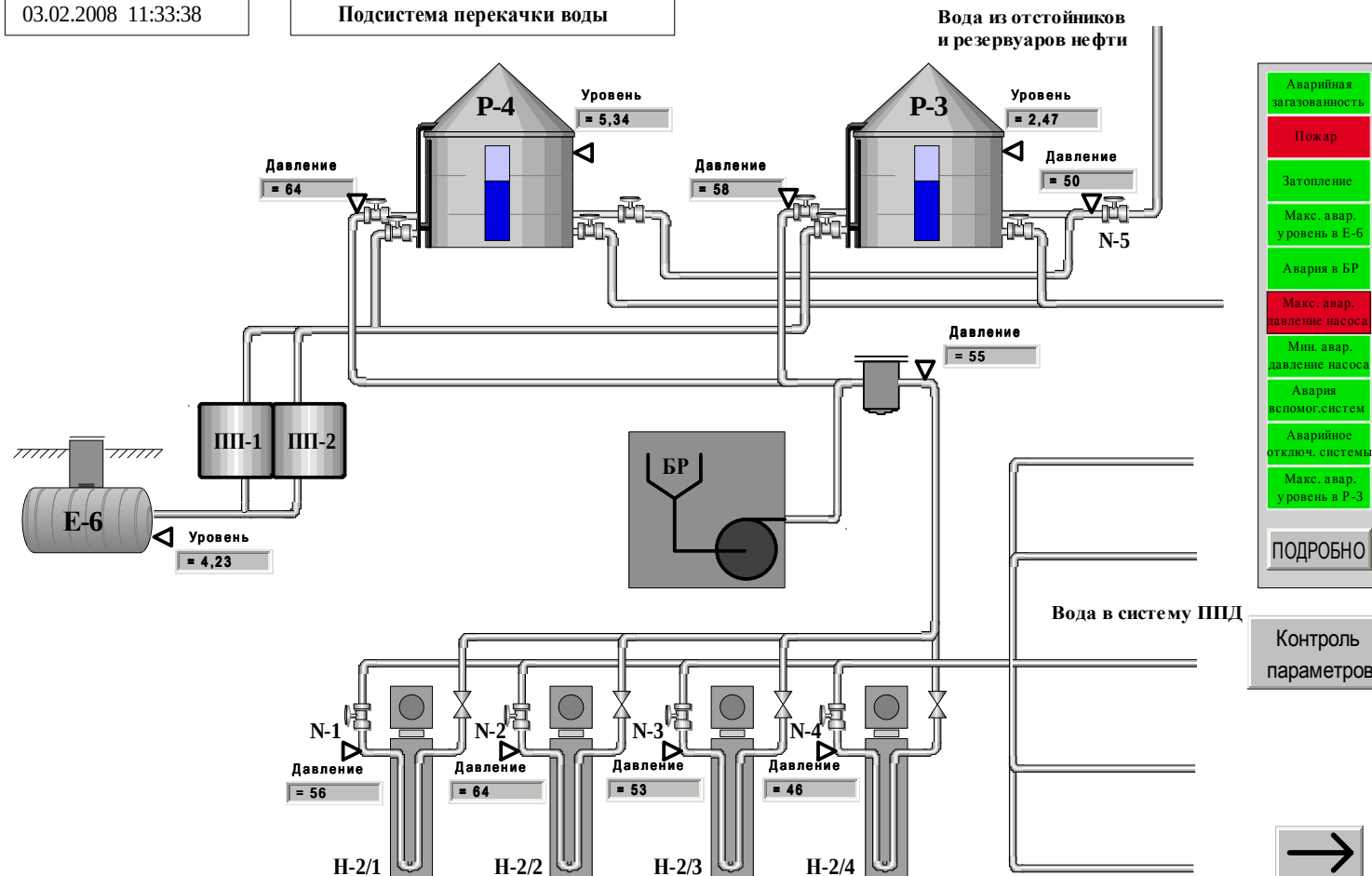
4. Кабели и провода вне коробов фиксировать на профилях или каркасе при помощи кабельных стяжек



03.02.2008 11:33:38

Подсистема перекачки воды

Приложение 13



АРХИВ СООБЩЕНИЙ

Очистить архив

52	Н-2/1: ОСТАНОВ ПО ДАВЛЕНИЮ	03/02/08 16:19:46 ON
99	ОТКАЗ МОДУЛЯ ПЛК	03/02/08 16:19:35 OFF
97	АВАРИЯ УПС ОПЕРАТОРНОЙ	03/02/08 16:19:12 OFF
99	ОТКАЗ МОДУЛЯ ПЛК	03/02/08 16:19:29 ON
97	АВАРИЯ УПС ОПЕРАТОРНОЙ	03/02/08 16:19:03 ON
17	АВАРИЯ ЗАДВИЖКИ N5	03/02/08 16:18:59 OFF
17	АВАРИЯ ЗАДВИЖКИ N5	03/02/08 16:18:51 ON
16	ПОЖАР В БР	03/02/08 16:18:40 OFF
49	Н-2/1: ОСТАНОВЛЕН ОПЕРАТОРОМ	03/02/08 16:18:28 OFF
16	ПОЖАР В БР	03/02/08 16:18:32 ON
49	Н-2/1: ОСТАНОВЛЕН ОПЕРАТОРОМ	03/02/08 16:18:16 ON

ESC

ИНФО

1/ 11

16:20

Учебное издание

ГРОМАКОВ Евгений Иванович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Н.Т. Синельникова*

Верстка *Л.А. Егорова*

**Отпечатано в издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати Формат 60×84/16.

Бумага «Снегурочка». Печать ХероХ.

Усл. печ.л. 9,07. Уч.-изд.л. 8,21.

Заказ . Тираж экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета
сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE
по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www/tpu.ru